

Zonas climáticas locais e índices espectrais em Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil: uma abordagem ao planejamento urbano

Local Climate Zones and Spectral Indices in Várzea Grande, Mato Grosso, Brazil: An Approach to Urban Planning

¹Sabrine Eduarda Tonioli 1, ²Flávia Maria Moura Santos

¹ Doutora – Universidade Federal de Mato Grosso (prof.eduarda.eng@gmail.com)

² Doutora – Universidade Federal de Mato Grosso (flavia_mms@fisica.ufmt.br)

RESUMO: O estudo da morfologia urbana e suas transformações é fundamental para compreender as mudanças na paisagem. O município de Várzea Grande, experimentou um crescimento populacional e alterações morfológicas nas últimas décadas, com temperaturas chegando a 40°C e umidade em torno de 20%. Neste sentido, a problemática desta pesquisa concerne em entender de que maneira a transformação da paisagem urbana de Várzea Grande, impactou o clima urbano, e como essas mudanças podem ser identificadas por meio da classificação por zonas climáticas locais (LCZ) e índices espectrais – índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e temperatura de superfície terrestre (TST) – para subsidiar diretrizes aplicadas ao planejamento urbano. Assim, a pesquisa teve como objetivo analisar as mudanças nas zonas climáticas locais e índices espectrais entre o ano de 2005 e 2020, período em que a população aumentou 26,64%. Foi realizada a classificação da morfologia urbana para os dois anos de estudo, revelando que, apesar do aumento da vegetação arbórea, algumas áreas, como as próximas à Macrozona Urbana, apresentaram diminuição da cobertura vegetal, enquanto a ocupação compacta e tipologias de construções baixas abertas, aumentaram. Com o auxílio de imagens do Landsat 5 e 8, foram calculados os índices espectrais, mostrando que a temperatura média da superfície aumentou 2,74°C em 15 anos. Além disso, observou-se que áreas com menor cobertura vegetal apresentaram temperaturas mais altas. A classe LCZ 2, identificada apenas no ano de 2020, sugere uma possível tendência para o adensamento urbano, caso não sejam adotadas medidas para mitigar impactos da urbanização.

Palavras Chave: Climatologia. Microclima. Urbanização.

ABSTRACT: The study of urban morphology and its transformations is fundamental for understanding changes in the landscape. The municipality of Várzea Grande has experienced population growth and morphological alterations in recent decades, with temperatures reaching 40°C and humidity levels around 20%. In this context, the research problem concerns understanding how the transformation of the urban landscape of Várzea Grande has impacted the urban climate, and how these changes can be identified through the classification of Local Climate Zones and spectral indices—namely the Normalized Difference Vegetation Index and Land Surface Temperature—in order to support guidelines for urban planning. Thus, the objective of this study was to analyze changes in Local Climate Zones and spectral indices between 2005 and 2020, a period during which the population increased by 26.64%. The classification of urban morphology was conducted for both years of study, revealing that, despite an increase in arboreal vegetation, some areas, particularly those near the Urban Macrozone, showed a reduction in vegetation cover, while compact occupation and low-rise open Building typologies increased. Using Landsat 5 and Landsat 8 imagery, the spectral indices were calculated, demonstrating that the average land surface temperature increased by 2.74°C over 15 years. Additionally, it was observed that areas with lower vegetation cover exhibited higher temperatures. The LCZ 2 class, identified only in 2020, suggests a possible trend toward urban densification if measures to mitigate the impacts of urbanization are not adopted.

Keywords: Climatology. Microclimate. Urbanization.

Recebido em:
04/02/2026
Revisado em:
01/06/2026
Publicado em:
26/08/2026

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos séculos, a humanidade vivenciou um acentuado êxodo rural-urbano, processo esse que altera as variáveis climáticas locais e contribui para o que é conhecido como clima urbano. Com o aumento da população nas cidades, surgem efeitos adversos como poluição do ar, ilhas de calor e chuvas ácidas, que afetam tanto a saúde das pessoas quanto a estrutura urbana. Alterações climáticas podem ter impacto físico e psicológico nos habitantes, resultando em efeitos como aumento de doenças cardiovasculares e respiratórias, especialmente entre idosos e crianças. Além disso, essas mudanças aumentam o consumo de energia e afetam a higiene do ar.

Apesar dos evidentes efeitos da urbanização sobre o clima, observa-se que os instrumentos de planejamento urbano ainda não incorporaram as variáveis climáticas em suas legislações e diretrizes. Essa lacuna contrasta com o avanço dos estudos em climatologia urbana, que demonstram a influência direta da forma urbana sobre elementos como temperatura, ventilação e qualidade do ar. A ausência dessa integração dificulta a construção de cidades mais resilientes e sustentáveis, especialmente frente às metas estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030, por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação Climática).

A cidade de Várzea Grande, na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá, exemplifica esse cenário. Em outubro de 2023, atingiu um recorde de temperatura de 42,2°C, evidenciando o impacto das condições climáticas extremas. Problemas como ondas de calor, queimadas e poluição do ar poderiam ser mitigados com um planejamento urbano que considere o clima. Contudo, ainda há desafios na tradução dos estudos de climatologia urbana para o planejamento efetivo das cidades.

Nesse contexto, a compreensão das variáveis climáticas locais e de sua interação com a morfologia urbana torna-se essencial para mitigar os impactos da urbanização. Conforme Mendes e Romero (2024), o clima urbano resulta da combinação de diversos fatores físicos e antrópicos, como a cobertura vegetal, a topografia, a permeabilidade do solo e a rugosidade das edificações, que influenciam diretamente os fluxos de energia e massa na superfície.

Estudos baseados na classificação das LCZs, proposta por Timothy R. Oke e colaboradores, evidenciam como diferentes tipologias construtivas e padrões de uso do solo produzem microclimas distintos dentro da cidade. Adicionalmente, a incorporação de ferramentas como sensoriamento remoto e índices espectrais permite não apenas diagnosticar essas variações, mas também subsidiar estratégias de planejamento urbano mais eficientes e adaptadas às condições climáticas locais.

Acrescenta-se que, após os anos 2000, o avanço das geotecnologias proporcionou melhores análises de dados espaciais e a visualização das relações entre vegetação, temperatura e outros fatores climáticos. O sensoriamento remoto, especialmente por meio de dados orbitais, permite avaliar com agilidade as mudanças na paisagem urbana e sua relação com o clima. A capacidade de quantificar diferenças de temperatura de superfície e cobertura vegetal constitui uma ferramenta importante para o planejamento urbano (FERNANDES *et al.*; 2024).

Diante do contexto supracitado, e reconhecendo a lacuna científica relacionada aos poucos estudos sobre clima urbano no município de Várzea Grande, exploraram-se dados de tipologia construtiva e cobertura da superfície municipal, com a finalidade de incluir aspectos climáticos no planejamento urbano pela análise das mudanças paisagísticas em Várzea Grande ao longo de 15 anos, utilizando a classificação por LCZ proposta por Stewart e Oke (2012), e correlacionando estas análises com índices espectrais obtidos através de dados oriundos de sensoriamento remoto. Essa metodologia, que relaciona a tipologia construtiva e a cobertura do solo ao clima, é amplamente utilizada em estudos urbanos.

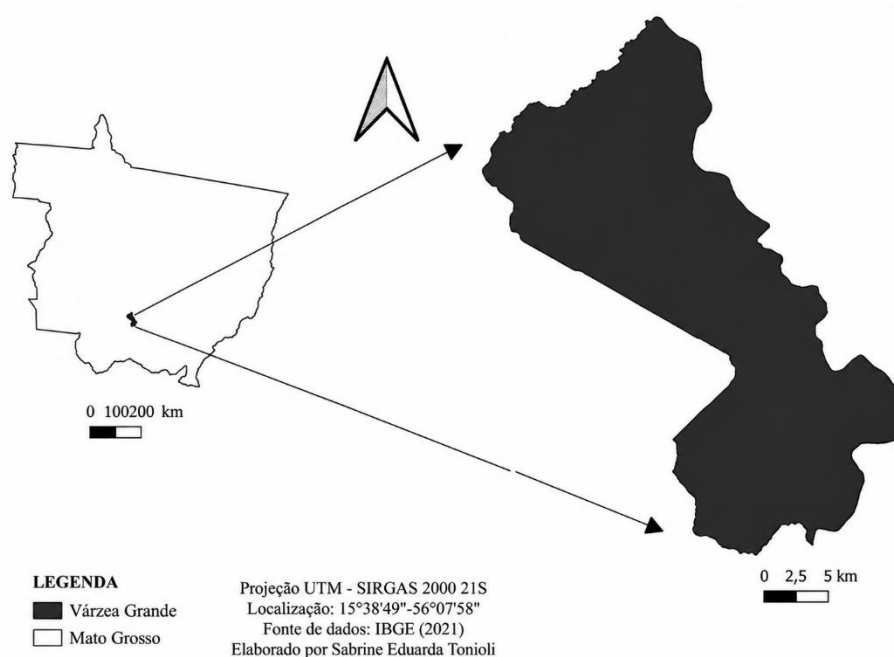
Assim, o objetivo geral do presente trabalho foi analisar a evolução das zonas climáticas locais e dos índices espectrais em Várzea Grande nos anos de 2005 e 2020. Os resultados desta pesquisa inédita podem oferecer informações úteis para o planejamento urbano, auxiliando na tomada de decisões que considerem o impacto ambiental e climático. Mapas temáticos gerados a

partir dessa pesquisa podem orientar a gestão do município, promovendo decisões mais sustentáveis e resilientes às mudanças climáticas. Ao integrar dados climáticos ao planejamento urbano, Várzea Grande pode avançar na construção de uma cidade mais saudável e adaptada aos desafios climáticos.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Várzea Grande (Figura 1), situa-se à margem direita do rio Cuiabá, pertence à Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá (RMVRC), é a segunda cidade mais populosa do estado e a sétima cidade mais populosa da Região Centro-Oeste, apresentando uma densidade demográfica de 414,31 habitantes/km² com extensão territorial de 724,279 km² e 69,7% de arborização em vias públicas (IBGE, 2022).

