

Análise geoespacial da relação entre a estrutura urbana e da vegetação, populacional e de temperatura de superfície na conurbação Cuiabá-Várzea Grande-MT

Geospatial analysis of the relationship between urban structure, vegetation, population and surface temperature in the Cuiabá-Várzea Grande-MT conurbation

Bruna Aparecida Silva Dias^{*}, João Paulo da Silva^{}, Natália de Souza Santos^{***}, Carolina Garcia de Figueiredo Colin^{****}, Vera Aparecida de Figueiredo^{*****}, Jean Victor Barrozo Chaves^{*****}, Luiz Antônio Falaguasta Barbosa^{*****}, Eduardo Antônio Speranza^{*****}, João dos Santos Vila da Silva^{*****}**

^{*} Embrapa Agricultura Digital, bruna.aparecida@colaborador.embrapa.br,

^{**} Embrapa Agricultura Digital, joao-paulo.silva@colaborador.embrapa.br

^{***} Embrapa Agricultura Digital, natalia.santos@colaborador.embrapa.br

^{****} Embrapa Agricultura Digital, carolina.garcia@colaborador.embrapa.br

^{*****} Embrapa Agricultura Digital, vera.figueiredo@colaborador.embrapa.br

^{*****} Embrapa Agricultura Digital, jean.chaves@colaborador.embrapa.br

^{*****} Computação Científica, Engenharia da Informação e Automação, Embrapa Agricultura Digital, luiz.barbosa@embrapa.br

^{*****} Computação Científica, Engenharia da Informação e Automação, eduardo@embrapa.br

^{*****} Modelagem Agroambiental e Geotecnologias, Embrapa Agricultura Digital, joao.vila@embrapa.br

<https://doi.org/10.5380/raega.v63i2.99567>

Resumo

O processo de urbanização não ocorre de forma sincronizada, o que pode gerar diferenças na formação das áreas urbanas, dependendo de diversos fatores de natureza socioeconômica. As implicações dessa formação podem resultar em desdobramentos permanentes para o contexto urbano local. Neste trabalho, propõe-se um modelo descritivo para caracterizar a conurbação Cuiabá-Várzea Grande (MT), considerando seus aspectos de edificação, cobertura vegetal, temperatura de superfície, população e relevo. Para isso, foram empregados índices espectrais obtidos por sensoriamento remoto, referentes às áreas edificadas, vegetadas e à temperatura de superfície, bem como dados de elevação do terreno e de população em nível de setor censitário. O modelo, baseado em análise de agrupamento, permitiu a identificação de três grupos que explicam a distribuição urbana da conurbação: dois fortemente relacionados à estrutura das edificações, um mais adensado e outro menos, e um terceiro representativo de áreas com maior cobertura vegetal, geralmente localizado nas margens da área estudada. Essas características refletem-se na temperatura de superfície urbana, sendo menor no grupo com maior presença de áreas verdes e mais elevada no grupo com edificações mais adensadas e vegetação escassa. O grupo característico das regiões centrais permite identificar a presença de áreas abertas, que podem ser destinadas a

usos mais eficientes, como atividades comerciais, habitacionais ou de socialização. O modelo proposto apresenta potencial para subsidiar uma gestão mais eficiente do desenvolvimento urbano da área analisada.

Palavras-chave:

Sensoriamento remoto, Áreas verdes, Planejamento urbano, Mineração de dados.

Abstract

The urbanization process does not occur in a synchronized manner, which may lead to differences in the formation of urban areas depending on various socioeconomic factors. The implications of such formation can result in long-term consequences for the local urban context. This study proposes a descriptive model to characterize the Cuiabá–Várzea Grande (MT) conurbation, considering its building structure, vegetation cover, land surface temperature, population, and topography. To this end, spectral indices derived from remote sensing related to built-up areas, vegetation, and land surface temperature were employed, along with terrain elevation data and population data at the census tract level. The model, based on cluster analysis, enabled the identification of three groups that explain the urban distribution of the conurbation: two strongly associated with building structure—one more densely built and the other less so—and a third group representative of areas with greater vegetation cover, generally located at the edges of the study area. These characteristics are reflected in land surface temperature, which is lower in the group with a higher presence of green regions and higher in the group with denser buildings and scarce vegetation. The group representative of central regions reveals open areas that could be allocated for more efficient uses, such as commercial, residential, or social activities. The proposed model demonstrates potential to support more effective management of urban development in the area under study.

Keywords:

Remote sensing, Green areas, Urban planning, Data mining.

I. INTRODUÇÃO

O Brasil tem vivenciado uma expansão significativa de suas áreas urbanizadas, ainda que com uma desaceleração progressiva no ritmo de crescimento. Entre 1985 e 2023, o território urbano nacional aumentou em 2,4 milhões de hectares, refletindo mudanças estruturais no uso e ocupação do solo que incidem diretamente sobre a dinâmica socioambiental das cidades (MAPBIOMAS, 2024). No estado de Mato Grosso, esse processo se expressa de maneira marcante, com a área urbanizada passando de 58.418 hectares em 1985 para 138.009 hectares em 2023, evidenciando a intensificação das mudanças de uso e cobertura da terra no espaço urbano, mesmo com ritmos mais moderados nos anos recentes.

Essa expansão urbana tem sido acompanhada por um crescimento demográfico igualmente expressivo. Entre 1991 e 2022, a população brasileira passou de 146,9 milhões para mais de 203 milhões de habitantes, um aumento de aproximadamente 38% (IBGE, 2010, 2022). Em Mato Grosso, o incremento populacional foi ainda

mais acentuado, saltando de pouco mais de 2 milhões para 3,6 milhões de habitantes no mesmo período, um crescimento de cerca de 81%. A combinação entre aumento populacional e expansão urbana impõe desafios complexos à gestão territorial, sobretudo no que tange à sustentabilidade das cidades e à mitigação de fenômenos ambientais, como as Ilhas de Calor Urbanas (ICU), cuja intensificação está diretamente associada à substituição de áreas vegetadas por edificações e superfícies impermeáveis (Oke, 1982; Arnfield, 2003; Wei et al., 2024).

No contexto da conurbação entre Cuiabá e Várzea Grande (MT), esses processos se tornam ainda mais relevantes (Marandola et al., 2011; Visconti; Santos, 2014). A articulação entre os dois centros urbanos promove um adensamento espacial que tende a agravar os efeitos das transformações urbanas (Dupont et al., 2010), exigindo análises mais refinadas que considerem não apenas a distribuição das áreas construídas, mas também a cobertura vegetal remanescente, os padrões térmicos de superfície e a estrutura da população. Estudos recentes destacam a importância de análises em escalas intraurbanas, como a do setor censitário, por permitirem identificar desigualdades espaciais com maior precisão, subsidiando políticas públicas mais justas e eficazes (Pereira; Schwanen; Banister, 2017).

Apesar do crescente volume de pesquisas sobre os impactos da urbanização nas dinâmicas ambientais urbanas, ainda são limitadas as investigações que integram, em escala intraurbana, múltiplos parâmetros estruturais e ambientais, como vegetação, estrutura urbana, temperatura de superfície e dados populacionais, por meio de técnicas de mineração de dados aplicadas ao contexto brasileiro. A literatura nacional carece de estudos que abordem a conurbação entre Cuiabá e Várzea Grande (MT) sob uma perspectiva integrada, especialmente em escala censitária. Este trabalho justifica-se, portanto, pela necessidade de aprofundar a compreensão sobre como se organizam os padrões urbanos e ambientais nessa área conurbada, com vistas a subsidiar estratégias de planejamento e gestão urbana mais eficazes. A principal contribuição deste estudo consiste na aplicação de um modelo descritivo baseado em índices espectrais e dados socioespaciais, voltado à compreensão dos aspectos físicos e estruturais que caracterizam a conurbação Cuiabá–Várzea Grande (MT). Destacam-se, nesse contexto, a análise da área construída, da distribuição de áreas verdes, dos reflexos desse arranjo sobre a temperatura da superfície (que influencia o bem-estar da população) e a distribuição da sua população sobre essas áreas.

Com base em abordagens metodológicas como a de Kebede et al. (2022), que demonstraram a eficácia do uso de índices espectrais para extrair superfícies impermeáveis em ambientes urbanos complexos, este estudo aplica uma análise descritiva baseada em mineração de dados para caracterizar a conurbação de Cuiabá–

Várzea Grande. Esta abordagem combina dados censitários de população com parâmetros derivados de sensoriamento remoto (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*; TST – *Surface Temperature*; NDBI – *Normalized Difference Built-up Index*; BRBA – *Band Ratio for Built-up Area*; e BAEI – *Built-up Area Extraction Index*) para descrever as configurações estruturais, vegetacionais, térmicas e populacionais em escala de setor censitário.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi descrever, em escala de setor censitário, a conurbação urbana Cuiabá–Várzea Grande (MT), com ênfase em suas configurações estruturais e ambientais, abordando a área urbanizada, a cobertura vegetal, a temperatura de superfície e a distribuição populacional, por meio de uma análise descritiva baseada em mineração de dados.

II. MATERIAL E MÉTODOS

O modelo descritivo da conurbação Cuiabá–Várzea Grande (MT), desenvolvido neste estudo, foi construído a partir da integração de índices espectrais relacionados às configurações das áreas urbanizadas, às características da cobertura vegetal e à temperatura de superfície nas estações de inverno e verão, além do modelo digital de elevação e dados censitários sobre a densidade populacional. Essas variáveis foram submetidas a etapas de pré-processamento para a remoção de inconsistências e padronização dos dados. Em seguida, foi aplicado um algoritmo de análise de agrupamento, com o objetivo de classificar os setores censitários em grupos com padrões de similaridade interna, permitindo a identificação de diferentes configurações espaciais dentro da área conurbada.

Área e período de estudo

A área de estudo deste trabalho corresponde à porção urbanizada da conurbação Cuiabá–Várzea Grande (MT), localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai. Essa área abrange aproximadamente 446 km² e abriga uma população de 932.385 habitantes, conforme os dados do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022) (Figura 1).

Quanto ao recorte temporal, foram selecionadas, de forma preliminar, imagens espectrais e de temperatura de superfície referentes ao inverno (meados do ano) e ao verão (final do ano) de 2023. A escolha das datas considerou a disponibilidade de imagens de satélite com o menor nível possível de contaminação por nuvens, de modo a garantir a qualidade das análises.

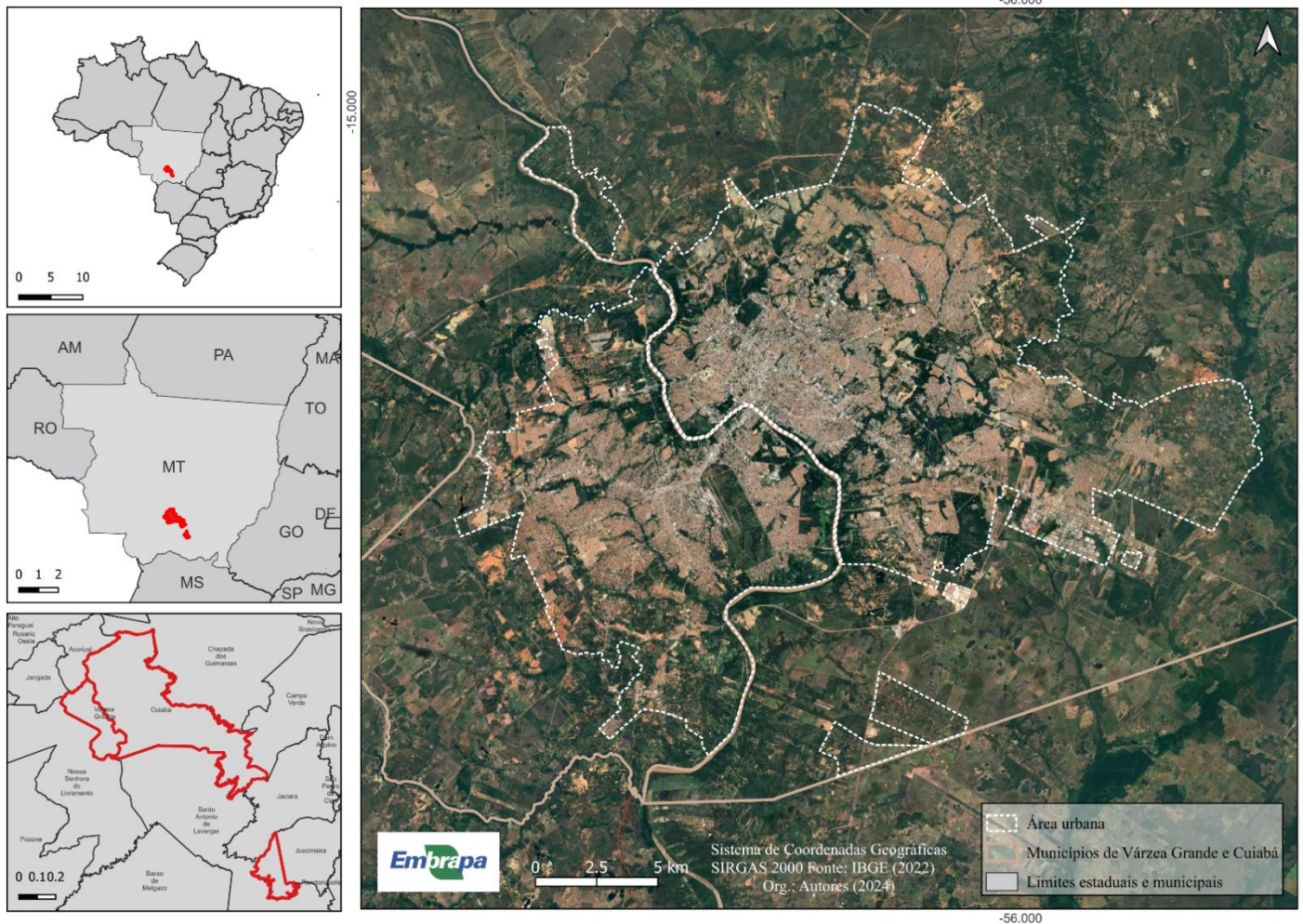


Figura 1 – Mapa de localização da região de estudo. Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Base de dados

Dados espectrais dos satélites TIRS/Landsat 8-9 e MSI/Sentinel-2A foram utilizados no cálculo da temperatura de superfície e dos índices espectrais, respectivamente. A Tabela 1 mostra as bandas selecionadas dos respectivos satélites e a Tabela 2 traz as equações empregadas no cálculo dos parâmetros derivados destas.