Figura 1 - Município de Várzea Grande (MT): Localização a partir dos limites perimetrais do estado de Mato Grosso, 2022



Fonte: IBGE, 2022. Elaboração: os autores, 2024.

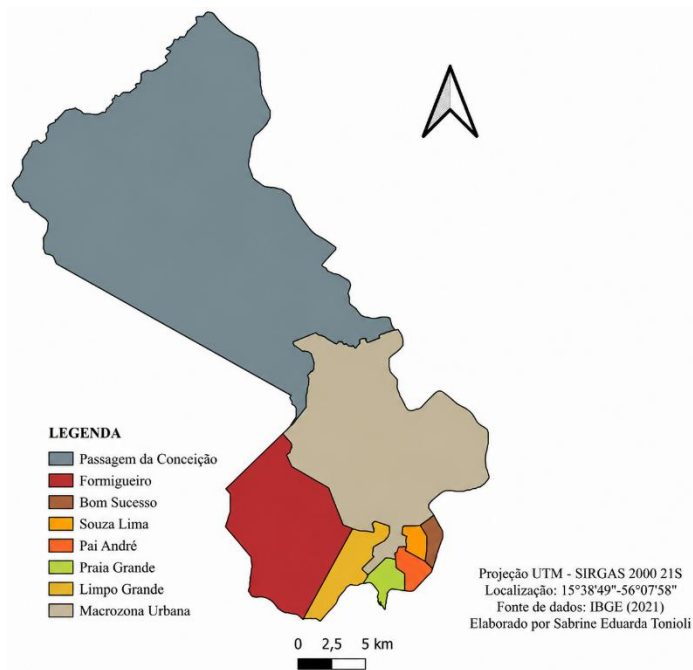
A cidade está localizada a 15° 38' 49" S e a 56° 07' 58" O, onde o bioma predominante é o cerrado o que lhe confere uma cobertura vegetal típica, possuindo também traços do bioma amazônico. O clima na cidade é caracterizado como tropical de savana de acordo com a classificação climática de *Koppen-Geiger*, e a temperatura média anual fica em torno de 25,9 °C, com tempo médio de insolação de 1.500 horas anuais e umidade relativa de 60%. A precipitação média é de 1.750 milímetros anuais distribuídos de forma concentrada nos meses de janeiro, fevereiro e março (SANTOS, 2012).

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

Conforme a Lei Complementar 4.695 de 2021, o território de Várzea Grande é composto por oito distritos, sendo: Passagem da Conceição, Formigueiro, Bom Sucesso, Souza Lima, Pai

André, Praia Grande, Limpo Grande e a Macrozona Urbana. Na Figura 2, são demonstradas as oito regiões do município de Várzea Grande.

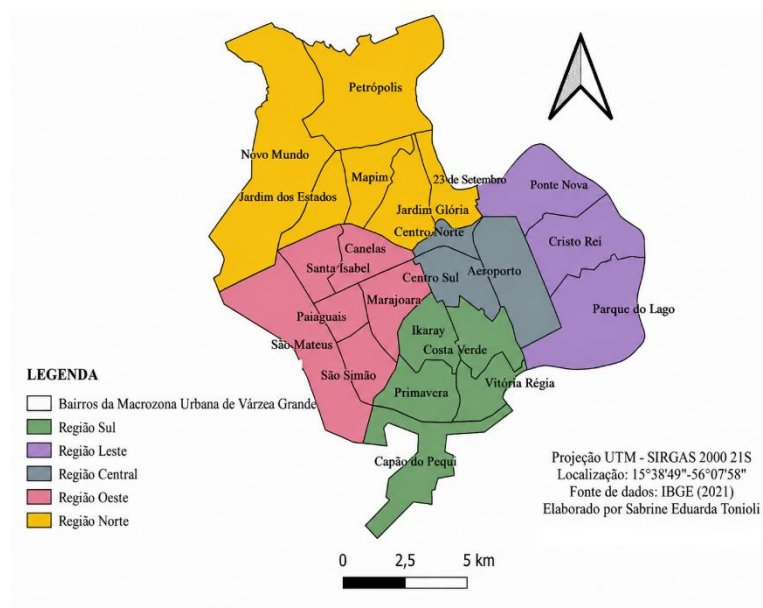
Figura 2 - Município de Várzea Grande (MT): Ordenamento do Território, 2022



Fonte: IBGE, 2022. Elaboração: os autores, 2024.

Considerando apenas a região da macrozona urbana, esta pode ser subdividida em cinco regiões as quais comportam todos os bairros do perímetro urbano de Várzea Grande (LIMA, 2023). Pela Figura 3, ilustra-se as regiões da macrozona urbana de Várzea Grande, e os respectivos bairros que compõem cada região.

Figura 3 – Município de Várzea Grande (MT): Regiões da Macrozona Urbana, 2022



Fonte: IBGE, 2022. Elaboração: os autores, 2024.]

O procedimento metodológico pode ser segmentado em três partes: (2.1) Classificação LCZ; (2.2) Obtenção de imagens satelitais; (2.3) Tratamento estatístico. Essa metodologia pode ser replicada para qualquer outro local, ampliando assim a abrangência deste estudo.

2.1 Classificação LCZ

Para esta pesquisa, a classificação LCZ se deu por um processo automatizado pelo programa disponível de forma gratuita via *web*, o *LCZ Generator* versão 1.2, publicado por Demuzere, Kittner e Bechtel (2021), que demanda para sua utilização: áreas de treinamento, imagens de satélite e um algoritmo de classificação de imagens (LIMA e AMORIM, 2020).

A identificação das áreas de treinamento reflete na avaliação da acurácia do mapa de classificação. Essas áreas foram identificadas a partir da análise das tipologias construtivas e coberturas de solo. Para esse processo, contou-se com um modelo padronizado de rótulos das classes do sistema LCZ, disponibilizado pelo *World Urban Database and Access Portal Tools* (WUDAPT), do qual também se seguiu o protocolo de digitalização de áreas de treinamento em ambiente digital do *Google Earth Pro*. Com fins de evitar classificações errôneas, utilizou-se como apoio durante este processo o guia de campo proposto por Stewart (2018), que ajudou a identificar as classes LCZ com base em observações diretas, não instrumentalizadas.

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

Para o ano de 2005, as áreas de treinamento produzidas na classificação do município totalizaram 70 polígonos e um quantitativo de área treinada com 16,54 km². E, as áreas de treinamento realizadas para a classificação do município referente ao ano de 2020 totalizaram 87 polígonos e um quantitativo de área com 31,88 km². A submissão destes dados foi realizada pelo preenchimento e envio de um formulário na página virtual do *LCZ Generator*.

O processamento dos dados submetidos foi realizado em ambiente computacional de forma inacessível fisicamente aos usuários, pois foi realizado em nuvem. Nesse processo, o *Google Earth Engine* (GEE) foi utilizado, pelo fato de possuir acesso ao conjunto de imagens de satélite do *Landsat* e do *Sentinel*. Assim, as imagens de satélite foram utilizadas em conjunto com as áreas de treinamento, formando os dados de entrada para o classificador das classes LCZ. Como saída de processamento, o principal dado é o mapeamento digital de LCZ em resolução espacial de 100x100 m.

Na avaliação da acurácia do mapa de LCZ, foram consideradas as métricas fornecidas pelo *LCZ Generator*, destacando-se a acurácia global (*Overall Accuracy – OA*), que representa a proporção total de amostras corretamente classificadas; a acurácia restrita às classes urbanas (*Overall Accuracy urban – OAu*), que avalia o desempenho do modelo especificamente nas LCZs 1 a 10; a acurácia para distinção entre superfícies construídas e naturais (*Overall Accuracy built-up vs. natural – OAbu*), que indica a capacidade do classificador em separar áreas urbanizadas das não urbanizadas; e a acurácia ponderada (*Overall Accuracy weighted – OAw*), que considera pesos diferenciados entre as classes, reduzindo efeitos de desbalanceamento amostral.

De modo geral, valores de OA superiores a 0,70 são considerados aceitáveis, enquanto valores acima de 0,80 indicam boa acurácia em classificações de uso e cobertura da terra, incluindo LCZ (CONGALTON; GREEN, 2019; DEMUZERE; KITTNER; BECHTEL, 2021). Em aplicações específicas de LCZ, recomenda-se cautela na interpretação isolada da OA, sendo desejável a análise conjunta com métricas complementares, como OAu e OAbu, sobretudo em

contextos urbanos heterogêneos (DEMUZERE; KITTNER; BECHTEL; 2021; VERDONCK *et al.*, 2019).