Tabela 1 – Configuração da coleta de dados remotos para determinação dos parâmetros derivados de dados espectrais.

Data de coleta	Satélite/Sensor	Banda nominal	Faixa espectral (nm)
• 04/07/2023 (inverno)	Landsat/TIRS-1	Infravermelho termal (B10)	10.800
• 27/12/2023 (verão)			
• 04/08/2023 (inverno)	Sentinel-2A/MSI	Verde (B3)	559
• 31/01/2024 (verão)		Vermelho (B4)	665
		Infravermelho próximo (NIR) (B8)	833
		Infravermelho de ondas curtas 1 (SWIR1) (B11)	1.610,4
		Infravermelho de ondas longas 2 (SWIR2) (B12)	2.185,7

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Tabela 2 – Parâmetros extraídos de sensores remotos para determinação dos perfis espectrais.

Característica	Parâmetro	Equação	Nº	Fonte
Temperatura	TST (°C)	$((B10 * 0,00341802) + 149) - 273.15$	(1)	EROS (2020)
Construção	UI	$(B11 - B8)/(B11 + B8)$	(2)	Kawamura et al. (1996)
	NDBI	$(B12 - B8)/(B12 + B8)$	(3)	Zha et al. (2003)
	NBI	$(B4 * B12)/B8$	(4)	Jieli et al. (2010)
	BRBA	$B4/B12$	(5)	Waqar et al. (2012)
	NBAI	$((B12 - B11)/B3)/((B12 + B11)/B3)$	(6)	Waqar et al. (2012)
	MBI	$((B11 * B4) - (B8^2))/(B4 + B8 + B11)$	(7)	Ali et al. (2021)
	BAEI	$(B4 * 0,3)/(B3 + B11)$	(8)	Bouzekri et al (2015)
Vegetação	NDVI	$(B8 - B4)/(B8 + B4)$	(9)	Rouse et al. (1973)

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

As siglas referem-se aos parâmetros: *Surface Temperature (TST)*; *Urban Index (UI)*; *Normalized Difference Built-up Index (NDBI)*; *New Built-up Index (NBI)*; *Band Ratio for Build-up Area (BRBA)*; *Normalized Built-up Area Index (NBAI)*; *Modified Build-up Index (MBI)*; *Build-up Area Extraction Index (BAEI)* e; *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*.

Os índices relacionados às características das áreas construídas foram utilizados por Kebede et al. (2022) na avaliação de sua eficácia na identificação de superfícies impermeáveis durante a estação chuvosa na Etiópia. Os autores concluíram que, embora todos os índices tenham apresentado alta similaridade nos resultados, aqueles baseados na faixa do infravermelho de ondas curtas (bandas B11 e B12 do Sentinel-2A MSI) apresentaram desempenho superior em relação aos demais.

No presente estudo, os parâmetros referentes às áreas edificadas foram calculados exclusivamente para a data de 04/08/2023, considerando-se a baixa probabilidade de alterações significativas na configuração urbana entre essa data e o período representado pela imagem de verão. Por outro lado, os índices de vegetação e a temperatura de superfície foram obtidos para os dois períodos analisados (inverno e verão).

Além dos parâmetros derivados de dados remotos, foi incorporada uma base de dados referente à população residente por setor censitário, conforme o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022), e um modelo digital de elevação (Copernicus GLO-30; resolução de 30 m), com o intuito de integrar informações sobre a variação altimétrica e a posição dos setores censitários em relação ao Rio Cuiabá, que delimita a fronteira entre os municípios de Cuiabá e Várzea Grande.

Com exceção da variável populacional, para a qual foi considerado o total absoluto por setor, os demais parâmetros foram resumidos por meio da mediana (mais robusta à presença de valores *outliers*) da distribuição espacial de cada setor censitário e o desvio padrão para representar seu grau de homogeneidade.

Modelo descritivo

A etapa de pré-processamento da base de dados teve início com a eliminação de atributos com baixa contribuição informacional. Uma das estratégias comumente adotadas para esse fim é a exclusão de atributos altamente correlacionados entre si, a fim de evitar redundância e reduzir a dimensionalidade do conjunto de

dados (Han et al., 2012). Para isso, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre os atributos, resultando em uma matriz de correlação (Apêndice 1), a partir da qual foram eliminadas as variáveis com correlação elevada ($r \geq 0,90$) com quaisquer das demais.

Como resultado desse procedimento, foram mantidas as medianas e os desvios padrão espaciais dos índices BRBA (inverno), BAEI (inverno), NDBI (inverno) e NDVI (verão), além das temperaturas de superfície (inverno e verão) e da população total por setor censitário.

Segundo Kebede et al. (2022), o índice BRBA é eficaz na detecção de vias de circulação (ruas e estradas) e áreas descobertas, enquanto o BAEI, embora também sensível às vias, apresenta maior capacidade de detecção de edificações. Já o NDBI permite distinguir áreas construídas das não construídas. Entretanto, cada um desses índices apresenta limitações específicas: o BRBA tende a confundir áreas vegetadas com construídas; o BAEI, áreas construídas com descobertas; e o NDBI, solo exposto com área edificada.

Concluída a etapa de seleção de atributos, procedeu-se à remoção de valores atípicos (outliers), definidos como setores censitários cujos valores agregados destoavam substancialmente do padrão observado no conjunto. Para isso, foi aplicado o método do intervalo interquartil, que considera como *outliers* (O_+) os registros cujos valores excedem, para cima ou para baixo, os limites definidos por:

$$O_+ = \begin{cases} > Q3 + 1,5 * (Q3 - Q1) \\ < Q1 - 1,5 * (Q3 - Q1) \end{cases} \quad (1)$$

sendo Q1 e Q3 os percentis 25% e 75%, respectivamente.

O modelo descritivo foi gerado com o algoritmo K-Means (James et al., 2023), algoritmo que busca a otimização do problema pela minimização da equação

$$\min_{C, \{m_k\}_1^K} \sum_{k=1}^K N_k \sum_{C(i)=k} \|x_i - m_k\|^2 \quad (2)$$

por meio da atribuição, para cada registro (i) de N observações, o grupo (C) com a menor distância euclidiana (i.e., inércia)

$$C(i) = \operatorname{argmin}_{1 \leq k \leq K} \|x_i - m_k\|^2 \quad (3)$$

entre o atributo (x) do registro (i) e o valor médio (m_k) do grupo C, processo que é repetido de forma iterativa até que a minimização se estabilize ou um critério de parada pré-determinado seja atingido (e.g., número de repetições). Uma etapa fundamental da aplicação do K-Means é a definição prévia do número de grupos K, cuja

escolha é dependente do contexto da aplicação, não sendo, portanto, um parâmetro generalizável (Ahmed et al., 2020; James et al., 2023). Para esta análise, adotou-se como critério a "regra do cotovelo", que consiste na seleção do menor valor de K que resulte na maior redução relativa da inércia em comparação ao agrupamento único ($K=1$), antes da estabilização da curva. Apesar de ser uma técnica simples, a escolha está fundamentada no fato de que aumentos excessivos em KKK tendem a gerar grupos desbalanceados, prejudicando a capacidade de generalização do modelo (Fränti; Sieranoja, 2018). Com base nesse critério, foi definida a formação de três grupos ($K=3$), considerados os mais adequados para representar as similaridades internas e distinções entre os setores censitários (Figura 2).