Após o recebimento e análise dos dados oriundos do programa *LCZ Generator*, o mapa de classificação foi transformado de *raster* para um arquivo vetorial com a ferramenta polinizar e após, foi realizado o recorte da área a ser estudada, por extração da camada de máscara. Para este processo, estabeleceu-se uma poligonal de interesse para recortar o mapeamento de LCZ, realizado em *software* livre Qgis versão 3.30.3, que foi o perímetro territorial do município de Várzea Grande.

2.2 Obtenção de imagens satelitais

As imagens de satélite utilizadas nesta pesquisa foram obtidas gratuitamente do *United States Geological Survey* (USGS). Foi necessário o uso de dados originados por mais de um satélite com a finalidade de adequação ao intervalo de estudo, portanto, as imagens selecionadas foram advindas da série *Landsat 5* e *Landsat 8*, ambas da órbita 226 e ponto 71.

Nesse contexto, para o ano de 2005, o satélite escolhido foi o *Landsat 5*. A imagem satelital poderia apresentar até 10% de nebulosidade (LIMA, 2023), e o intervalo de data foi o mês de agosto. Já para o ano de 2020, a alteração foi com relação ao satélite, que passou a ser o *Landsat 8*, mantendo como critério de seleção a nebulosidade em até 10% e o mês de agosto como intervalo de data. Para os dois satélites selecionados, optou-se por imagens advindas da Coleção 2 Nível 1, já que estes possuem aprimoramento de dados, geometria e radiometria.

Após isto, foram selecionadas duas imagens, uma para cada ano de estudo, sendo uma imagem do dia 11 de agosto de 2005 com passagem do satélite no local imageado às 09 horas 33 minutos e 38 segundos em horário local e data juliana de 2.453.604,5. A outra imagem foi referente ao dia 04 de agosto de 2020, em horário local de 09 horas 45 minutos e 33 segundos e data juliana de 2.459.040,5.

As imagens de satélite selecionadas foram utilizadas para o desenvolvimento de cálculo e obtenção da TST (temperatura de superfície terrestre) e do índice NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada). O procedimento metodológico foi semelhante entre os anos avaliados, mas como as imagens foram oriundas de satélites diferentes, e assim com sensores de configurações específicas, a metodologia para a obtenção da TST e do índice NDVI teve de ser adaptada para cada ano de análise, a seguir sintetizado na Tabela 1.

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

Tabela 1 - Município de Várzea Grande (MT): Síntese do procedimento matemático de acordo com a origem das imagens satelitais, 2024.

Parâmetro	Ano de 2005 - Landsat 5	Ano de 2020 - Landsat 8
Radiância no Topo da Atmosfera (Ltoa)	$L_{toa} = [(L_{máx} - L_{mín}) / (Q_{calmáx} - Q_{calmín})] * (Q_{cal} - Q_{calmín}) + L_{mín}$	$L_{toa} = (ML * Q_{cal}) + AL$
Refletância no Topo da Atmosfera (Rtoa)	Não se aplica	$R_{toa} = (ML * Q_{cal} + AL) / \sin(\theta)$
Índice de Vegetação por	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$

Diferença Normalizada (NDVI)		
Fator de Cobertura Vegetal (FCV)	Não se aplica	$FCV = [(NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})]^2$
Emissividade (E)	$E = 1,0094 + 0,0047 \ln(NDVI)$	$E = (E_v * FCV) + E_g * (1 - FCV) * (1 - 1,74 * FCV) + 1,7372 * FCV * (1 - FCV)$
Radiância Corrigida (Lt)	Não se aplica	$L_t = ((L_{toa} - L_u - (1 - E) * L_d) / (E * t))$
Temperatura de Brilho (Tb)	$T_b = k_2 / \ln((k_1 / L_{toa}) + 1)$	$T_b = k_2 / \ln((k_1 / L_t) + 1)$
Temperatura de Superfície (TST)	$TST = [T_b / (1 + (\lambda * T_b / \rho) * \ln(E))] - 273,15$	$TST = [T_b / (1 + (\lambda * T_b / \rho) * \ln(E))] - 273,15$

É importante frisar que a análise multitemporal realizada neste estudo apresenta limitações inerentes ao uso de sensores distintos, os quais apresentam diferenças nas resoluções espectrais e calibração radiométrica. Essas variações implicam na necessidade de adaptações metodológicas para o cálculo de parâmetros como a TST e o NDVI, conforme evidenciado pela Tabela 1. Além disso, os efeitos atmosféricos, como a presença de aerossóis, vapor d'água e variações na incidência solar no momento da aquisição das imagens, podem introduzir incertezas adicionais nos valores obtidos. Tais fatores limitam a comparabilidade direta entre os anos analisados, exigindo cautela na interpretação dos resultados, sobretudo quando se busca identificar mudanças na paisagem e no comportamento térmico urbano. Ainda assim, a adoção de critérios padronizados de seleção das imagens, como período sazonal semelhante e baixa cobertura de nuvens, contribui para minimizar essas discrepâncias, tornando a análise consistente dentro das possibilidades metodológicas do sensoriamento remoto aplicado a estudos urbanos (DEMUZERE; KITTNER; BECHTEL, 2021; FERNANDES et. al., 2024; CONGALTON; GREEN, 2019).

2.3 Tratamento estatístico

Foram utilizados dois *softwares* para as análises estatísticas realizadas nesta pesquisa, um foi o Geoda, que é uma ferramenta gratuita de código aberto, útil para à ciência de dados espaciais e, o outro foi o Qgis, que além de seu uso nativo, também possui funções relacionadas à análises estatísticas e sumarização destas, mas nesta pesquisa, além das funções previamente existentes, foi adicionado um complemento relacionado à *scripts* do *software* R, potencializando aplicações estatísticas dentro da interface do programa, como testes estatísticos de variância dos dados.

Após o mapeamento das classes LCZ e dos índices espectrais, esses dados foram integrados no Qgis para todo o perímetro do município de Várzea Grande, em uma resolução espectral de 100x100 m, compondo 72.376 polígonos. As análises estatísticas desenvolvidas foram baseadas no pressuposto de que cada LCZ identificada, tanto para o ano 2005 quanto para o ano de 2020, resultaria em valores de temperatura de superfície significativamente diferentes.

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

2.3.1 Análise da distribuição dos dados

Para esta etapa, foi optado pelo uso do gráfico *boxplot*, já que esta é uma técnica que pode ser utilizada para comparar grupos e demonstrar a distribuição dos dados, de forma padronizada (SILVA, 2023). Essas análises foram feitas por meio do recurso explorar dados do programa Geoda.

2.3.2 Análise da variância da TST e NDVI

Para realizar o estudo sobre a variância dos dados da TST e NDVI, aplicou-se o teste de *Kolmogorov-Smirnov* (RESCHENHOFER, 1996), em ambiente *Qgis*. Para a análise de distribuição da TST e NDVI, foi selecionada a opção *basic statistics* por meio do *script kolmogorov-Smirnov_test*. Neste caso, as hipóteses testadas, foram:

- a) Hipótese nula (H_0): distribuição dos dados é normal (valor $p > 0,05$);
- b) Hipótese alternativa (H_1): distribuição dos dados não é normal (valor $p < 0,05$).

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

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

- a) Hipótese nula (H_0): não existe diferença estatística entre as classes LCZ (valor $p > 0,05$);
- b) Hipótese alternativa (H_1): existe pelo menos uma diferença significativa entre as classes LCZ (valor $p < 0,05$).

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

Para TST

- a) Hipótese nula (H_0): TST da LCZx 2005 = TST da LCZy 2020 (valor $p > 0,05$);
- b) Hipótese alternativa (H_1): TST da LCZx 2005 $\neq$ TST da LCZy 2020 (valor $p < 0,05$).

Para NDVI

- a) Hipótese nula (H_0): NDVI da LCZx 2005 = NDVI da LCZy 2020 (valor $p > 0,05$);
- b) Hipótese alternativa (H_1): NDVI da LCZx 2005 $\neq$ NDVI da LCZy 2020 (valor $p < 0,05$).

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

Para TST – 2005

- a) Hipótese nula (H_0): TST da LCZx 2005 = TST da LCZy 2005 (valor $p > 0,05$);
- b) Hipótese alternativa (H_1): TST da LCZx 2005 $\neq$ TST da LCZy 2005 (valor $p < 0,05$).

Para TST – 2020

- a) Hipótese nula (H_0): TST da LCZx 2020 = TST da LCZy 2020 (valor $p > 0,05$);
- b) Hipótese alternativa (H_1): TST da LCZx 2020 $\neq$ TST da LCZy 2020 (valor $p < 0,05$).

Para NDVI – 2005

- a) Hipótese nula (H_0): NDVI da LCZx 2005 = NDVI da LCZy 2005 (valor $p > 0,05$);
- b) Hipótese alternativa (H_1): NDVI da LCZx 2005 $\neq$ NDVI da LCZy 2005 (valor $p < 0,05$).

Para NDVI – 2020

- a) Hipótese nula (H_0): NDVI da LCZx 2020 = NDVI da LCZy 2020 (valor $p > 0,05$);

b) Hipótese alternativa (H1): NDVI da LCZx 2020 $\neq$ NDVI da LCZy 2020 (valor $p < 0,05$). Após as análises, os resultados foram distribuídos em uma matriz por comparação de medianas, onde as células da matriz foram preenchidas com o valor p .

2.3.3 Análise de correlação

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

Essa correlação avalia a relação de forma monotônica entre duas variáveis, ou seja, as variáveis tendem a mudar, mas não necessariamente a uma taxa constante. No delineamento, a TST foi estabelecida como variável dependente e o índice NDVI como variável explicativa. Esta análise foi realizada no Qgis por meio do recurso *basic statistics*.

3. RESULTADOS/ DISCUSSÕES

3.1 Classificação LCZ

Para o ano de 2005, a avaliação da acurácia do mapa de LCZ evidenciou desempenho satisfatório do processo de classificação, com acurácia global (OA) de 0,73. Observa-se também um aumento da acurácia quando analisadas especificamente as classes urbanas, com OAu de 0,79, indicando melhor desempenho do modelo na identificação das tipologias urbanas. A métrica OAbu apresentou valor de 0,88, evidenciando elevada capacidade de distinção entre superfícies construídas e naturais, enquanto a acurácia ponderada (OAw) atingiu 0,91, refletindo um desempenho global robusto ao considerar o peso relativo das classes. Esses resultados estão em consonância com a literatura, na qual valores de OA superiores a 0,70 são considerados adequados e superiores a 0,80 indicam boa qualidade de classificação, especialmente em estudos de LCZ (CONGALTON e GREEN, 2019; DEMUZERE; KITTNER; BECHTEL; 2021; VERDONCK *et al.*, 2019), reforçando a confiabilidade do mapeamento realizado para o período analisado.

Ainda à luz das referências supracitadas, para o ano de 2020, observa-se a manutenção da acurácia global (OA = 0,73), contudo com melhora no desempenho das métricas específicas, destacando-se o aumento da acurácia nas classes urbanas (OAu = 0,81) e a elevada capacidade de distinção entre áreas construídas e naturais (OAbu = 0,87). A acurácia ponderada (OAw = 0,93) indica um desempenho ainda mais consistente do modelo, sugerindo aprimoramento na representação das classes com diferentes pesos e maior confiabilidade geral da classificação. Esses resultados reforçam a robustez metodológica adotada e indicam evolução na qualidade do mapeamento LCZ ao longo do período analisado.

3.2 Classificação LCZ para Várzea Grande (MT) – 2005

Foram identificadas 10 classes LCZ, sendo quatro relacionadas à tipologia construtiva e seis com referência à cobertura do solo. A Tabela 2 apresenta dados descritivos oriundos do processo de classificação.

Tabela 2 - Município de Várzea Grande (MT): Descrição básica das áreas de treinamento, 2005.

Classe	Quantidade de Polígonos Treinados	Soma da área de treinamento (km ²)
LCZ 3 – Baixo Compacto	11	4,53
LCZ 6 – Baixo Aberto	6	0,78
LCZ 8 – Baixo Grande	5	1,17
LCZ 9 – Ocupação Esparsa	4	1,31
LCZ A – Vegetação Arbórea Densa	9	1,87
LCZ B – Vegetação Arbórea Esparsa	6	0,28
LCZ C – Vegetação Arbustiva	8	2,1
LCZ D – Vegetação Herbácea	4	0,26
LCZ F – Solo Exposto	7	3,61
LCZ G - Água	10	1,07
Total	67	16,98

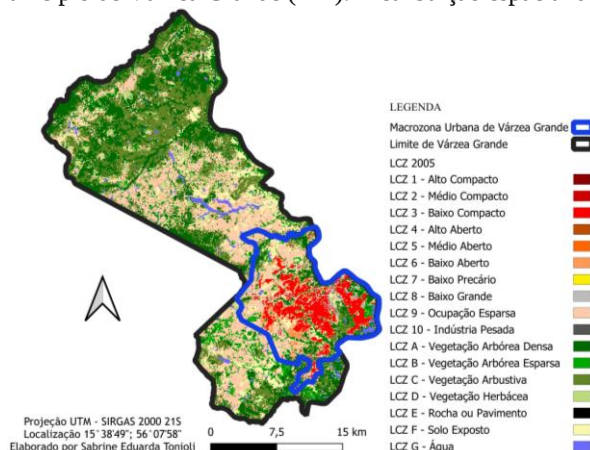
As classes LCZ 1, LCZ 2, LCZ 4 e LCZ 5 não foram identificadas na área de estudo, assim como a LCZ 7, LCZ 10 e LCZ E. Em se tratando da LCZ 1 e LCZ 4, que são relativas à ocupações alta compacta e aberta, respectivamente, esta tipologia construtiva não foi identificada em escala local na área avaliada para o ano de 2005, assim como a LCZ 2 e LCZ 5 com ocupações média compacta e aberta. Com relação às LCZ 7, LCZ 10 e LCZ E, as mesmas existem na área de estudo, porém em distribuição espacial menor do que o mínimo definido por Stewart e Oke (2012), que é de diâmetro entre 400 a 1.000 m.

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

As classes de LCZ B, LCZ D e LCZ 6 obtiveram acurácias menores, e também são as classes com menor quantitativo de área treinada, porque foram identificadas em menores proporções na área de estudo. Ou seja, uma classe com poucas áreas de treinamento tende a fornecer uma quantidade limitada de informações sobre ela, existindo a probabilidade de o classificador automático do LCZ *Generator* não a identificar corretamente (VERDONCK *et al.*, 2019). Por isso, um dos testes estatísticos realizados nesta pesquisa teve a finalidade de identificar a existência de diferenças significativas entre as classes LCZ e seus atributos como TST e NDVI.

Na Figura 4 adiante apresenta-se a classificação LCZ para o município de Várzea Grande referente ao ano 2005.

Figura 4 – Município de Várzea Grande (MT): Distribuição espacial das LCZ, 2005.



Pelo recorte da área de estudo, demonstrado na Figura 4, a Macrozona Urbana do município tem predominância de ocorrência da LCZ 3, tipologia construtiva esperada para uma área urbanizada, assim como, quando se afasta da região central da cidade, a LCZ 9 com ocupação esparsa foi identificada em maior recorrência. Na região Passagem da Conceição, região rural e assim pouco urbanizada, a predominância é das LCZ B, LCZ C e LCZ D com significativa presença de regiões arbóreas. Resultados similares foram encontrados por outros pesquisadores, como: Ferreira (2019), Werneck (2022) e Santos (2023).

3.3 Classificação LCZ para Várzea Grande (MT) – 2020

Foram identificadas as mesmas 10 classes LCZ relativas ao ano de 2005, acrescida da LCZ 2, assim sendo cinco classes relacionadas à tipologia construtiva e seis com referência à cobertura do solo. A Tabela 3 sintetiza dados descritivos oriundos do processo de classificação.

Tabela 3 - Município de Várzea Grande (MT): Descrição básica das áreas de treinamento, 2020.

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

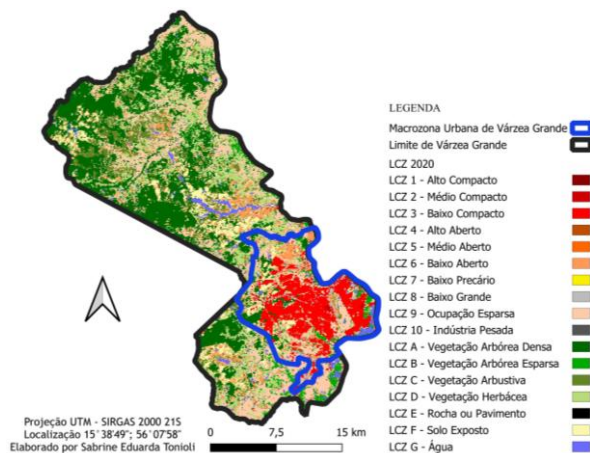
Assim como ocorreu com a classificação do ano de 2005, a LCZ 1, LCZ 4 e LCZ 5 não foram identificadas na área de estudo, bem como a LCZ 7, LCZ 10 e LCZ E.

Em se tratando da LCZ 1 e LCZ 4, que são relativas à ocupações alta compacta e aberta, respectivamente, esta tipologia construtiva não foi identificada em escala local na área avaliada para o ano de 2020, assim como a LCZ 5 com ocupações média aberta. Em relação às LCZ 7, LCZ 10 e LCZ E, as mesmas existem na área de estudo, porém em distribuição espacial menor do que o mínimo definido por Stewart e Oke (2012), que é de diâmetro entre 400 - e 1000 m, assim como aconteceu na classificação para o ano de 2005.

Em 2020 a classe LCZ 2 com ocupação média compacta foi identificada, porém durante a inserção das áreas de treinamento, foi possível perceber que esta classe existia com pouca presença no espaço da área estudada, o que explica esta classe ter apresentado acurácia baixa em relação as demais classes. Já a classe com maior quantidade de polígonos identificados, foi novamente a LCZ 3 com ocupação baixa compacta, isso por outra vez foi a classe mais simples de treinar e de fácil identificação na zona urbana do município.