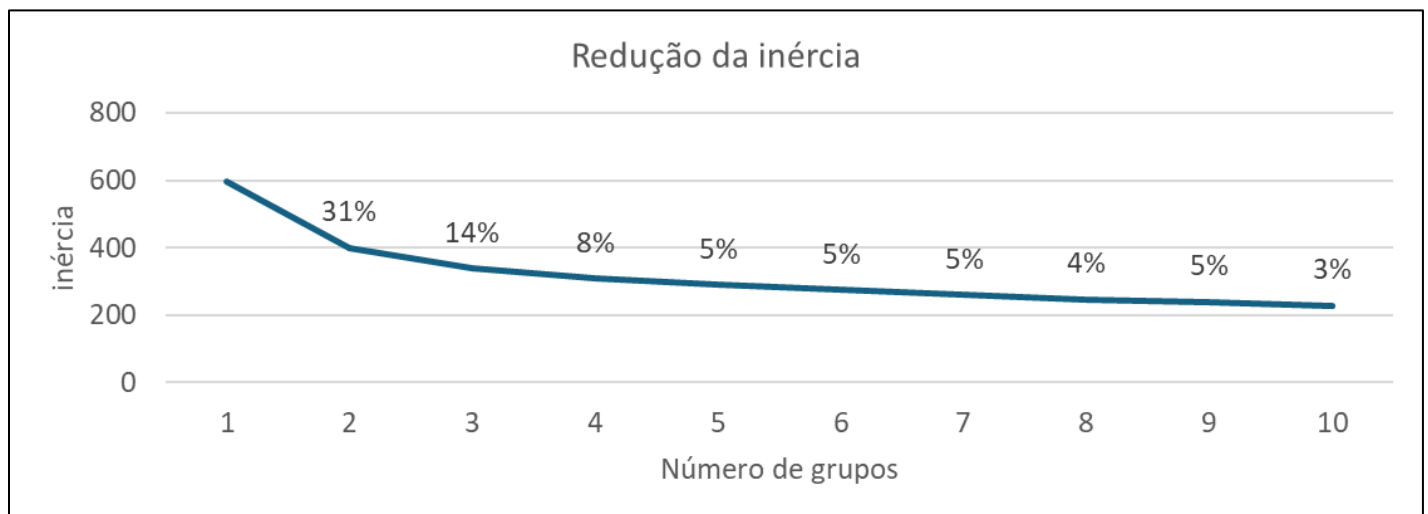


Figura 2 – Variação da inércia em função da variação do número de grupos descritivos (K). Os percentuais próximos à linha mostram a redução relativa da inércia em relação à K-1. Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os grupos definidos distinguem os setores censitários da conurbação Cuiabá–Várzea Grande com base em características derivadas de dados de sensoriamento remoto (índices espectrais e temperatura de superfície), variação altimétrica e densidade populacional. Embora os índices espectrais referentes à área construída (BRBA, BAEI e NDBI) revelem padrões distintos (Figura 3.A até 3.F) entre os grupos quanto à densidade de estruturas edificadas, áreas antropizadas e espaços descobertos, a interpretação desses padrões exige articulação com processos consolidados na literatura geográfica sobre a urbanização e seus efeitos.

O grupo 1 apresentou menor incidência de áreas descobertas, enquanto o grupo 3 concentrou as maiores proporções desse tipo de cobertura, e o grupo 2 demonstrou uma condição intermediária (Figura 3.A). Essas áreas abertas, como pátios, estacionamentos e terrenos não edificadas, podem representar reservas para a expansão da malha urbana (Figura 3.A). Essa perspectiva é coerente com Angel et al. (2005), que argumentam

que cidades, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil, devem planejar realisticamente sua expansão urbana, destinando áreas adequadas para acomodar o crescimento populacional e urbano projetado. A variação espacial do índice BRBA reflete maior homogeneidade no grupo 1 e acentuada variabilidade no grupo 3 (Figura 3.B), o que sugere diferenças nos padrões de ocupação do solo e na organização intraurbana, aspectos também destacados por Angel et al. como fundamentais para compreender os regimes distintos de expansão urbana e para orientar políticas eficazes de planejamento.

A presença de edificações captada pelo índice BAEI (Figura 3.C) foi superior para os grupos 1 e 3, sendo o grupo 1 mais homogêneo na configuração de suas edificações (Figura 3.D). A heterogeneidade observada no grupo 2 (Figura 3.C) revela a coexistência de diferentes tipos de construções, possivelmente representando áreas de transição urbana, com predominância de usos mistos ou fragmentação morfológica, como destacado por Coelho (2015) em análises sobre morfologia urbana e crescimento disperso. Essa característica pode estar associada à ocupação informal ou à recente incorporação de áreas periurbanas à malha urbana consolidada.

Por fim, observou-se, a partir do índice NDBI, que o grupo 1 apresenta a maior proporção de área construída, enquanto o grupo 2 concentra os menores valores desse indicador (Figura 3.E). A elevada heterogeneidade espacial do grupo 2 pode indicar que a reduzida presença de estruturas edificadas ocorre em coexistência com áreas vegetadas (Figura 3.F), sendo que, conforme Kebede et al. (2022), o índice NDBI apresenta confusão espectral sobretudo entre áreas construídas e solo exposto. Já o grupo 3 exibe uma heterogeneidade superior à do grupo 1, o que pode estar relacionado à presença de distintos padrões de edificações, à diversidade tipológica e ao arranjo urbano, o que também se alinha à interpretação do índice BAEI.