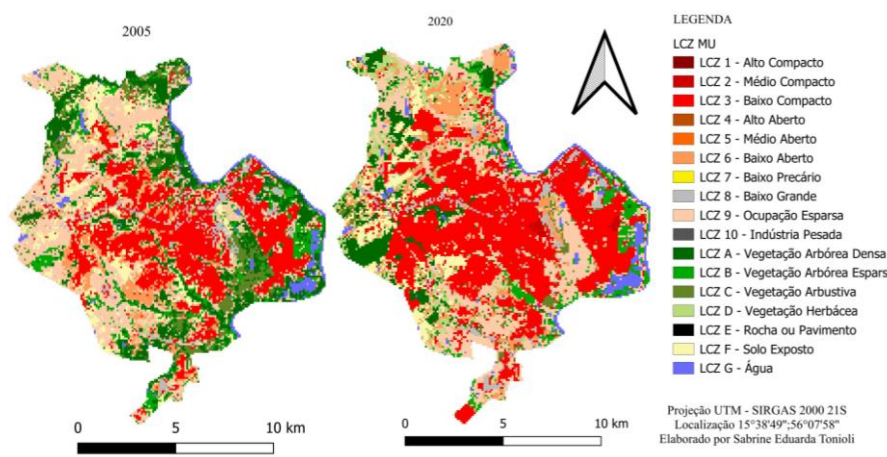
Além da LCZ 2, a LCZ C de vegetação arbustiva, também apresentou acurácia baixa, e isso pode ser explicado pelas poucas vezes em que estas foram identificadas na área de estudo. Outra classe, como a LCZ B, também possuiu pouca área de treinamento, mas neste caso, obteve acurácia maior, provavelmente porque as suas áreas treinadas possuíram maiores detalhes e informações sobre sua composição, o que fez com que o algoritmo obtivesse maior precisão durante a classificação. Na Figura 5 adiante apresenta-se a classificação LCZ para o município de Várzea Grande com relação ao ano de 2020.

Figura 5 – Município de Várzea Grande (MT): Distribuição espacial das classes LCZ, 2020.



Pelo recorte da área de estudo, demonstrado na Figura 5, observa-se novamente a predominância da LCZ 3 na Macrozona Urbana, além de que é possível identificar visualmente que sua ocorrência aumentou do ano de 2005 à 2020 (Figura 6), o que significa a existência de adensamento de áreas, as tornando mais compactas, o que favorece a ocorrência de locais com maiores gradientes de temperatura.

Figura 6 – Município de Várzea Grande (MT): Distribuição espacial das classes LCZ, 2005 e 2020.



Percebe-se pela Figura 6 que a expansão da LCZ 3 foi observada em todas as regiões da Macrozona Urbana. Analogamente, pode-se inferir que as classes naturais de cobertura vegetativa tiveram diminuição em todo o perímetro municipal na janela temporal avaliada. E, em vista de estas serem regiões de atenuação térmica, sua diminuição ou ausência, também contribui para a geração de temperaturas cada vez maiores no município.

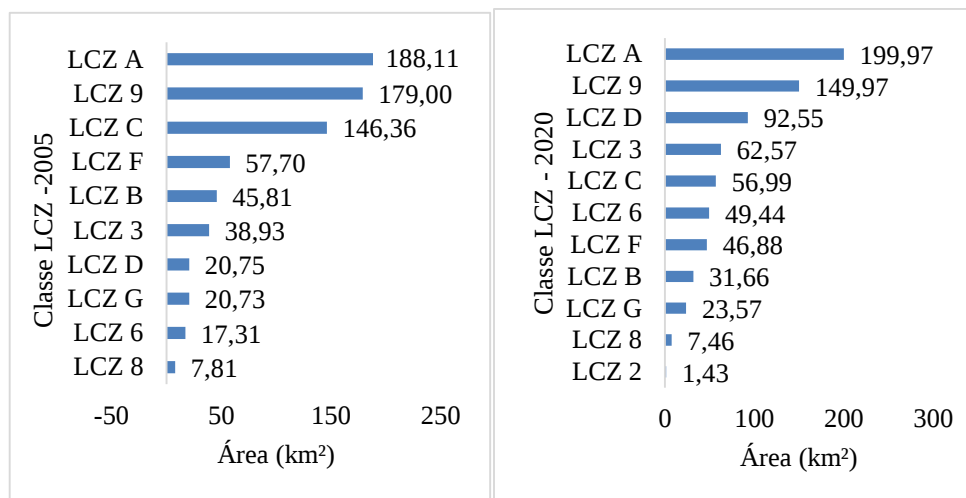
Para a dinâmica de uso e ocupação do solo observada, especialmente o aumento das áreas classificadas como LCZ 3 e a redução de classes naturais, foram encontradas inferências

similares nas pesquisas de Demuzere *et al.* (2021), que apontam a substituição progressiva de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis como uma tendência recorrente em cidades em processo de urbanização, indicando que o adensamento urbano e a expansão horizontal resultam na predominância de tipologias construtivas mais compactas, corroborando o padrão identificado na área de estudo desta pesquisa.

3.4 Comparativos da classificação LCZ para Várzea Grande (MT) – 2005 e 2020

A Figura 7 representa o quantitativo de área abrangido por cada LCZ no intervalo de análise, em ordem decrescente. Acrescenta-se que, ao nível de 95% de confiança estatística, foi identificada diferença significativa entre todas as classes LCZ identificadas em 2005 quando comparadas com as suas respectivas classes do ano de 2020.

Figura 7 – Município de Várzea Grande (MT): Distribuição espacial das classes LCZ, 2005 e 2020



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

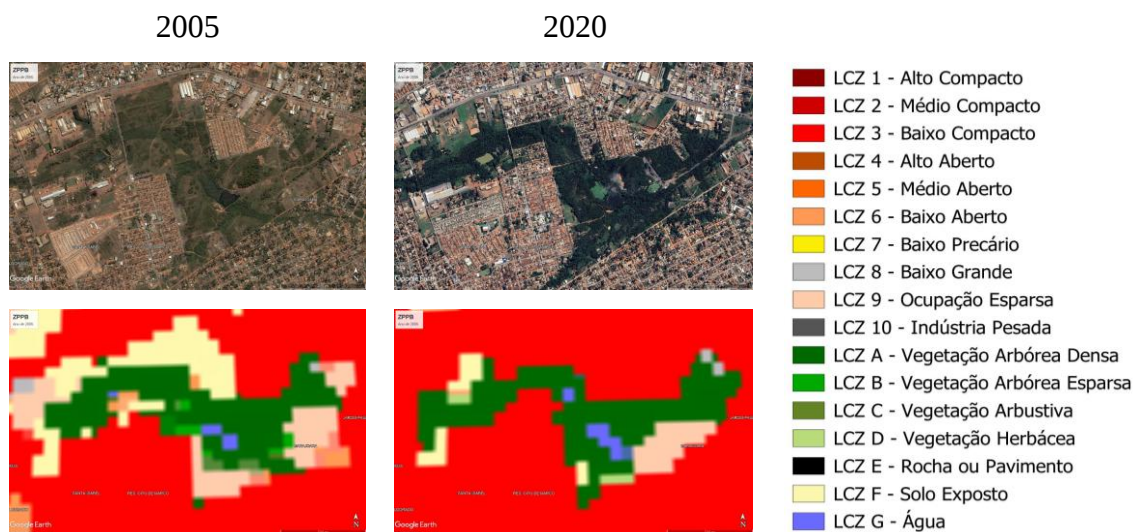
A LCZ 9 passou da cobertura de 24,77% em 2005 para 20,75% em 2020, diminuindo cerca de 4,02% ou 29,03km², e isso pode ser, em partes, justificado pela expansão da LCZ 3, que aumentou de 2005 à 2020 cerca de 3,22% e, para ambos os anos analisados, apresentou predominante localização na Macrozona Urbana.

O avanço da tipologia construtiva LCZ 3 de ocupação baixa compacta também pode ser percebida entre os anos de 2005 e 2020 na região Oeste da Macrozona Urbana, mais precisamente nos arredores da zona de proteção do Parque Berneck (15°38'53.84"S; 56°10'14.72"O). Por meio da Figura 8 é possível verificar que as classes LCZ 9 e LCZ F, relativas a ocupação esparsa e solo exposto, respectivamente, foram suprimidas pela classe LCZ 3 de ocupação média compacta.

A região entre as proximidades do Parque Berneck faz parte da zona de proteção do parque, onde se permite apenas o uso residencial e devem ser verificados os possíveis impactos oriundos da impermeabilização do solo, que entre os anos avaliados nesta pesquisa, apresentou notório avanço, com menor possibilidade de ocorrência nas proximidades do parque para os próximos anos.

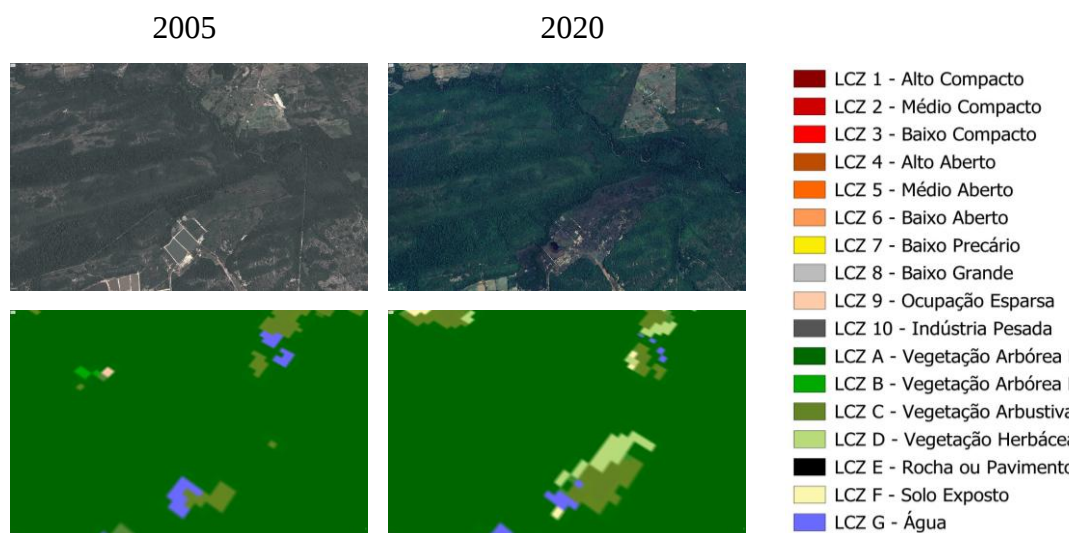
A região Oeste, onde o Parque Berneck está localizado, entre os anos 2000 e 2010 apresentou crescimento populacional em todos os seus bairros.

Figura 8 – Município de Várzea Grande (MT): Comparativos em resolução espacial de 2 km entre classes LCZ nos arredores do Parque Berneck, 2005 e 2020



A LCZ D foi a terceira classe com maior predominância no município em 2020, aumentado cerca de 71,80km² a partir de 2005 até 2020. De forma contrária, a LCZ C diminuiu sua abrangência em 89,37km² no mesmo intervalo de análise. Sendo a LCZ C a caracterização da paisagem com vegetação arbustiva, e a LCZ D com vegetação herbácea, pode-se inferir desse comparativo que a vegetação herbácea, com menor porte, ocupou espaço que no ano de 2005 possuía vegetação arbustiva. Isso pode ser aferido tanto pelos dados quantitativos apresentados neste tópico (Figura 7), quanto de forma qualitativa pela Figura 9 com a análise de uma área de região rural Passagem da Conceição (15° 35' 26.43" S; 56° 12' 46.05" O).

Figura 9 – Município de Várzea Grande (MT): Comparativos em resolução espacial de 10 km entre classes naturais, 2005 e 2020



Percebe-se pela Figura 9 que para a mesma área, no ano de 2020 houve a presença da classe LCZ D de vegetação herbácea, e um quantitativo maior de área da LCZ C com vegetação arbustiva e arbórea de pequeno porte quando comparado com a classificação realizada para o ano de 2005, onde a vegetação arbórea densa continha maior quantitativo de área.

Ressalta-se que, apesar da LCZ A, com vegetação arbórea densa, ter apresentado maior área para os anos de 2005 e 2020, a diminuição de seu porte vegetativo foi identificada por meio desta

pesquisa. E, este fato ocorreu também em regiões urbanas como o exposto pela Figura 6.

No que se refere a LCZ 8 de ocupação baixa grande, tipicamente desenhada com galpões, a mesma passou da abrangência de 7,81km² em 2005 para 7,46km² em 2020, uma diminuição de menos de 0,5km². Já a LCZ 6 de característica baixa aberta aumentou de 17,31km² em 2005 para 49,44km² no ano de 2020, obtendo assim um aumento de área com mais de 30km².

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

A classe LCZ F, relacionada a solo exposto, diminuiu 1,5% no intervalo analisado, já a classe G de água, aumentou 0,4%, classes sem evidentes alterações na paisagem avaliada. Destaca-se que a região central da Macrozona Urbana já possuía classificação com LCZ 3 em sua maior parte territorial em 2005, e que seu crescimento “vertical” é uma das opções encontradas por gestores urbanos perante o crescimento de cunho comercial destas localidades em especial.

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

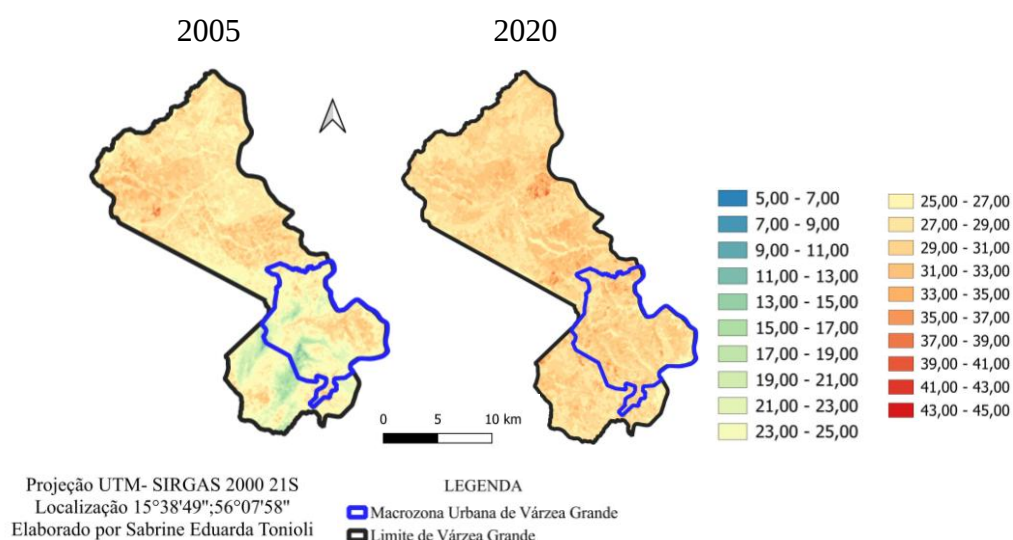
Com relação às tipologias construtivas, houve notório aumento da classe LCZ 3 de tipologia baixa compacta e diminuição em proporções similares da LCZ 9 de ocupação baixa esparsa, um efeito esperado frente às expansões urbanas, onde espaços antes esparsos, passam a ser compactos.

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

3.5 Índice espectral: temperatura de superfície terrestre

Pela Figura 10 é possível observar o mapa temático para TST em relação ao território municipal para o ano de 2005 e 2020, respectivamente.

Figura 10 – Município de Várzea Grande (MT): TST em °C, 2005 e 2020



Na Figura 10, relativa a análise de 2005, pode-se inferir que as temperaturas mais baixas ($\cong 9^{\circ}\text{C}$) estão localizadas na região da Macrozona Urbana, Formigueiro e Souza Lima. As duas últimas, são regiões rurais onde a agricultura familiar é a base econômica dos moradores locais. Estas áreas possuíam à época, ocupações esparsas, com significativa presença de cobertura do solo permeável, composto por vegetação arbórea (LCZ A e LCZ B) e arbustiva (LCZ C), o que foi

identificado pela classificação por LCZ ao intervalo e local em questão (Figura 4). Com relação as temperaturas menores para a análise de 2020, estas foram registradas em locais com vegetação arbórea densa (LCZ A) e presença de água (LCZ G), em gradientes de $\cong 23^{\circ}\text{C}$.

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

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

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

Conforme Borunda (2021), os incêndios também afetam a própria atmosfera, isso porque as partículas de fumaça são escuras, por isso, absorvem a luz solar e aquecem a si mesmas e o ar ao seu redor, colaborando para o aumento dos gradientes de temperatura. Além de que, estas partículas de fumaça tornam algumas nuvens mais densas e mais comprimidas com pequenas gotículas, sendo esta uma combinação que torna a água existente nas nuvens menos propensa a cair na forma de chuva, e atenuar as altas temperaturas.

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

Com relação ao ano de 2020 e aos dados avaliados na pesquisa, é possível perceber pela Figura 10 que houve uma distribuição homogênea de temperaturas acima de $\cong 23^{\circ}\text{C}$, com a identificação de pontos quentes de $\cong 40^{\circ}\text{C}$ nas regiões rurais Passagem da Conceição e Formigueiro, além da Macrozona Urbana.

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

Como dito acima, não houve registro de regiões com temperaturas menores que $\cong 23^{\circ}\text{C}$ para a análise referente ao ano de 2020, no local e imagem analisada, oriunda de período quente-seco e

capturada próximo das 09h45min local. Nesta região o nascer do sol ocorre próximo das seis horas da manhã, assim, havendo um tempo estimado de quatro horas para exposição ao sol, o que pode justificar não haver registros menores de $\approx 23^{\circ}\text{C}$ nesta análise.