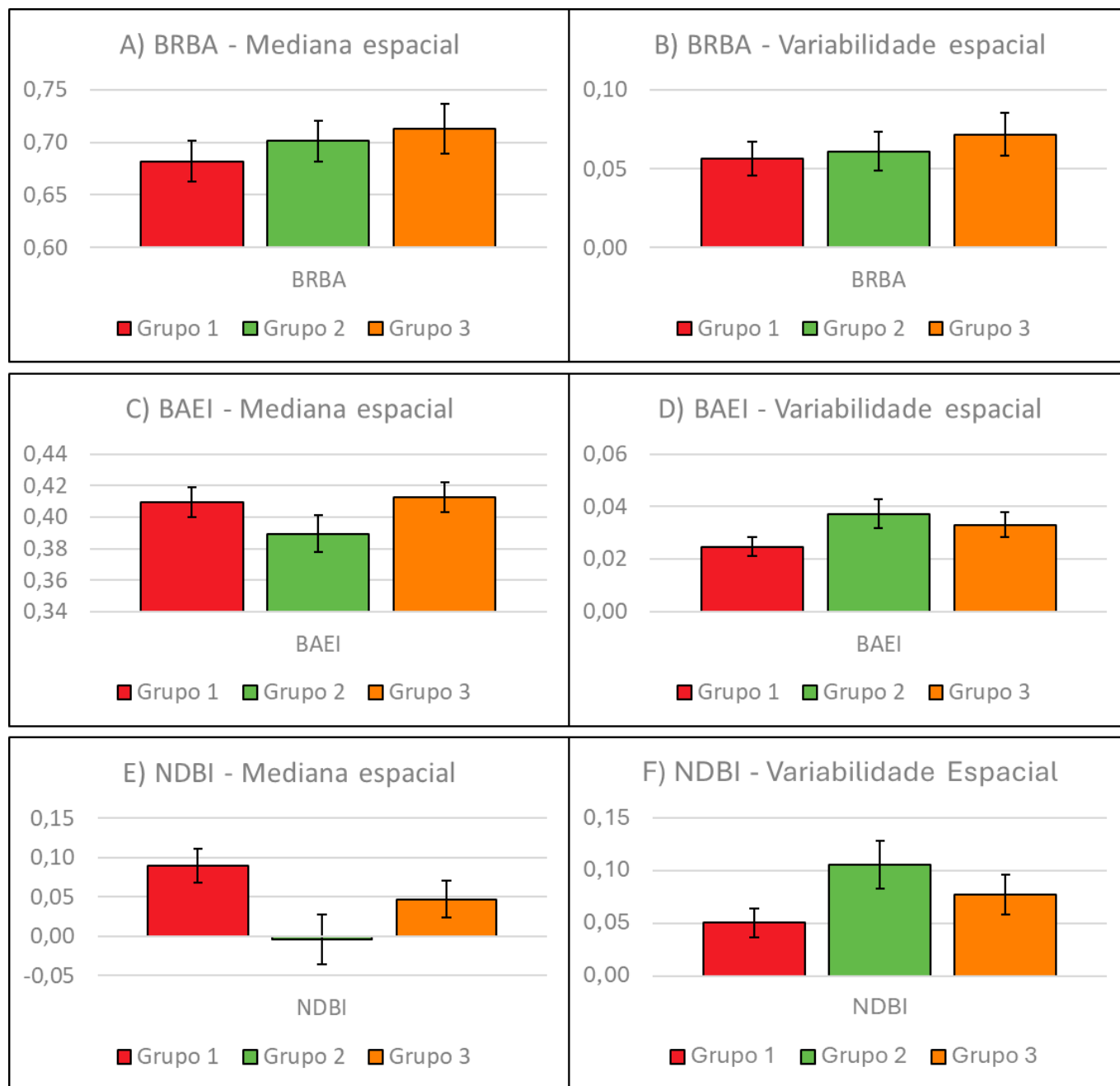


Figura 3 – Descrição dos índices espectrais de área construída para os grupos de setores censitários. Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

A análise da elevação do terreno não evidenciou distinções significativas entre as medianas dos grupos definidos, que se mantiveram próximos aos 200 metros de altitude média (Figura 4.A). No entanto, a variação espacial da elevação dentro dos setores censitários revelou diferenças mais perceptíveis: o grupo 1 apresentou uma topografia mais plana, com desvio padrão médio de aproximadamente 2 metros, enquanto os grupos 2 e 3 mostraram maior variabilidade altimétrica interna, entre 4 e 5 metros (Figura 4.B). Apesar da magnitude relativamente baixa dessa variação, a homogeneidade topográfica do grupo 1 contribuiu para a distinção entre

áreas mais densamente urbanizadas, particularmente entre os setores dos grupos 1 e 3.

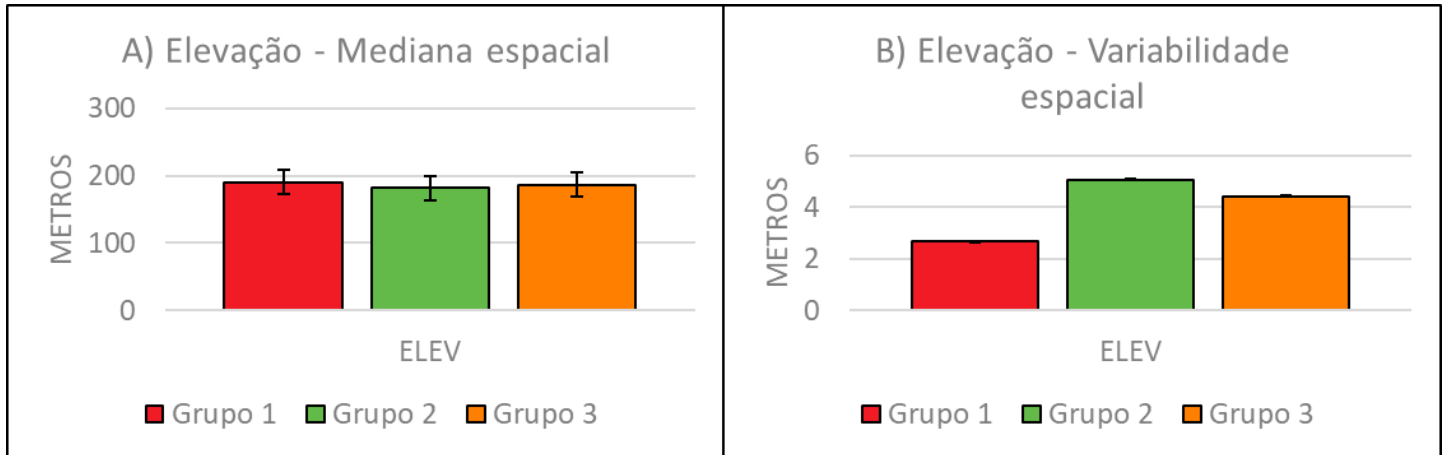


Figura 4 – Elevação do terreno nos diferentes grupos descritivos. Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

O grupo 2 apresentou maior presença de cobertura vegetal, conforme indicado pela mediana do índice NDVI, enquanto os grupos 1 e 3 revelaram valores mais baixos, refletindo vegetação escassa ou de menor vigor (Figura 5.A). Considerando-se que o NDVI expressa a intensidade fotossintética da vegetação, os resultados sugerem que os setores pertencentes ao grupo 2 mantêm maior proporção de áreas verdes ativas. No que se refere à variabilidade espacial do índice, o grupo 2 também se destacou por sua heterogeneidade, possivelmente decorrente da justaposição de edificações, espaços abertos e fragmentos vegetados nos setores que o compõem. Em contraste, o grupo 1 apresentou menor variabilidade, refletindo a homogeneidade da baixa cobertura vegetal, enquanto o grupo 3 ocupou posição intermediária (Figura 5.B).

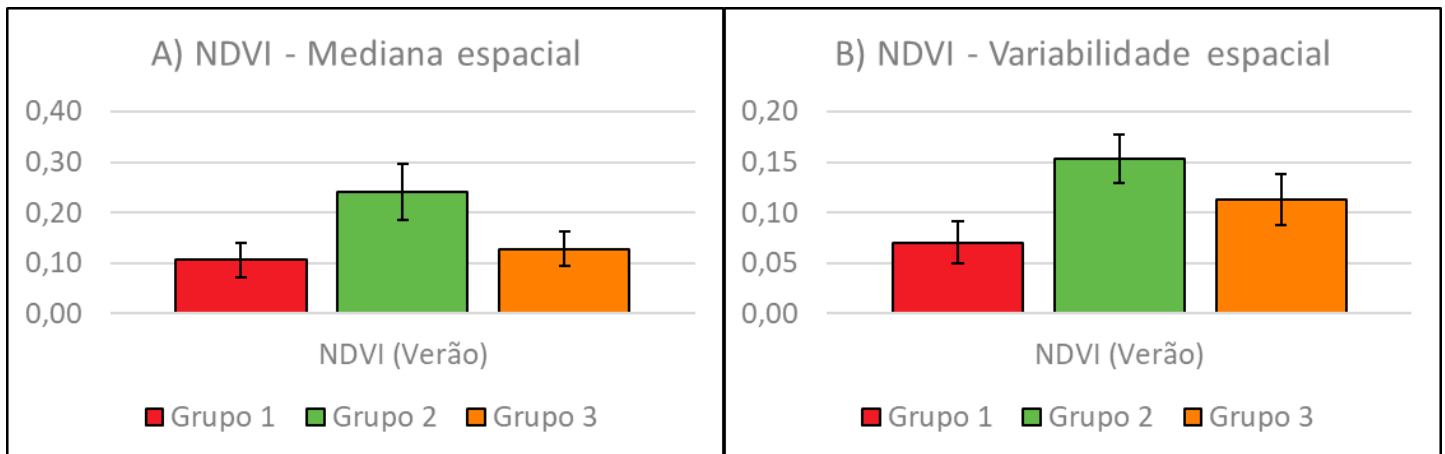


Figura 5 – Vigor vegetativo medido para o período do verão nos diferentes grupos descritivos. Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