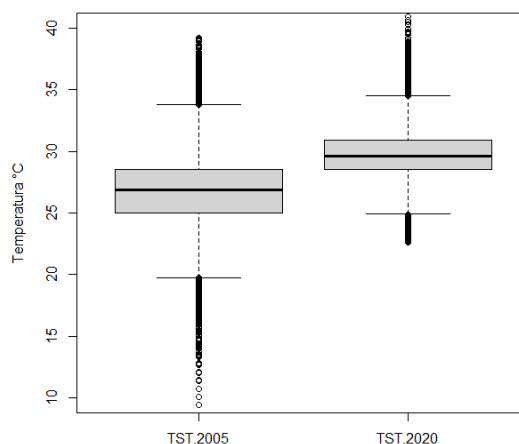
A imagem do ano de 2005 foi capturada próximo das 9h33min, com aproximadamente 12 minutos de diferença em relação à imagem do ano de 2020, e assim com menor tempo de exposição à incidência solar, e isso pode ter contribuído para o registro de gradientes menores de temperatura para o ano de 2005.

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

Neste sentido, foram encontradas inferências similares nas pesquisas de Fernandes et al. (2024), que utilizam dados da série Landsat para análise multitemporal. Esses estudos evidenciam incrementos térmicos associados à expansão urbana e à redução da cobertura vegetal, com magnitudes semelhantes às observadas nesta pesquisa, reforçando a tendência global de intensificação das ilhas de calor urbano.

Adicionalmente, análises estatísticas relacionadas aos polígonos (classes LCZ) e seus atributos (TST), foram realizadas com fins de validação dos resultados e interpretações desta pesquisa. Inicialmente, os dados foram avaliados com relação à sua distribuição, por meio do gráfico *boxplot* demonstrados pela Figura 11.

Figura 11 – Município de Várzea Grande (MT): Conjunto de dados de TST, 2005 e 2020



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

Com relação ao gráfico *boxplot* da TST 2020, a distribuição dos dados também apresentou simetria já que a tendência de centralidade dos dados ($29,57^{\circ}\text{C}$), está delineada no centro da caixa do diagrama. A média da TST para o ano de 2020 foi de $29,73^{\circ}\text{C}$, com dispersão de $2,41^{\circ}\text{C}$. Neste conjunto de dados também houve a identificação de *outliers*.

Perante os *outliers* identificados, optou-se por verificar a integralidade de cada conjunto de dados, com a finalidade de entender sua ocorrência, isso porque, os *outliers* representam dados que se diferenciam das demais observações, e podem levantar suspeitas sobre a observação daquele

dado em específico. O ideal é que após a detecção de um *outlier*, este seja excluído ou conservado no conjunto de dados, a depender do real motivo de seu surgimento (MONTGOMERY, 1991).

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

Foi realizado o teste de *kolmogorov-smirnov* com a finalidade de entender a distribuição dos dados. O resultado para o ano de 2005 foi ($D = 0.13331$, $p\text{-value} < 2.2\text{e-}16$) e para o ano de 2020 ($D = 0.036171$, $p\text{-value} < 2.2\text{e-}16$). Como o resultado final obtido para o valor de ρ foi menor que 0,05 então a hipótese nula testada foi recusada, concluindo com 95% de confiança que os dados não aderem a distribuição Normal, tanto para o ano de 2005 quanto para o ano de 2020.

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

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

Pelo *post-hoc de Dunn* foi possível identificar os pares com diferenças entre si, demonstrados na Figura 12 por matriz de comparação entre as medianas da TST 2005 e 2020 com cada LCZ. A cor vermelha indica pares de classes onde não foi identificada diferença significativa entre o polígono (LCZ) e seu atributo (TST) quando comparado entre os anos de análise, ao passo que a cor azul se relaciona com pares de classes estatisticamente diferentes. As células internas da matriz foram preenchidas com os quantitativos do valor ρ do teste em questão.

Figura 12 – Município de Várzea Grande (MT): Matriz com comparação de medianas de TST entre pares de LCZ, 2005 e 2020

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

A classe LCZ 2 como foi identificada apenas no ano de 2020, não teve comparação entre pares no ano de 2005 e para o ano de 2020, quanto ao parâmetro de TST não apresentou diferença

significativa quando comparada com as demais classes.

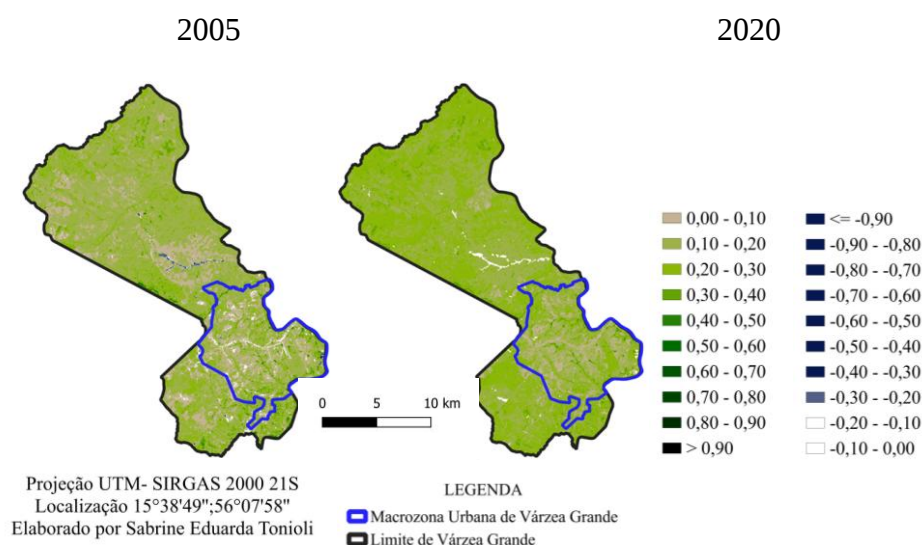
Algumas classes LCZ não apresentaram diferença estatística, dentre elas a LCZ 6 – 2020 e a LCZ 8 – 2005. Em vista de que, durante a elaboração do mapa classificatório, foi possível identificar áreas caracterizadas com a tipologia construtiva da LCZ 8, porém com a cobertura do solo da LCZ 6 de predominância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

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

3.6 Índice espectral: índice de vegetação por diferença normalizada

Pela Figura 13, onde é demonstrado o índice NDVI – 2005 para o município de Várzea Grande característico do momento em que a imagem foi capturada, é possível verificar que na região Passagem da Conceição, nas áreas onde as temperaturas superficiais foram maiores ($\cong 39^\circ\text{C}$), houveram menores índices de NDVI (0 à 0,10) sugerindo não haver vegetação presente no local imageado ou a presença ser em menor porte vegetativo ou até, não sendo uma vegetação sadia, o que foi confirmado pela classificação por LCZ, pois nesta área a classe identificada foi a LCZ F (solo exposto), além das classes naturais de menor porte como LCZ D (vegetação herbácea) e LCZ C (vegetação arbustiva).

Figura 13 – Município de Várzea Grande (MT): NDVI, 2005 e 2020



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

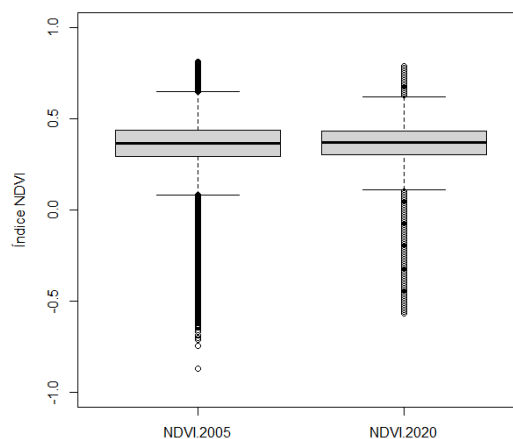
Para ambos os anos de estudo, os maiores valores positivos do índice NDVI, variaram entre 0,50 e 0,75 e foram identificados nas áreas em que existiram a presença de vegetação arbórea densa (LCZ A), esparsa (LCZ B) ou arbustiva (LCZ C), conforme identificado por LCZ (Figuras 4 e 5), e essas foram regiões caracterizadas com temperaturas mais amenas, $\cong 23^\circ\text{C}$ no ano de 2005 e $\cong 25^\circ\text{C}$ em 2020.

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

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

Análises estatísticas relacionadas aos polígonos (classes LCZ) e seus atributos (NDVI), foram realizadas com fins de validação dos resultados e interpretações desta pesquisa. Inicialmente, os dados foram avaliados com relação à sua distribuição, por meio do gráfico *boxplot* demonstrados pela Figura 14.

Figura 14 – Município de Várzea Grande (MT): Conjunto de dados de NDVI, 2005 e 2020



Pela Figura 14 e interpretação dos diagramas, percebe-se que a posição de tendência central dos dados de NDVI é o valor do índice de 0,41 para o ano de 2005 com dispersão de 0,11 e índice 0,36 no ano de 2020 com uma dispersão de 0,13 (intervalo interquartílico), indicando uma diminuição do índice NDVI no intervalo de tempo escolhido para esta pesquisa.

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

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

Foi realizado o teste de *kolmogorov-smirnov* com a finalidade de entender a distribuição dos dados. O resultado para o ano de 2005 foi ($D = 0.08234$, $p\text{-value} < 2.2\text{e-}16$) e para o ano de 2020 foi ($D = 0.09578$, $p\text{-value} < 2.2\text{e-}16$). Como o resultado final obtido para o valor de ρ foi menor que 0,05 então a hipótese nula testada foi recusada, concluindo com 95% de confiança que os dados não aderem a distribuição Normal, tanto para o ano de 2005 quanto para o ano de 2020.

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

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

Pelo *post-hoc de Dunn* foi possível identificar os pares com diferenças entre si, demonstrados na Figura 15 pela matriz de comparação entre as medianas do NDVI 2005 e 2020 para cada LCZ. A cor vermelha indica pares de classes em que não foi identificada diferença significativa entre o polígono (LCZ) e seu atributo (NDVI) quando comparado entre os anos de análise, ao passo que a cor azul se relaciona com pares de classes estatisticamente diferentes. As células internas da matriz foram preenchidas com os quantitativos do valor ρ do teste em questão.

Figura 15 – Município de Várzea Grande (MT): Matriz com comparação de medianas de NDVI entre pares de LCZ, 2005 e 2020

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

De acordo com o que se infere da Figura 15, para o ano de 2005, cerca de 93,33% dos dados apresentaram diferença significativa entre as classes LCZ para os índices de NDVI. Três pares de classes não identificaram diferenças entre si, sendo: LCZ B e LCZ 9; LCZ D e LCZ C; LCZ G e LCZ F. Já para o ano de 2020, aproximadamente 84,44% das classes LCZ apresentaram diferença estatística para os índices do NDVI, não obtendo diferença entre pares de classes como LCZ 2 e LCZ 3; LCZ 9 e LCZ D; LCZ B e LCZ D.

3.7 Correlação estatística entre NDVI e TST

Partindo do pressuposto que o NDVI influencia a TST pelos parâmetros encontrados de sua cobertura, avaliou-se a relação monotônica entre as duas variáveis. Cabe ressaltar que a média e mais frequente índice NDVI encontrado foi 0,35 (2020) – 0,41 (2005) valores considerados moderados e associados à presença de vegetação esparsa arbustiva e gramíneas. O coeficiente de

Spearman entre as variáveis para o ano de 2005 foi de -0,61 e para o ano de 2020 foi de -0,67, ambos com 95% de confiança.

Esse resultado indica a existência de uma correlação inversa entre a TST e o NDVI, de tal forma que conforme a TST aumenta o índice NDVI diminui, e o contrário também ocorre, o que pode ser explicado pelo fato de que maiores valores de NDVI representam áreas com vegetação densa e sadia, o que foi identificado com as classes LCZ relacionadas à cobertura do solo, onde inclusive, a classe de maior abrangência na área de estudo para os dois anos avaliados foi a LCZ A – vegetação arbórea densa.

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

Para este contexto, foram encontrados estudos similares nas pesquisas de Guha *et al.* (2024) e Deng *et al.* (2018), indicando que áreas urbanizadas e com baixa cobertura vegetal apresentam temperaturas mais elevadas, enquanto áreas vegetadas registram menores valores térmicos, evidenciando uma correlação negativa entre NDVI e TST, confirmando que a vegetação exerce efeito de resfriamento por meio de processos como evapotranspiração e sombreamento, reduzindo a temperatura superficial em áreas urbanas. Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo corroboram evidências consolidadas, que apontam a cobertura vegetal como um dos principais fatores de mitigação das ilhas de calor urbano.

3.8 Implicações ao planejamento urbano e engenharia

Os resultados obtidos evidenciam implicações diretas para o planejamento urbano e a engenharia, sobretudo em contextos de cidades de médio porte inseridas em clima tropical. O avanço de tipologias construtivas mais adensadas, associado à redução da cobertura vegetal e à intensificação da impermeabilização do solo, indica a necessidade de revisão dos modelos tradicionais de expansão urbana.

Do ponto de vista do planejamento, torna-se fundamental a incorporação de critérios climáticos no ordenamento territorial, como a definição de índices mínimos de permeabilidade, a proteção de remanescentes vegetais e a criação de corredores verdes urbanos. Sob a ótica da engenharia urbana, os achados reforçam a importância da adoção de soluções baseadas na natureza e de infraestrutura verde, como pavimentos permeáveis, telhados verdes e sistemas de drenagem sustentável, capazes de mitigar o acúmulo de calor e melhorar o desempenho térmico das áreas urbanizadas.

Dessa forma, o estudo não apenas confirma padrões já observados na literatura, mas também fornece evidências empíricas que podem subsidiar estratégias mais eficazes de adaptação climática no contexto urbano analisado.

4. CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS

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

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

(vegetação herbácea).

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

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

A classe LCZ 2 foi identificada apenas na classificação morfológica para o ano de 2020, ainda em pequenas proporções, com polígonos menores que 1 km², porém representam um possível adensamento urbano de forma média compacta e sugere como o desenvolvimento da cidade poderá se dar caso não existam orientações para o crescimento urbano que seja sensível às condições climáticas.

Nesse contexto, a principal contribuição científica deste estudo foi o de demonstrar, de forma quantitativa, a relação entre a transformação da morfologia urbana através da classificação por LCZ e o aumento TST associado à redução da vegetação, evidenciado também pelo NDVI. Os resultados oferecem subsídios ao planejamento urbano e à engenharia ao indicar que áreas mais adensadas e impermeabilizadas intensificam anomalias térmicas. Como implicação para políticas públicas, reforça-se a necessidade de incorporar critérios climáticos no ordenamento territorial, com ampliação de áreas verdes e adoção de infraestrutura verde, visando cidades mais sustentáveis e resilientes.

5. REFERÊNCIAS

BORUNDA, A. **Fumaça de incêndios florestais afeta nuvens e diminui chances de chuva.** 25/08/2021. Disponível em:

<<https://www.nationalgeographicbrasil.com/meioambiente/2021/08/fumaca-de-incendios-florestais-afeta-nuvens-e-diminui-chances-dechuva>> Acesso em: 14/01/2024.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices.** 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019.

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

DENG, Yuyu; WANG, Shixin; BAI, Xuefeng; TIAN, Yong; WU, Lixin; XIAO, Jing; CHEN, Fenzhen; QIAN, Qian. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. **Scientific Reports**, London, v. 8, p. 641, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19088-x>. Acesso em: 17 abr. 2026.

FERNANDES, R.; FERREIRA, A.; NASCIMENTO, V.; FREITAS, M.; OMETTO, J. Urban heat island assessment in the northeastern state capitals in Brazil using Sentinel-3 SLSTR satellite data. **Sustainability**, Basel, v. 16, n. 11, p. 4764, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16114764>. Acesso em: 27 abr. 2026.

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

GEODA CENTER FOR GEOSPATIAL ANALYSIS AND COMPUTATION. **GeoDa: software for spatial data analysis**. Versão 1.22. Disponível em: <https://geodacenter.github.io/>. Acesso em: 23 set. 2024.

GUHA, S.; GOVIL, H.; BESHAN, T.; DIWAN, P. Relationship between land surface temperature and normalized difference vegetation index in Raipur city, India. **Environments**, Basel, v. 11, n. 2, p. 67, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/environments11020067>. Acesso em: 17 abr. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 84p.

_____. **Censo Demográfico**. 2022. Disponível em: Acesso em: 24 dez. 2023.

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

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

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

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

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

MENDES, F. H.; ROMERO, H. (2024). Mudanças no uso e ocupação do solo e suas influências no clima urbano de cidades médias. **LABVERDE**. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.labverde.2024.181743>.

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

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.30.3. Open Source Geospatial Foundation Project, 2023. Disponível em: <https://qgis.org/>. Acesso em: 23 set. 2024.

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

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

SANTOS, E. O. **Capítulo 6. Temperatura do solo e do ar**. 2016. Disponível em: file:///C:/Users/eng_s/Downloads/Apostila_Meteorologia_Basica_Capitulo_6_Temp_Solo_Ar_Atualizad_RCD_ED.pdf Acesso em: 14/01/2014.

SANTOS, F. F. D. **Ilhas de calor urbana em Sorocaba/SP: uma abordagem com base no sistema das zonas climáticas locais**. 2023. 130f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de São Carlos Campus Sorocaba, 2023.

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

SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. **The American Journal of Psychology**. v. 15, nº, p 72 101. 1904. <https://doi.org/10.2307/1412159>

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

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

VERDONCK, M. L, DEMUZERE, M., BECHTEL, B., BECK, C., BROUSSE, O., DROSTE, A., FENNER, D., LECONTE, F., & VAN C. F. The Human Influence Experiment (Part 2): Guidelines for Improved Mapping of Local Climate Zones Using a Supervised Classification. **Urban Science**, Basel, Switzerland, v. 3, nº 1, p.27 2019. <https://doi.org/10.3390/urbansci3010027>

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

NOTAS

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Concepção e elaboração do manuscrito: Tonioli, S. E.

Coleta de dados: Tonioli, S. E.

Análise de dados: Tonioli, S. E.

Discussão dos resultados: Tonioli, S. E.

Revisão e aprovação: Santos, F. M. M.

PREPRINTS

O manuscrito não é um *preprint*.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver interesses conflitantes.

DISPONIBILIDADE DE DADOS DE PESQUISA E OUTROS MATERIAIS

Os dados foram publicados no próprio artigo. Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo está incluído no corpo do artigo.

ANUÊNCIA DE AVALIAÇÃO ABERTA

Não.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.