A maior incidência de áreas construídas, o adensamento das edificações e a redução das áreas verdes resultam no aumento da temperatura da superfície tanto no inverno quanto no verão. No inverno, observou-se um aumento da temperatura devido à redução natural do vigor da vegetação, a qual contribuiria para atenuar

o aquecimento superficial. Fatores relacionados à variação da circulação de ar nessas regiões, que poderiam influenciar a temperatura, não foram abordados neste estudo e, portanto, não serão discutidos. No grupo 2, caracterizado por maior presença de áreas verdes, verificou-se uma redução média da temperatura de 1,65 °C e 0,88 °C no inverno, em comparação com os grupos 1 e 3, respectivamente (Figura 6.A). No verão, essa redução foi de 1,67 °C e 1,32 °C (Figura 6.B), evidenciando o efeito benéfico das áreas verdes na mitigação da temperatura em ambientes urbanos.

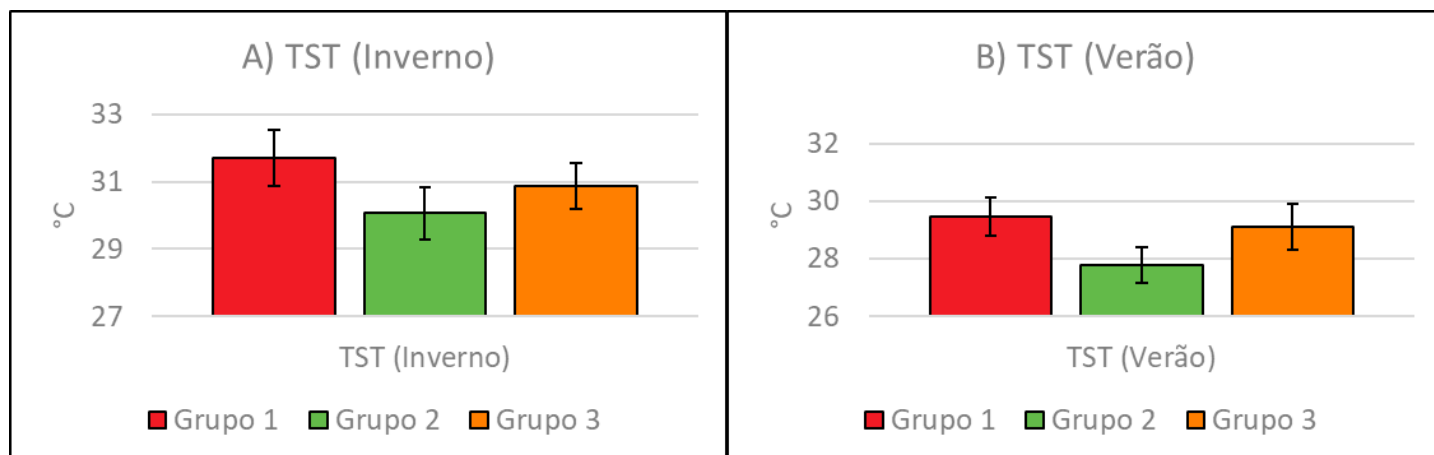


Figura 6 – Temperatura de superfície no inverno e no verão para os diferentes grupos descritivos. Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

O número de habitantes por setor não apresentou distinções significativas entre os grupos, indicando que o padrão de ocupação habitacional não pôde ser identificado com base nos setores censitários ou que tal ocupação não foi influenciada pelas características ambientais e pelo arranjo urbano analisados por meio dos índices (Figura 7).

Os resultados obtidos também suscitam reflexões importantes sobre a justiça ambiental na conurbação Cuiabá–Várzea Grande, especialmente ao se considerar a distribuição da população em relação às condições ambientais dos setores censitários. Embora os três grupos definidos apresentem densidades populacionais semelhantes, o grupo 1, caracterizado por alta densidade de edificações, escassa cobertura vegetal e temperaturas elevadas, abriga uma parcela significativa dos habitantes da área estudada. Isso indica que parte expressiva da população está exposta a ambientes urbanamente adensados e com menor conforto térmico, o que pode implicar em maiores riscos à saúde e ao bem-estar. Silva (2015) já havia apontado o aumento gradual da temperatura média na região como reflexo da intensificação do processo de urbanização, enquanto Silva (2020) destaca que populações de baixa renda costumam ocupar áreas com menor infraestrutura urbana e ambiental, evidenciando desigualdades territoriais no acesso a condições mais favoráveis de moradia. Assim, torna-se fundamental que políticas públicas voltadas ao planejamento urbano incorporem critérios de equidade

ambiental, priorizando intervenções em setores densamente habitados e ambientalmente vulneráveis.

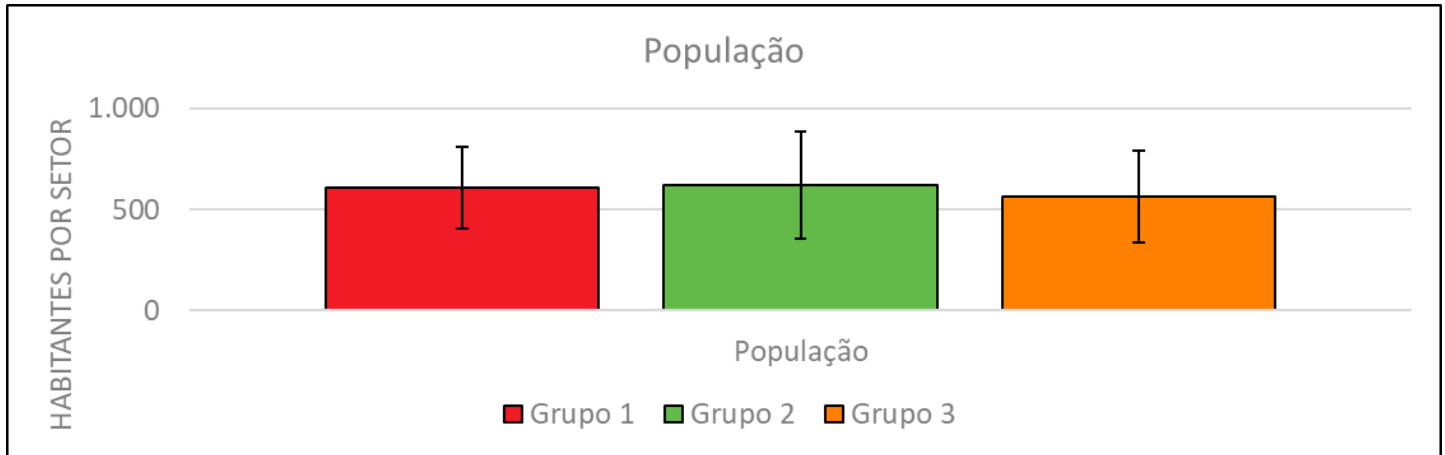


Figura 7 – População média por setor censitário nos diferentes grupos descritivos. Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

A espacialização dos grupos indica predominância do grupo 3 nas regiões centrais dos municípios, especialmente em Cuiabá, enquanto o grupo 1 apresenta núcleos de concentração no entorno dessas áreas (Figura 8). O grupo 2, por sua vez, prevalece nas regiões periféricas da conurbação e nos setores com maior extensão territorial. A classificação dos grupos com base nas características que os definem encontra-se na Tabela 3, ao passo que a Figura 9 ilustra a distribuição espacial desses grupos sobre áreas reais da conurbação Cuiabá–Várzea Grande (MT).

Agrupamento dos setores censitários na conurbação Cuiabá-Várzea Grande (MT)

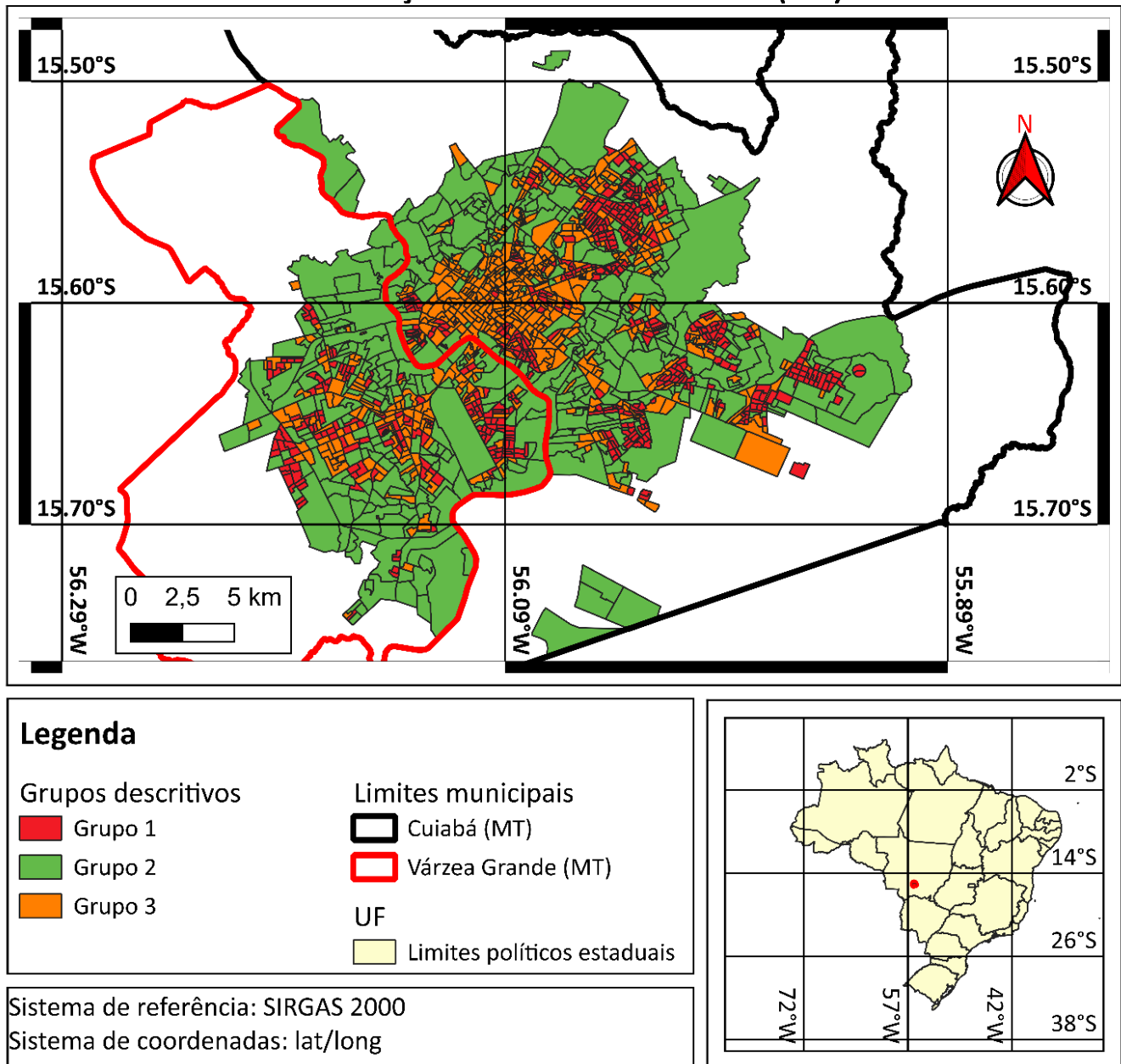


Figura 8 – Espacialização dos grupos descritivos da conurbação Cuiabá-Várzea Grande (MT). Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Tabela 3 – Rotulagem dos diferentes grupos descritivos.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Altamente antropizado, com arranjo de construções mais adensado. Vegetação pouco vigorosa e homogênea (normalmente com pouca vegetação) Temperatura alta em relação aos outros grupos no inverno e verão Pouca variação de elevação do terreno Sem padrão de distribuição da população	Pouco antropizado, com arranjo de edifícios disperso e vegetação mais intensa e frequente. Temperatura mais baixa em relação aos outros grupos no inverno e verão Alta variação espacial de elevação do terreno Sem padrão de distribuição da população	Altamente antropizado, com arranjo de construções edifícios mais dispersos (presença de áreas descobertas). Vegetação menos vigorosa e menos homogênea (presença de regiões/pontos com vegetação mais abundante) Temperatura moderada em relação aos outros grupos no inverno e verão. Média variação espacial de elevação do terreno Sem padrão de distribuição da população

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Partindo das conclusões de Silva (2015), que associam o aumento da temperatura média na conurbação ao processo de urbanização intensificado principalmente a partir da década de 1970, a presente análise permite identificar áreas (grupo 2) com temperaturas reduzidas em relação às demais, em razão da maior presença de cobertura vegetal. Tal condição configura-se como um indicativo relevante para a mitigação da sensação térmica e para a promoção do bem-estar da população residente.

A espacialização dos grupos identificados também apresenta caráter interdisciplinar. A distribuição espacial de áreas com diferentes níveis de temperatura pode subsidiar o desenvolvimento de modelos voltados ao monitoramento social e à segurança pública. Um exemplo disso é o estudo de Melo (2019), que propôs um modelo preditivo para crimes de homicídio com base na variável temperatura. Nesse sentido, a informação gerada neste trabalho pode servir como subsídio preliminar para o planejamento de políticas públicas e ações preventivas e investigativas, desde que complementada por dados de campo e validações empíricas que assegurem sua aplicabilidade e eficácia no contexto da segurança pública.

No campo social, Silva (2020) propõe uma reflexão sobre a importância da promoção de uma gestão urbana mais inclusiva como instrumento para a melhoria das condições de vida da população, especialmente entre os grupos de baixa renda, que frequentemente enfrentam maior exposição a deficiências na infraestrutura urbana e aos impactos ambientais negativos associados à urbanização acelerada. No estudo, o autor destaca o bairro Cristo Rei, em Várzea Grande, como exemplo de organização social local protagonizada pelos moradores. De acordo com o modelo proposto neste trabalho, esse bairro se insere majoritariamente nas áreas classificadas como grupo 1 (70%) e grupo 3 (15%), indicando maior vulnerabilidade ambiental em termos de conforto térmico e disponibilidade de espaços para adaptação urbana. Apenas 15% do bairro corresponde ao grupo 2, caracterizado por maior presença de áreas verdes, o que limita as possibilidades de expansão urbana sem

comprometer os remanescentes vegetais existentes.

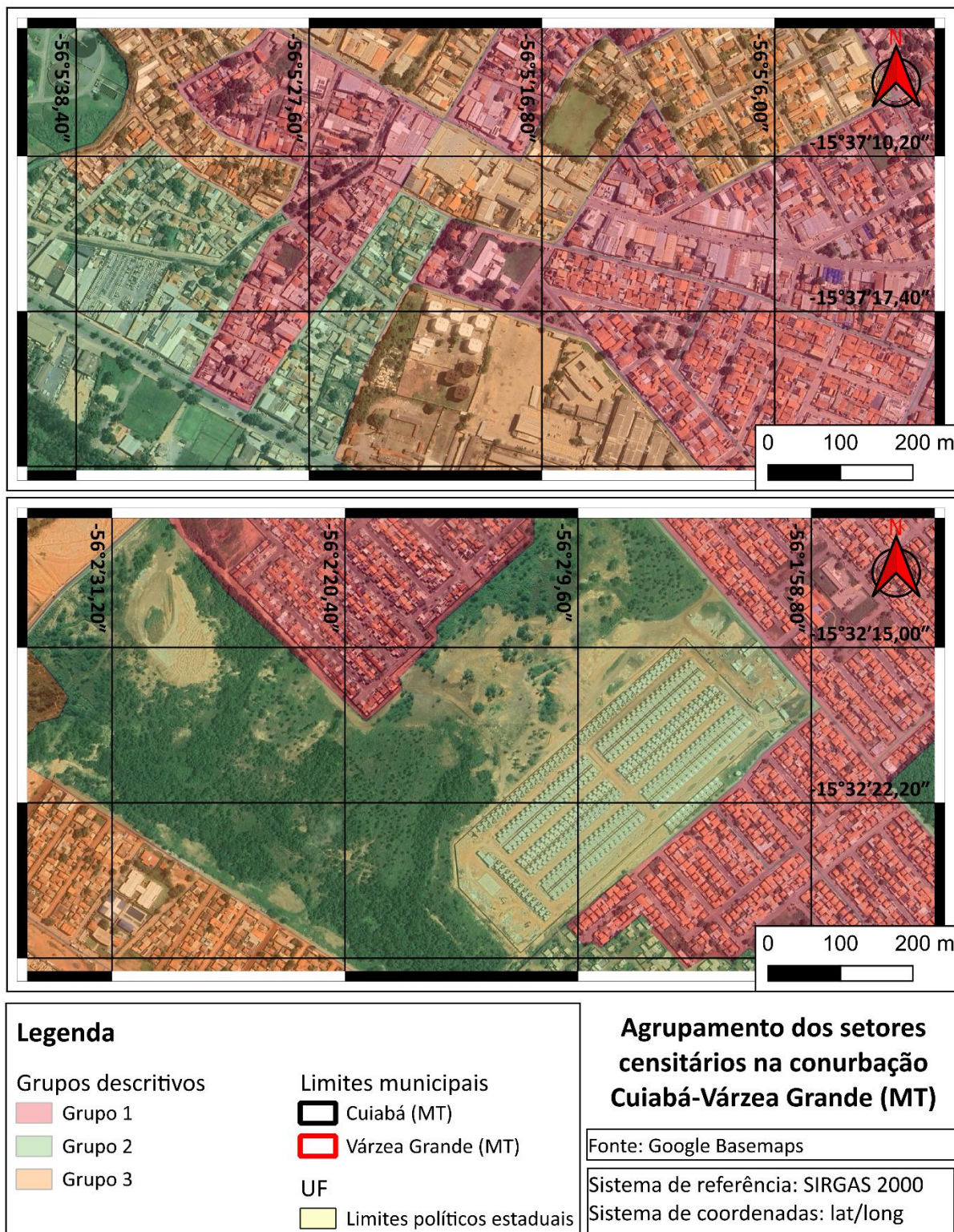


Figura 9 – Sobreposição dos grupos descritivos sobre imagem satelital da conurbação Cuiabá-Várzea Grande (MT). Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

A análise do grupo 3, identificado pelo modelo proposto, demonstra a robustez dos dados, pois sua delimitação coincide visualmente com áreas de predominância de terrenos descobertos, conforme mostrado na Figura 9. A validação visual, por meio da sobreposição dos agrupamentos sobre imagens de alta resolução, confirma a acurácia da metodologia e reforça a confiabilidade dos resultados. Esses setores, podem configurar-se como potenciais alvos de especulação imobiliária, conforme discutido por Oliveira e Fioravanti (2024), ou representar áreas subutilizadas pelo poder público, cuja apropriação qualificada poderia ampliar os espaços de uso coletivo e convivência social. Essas áreas, se planejadas e incorporadas adequadamente ao tecido urbano, poderiam contribuir para o equilíbrio entre desenvolvimento urbano e qualidade ambiental, promovendo benefícios tanto sociais quanto ecológicos, especialmente em regiões com déficit de infraestrutura verde.

Apesar da robustez dos dados utilizados e da consistência dos resultados, é importante destacar algumas limitações metodológicas do estudo. A utilização do setor censitário como unidade de análise, embora ofereça um nível razoável de detalhe, pode ocultar variações importantes dentro das áreas urbanas. Setores censitários apresentam tamanhos e formatos heterogêneos, o que pode mascarar variações intraurbanas mais sutis, especialmente em áreas densamente ocupadas ou com transições abruptas de uso e cobertura do solo. Além disso, o efeito de agregação pode gerar distorções nas análises, levando a interpretações que não necessariamente refletem a realidade espacial mais refinada. Futuras pesquisas podem explorar unidades territoriais menores ou recortes funcionais (como quadras, bairros ou zonas de planejamento) para superar essas limitações e promover análises mais precisas e contextualizadas.

IV. CONCLUSÃO

A conurbação Cuiabá–Várzea Grande (MT), delimitada com base nos setores censitários que a compõe, foi analisada com referência ao ano de 2023 e classificada em três grupos distintos por meio de um modelo descritivo que integrou índices espectrais relacionados à estrutura da área construída, cobertura vegetal, temperatura de superfície obtida por sensoriamento remoto, informações topográficas e demográficas.

O grupo 3, mais representativo das regiões centrais de ambos os municípios, apresentou menor adensamento construtivo e maior incidência de áreas abertas, como pátios, estacionamentos e terrenos baldios, o que aponta para um potencial de expansão da área construída. O grupo 1, por outro lado, caracterizou-se por maior adensamento das edificações, o que limita a expansão urbana horizontal. O grupo 2, predominante nas periferias da conurbação, evidenciou maior presença e intensidade de áreas verdes. Sua elevada variabilidade interna revela uma paisagem urbana mista, composta por edificações, áreas abertas e vegetação.

As temperaturas de superfície mostraram-se mais elevadas nos grupos com menor cobertura vegetal. O grupo 2, com maior presença de áreas verdes, registrou reduções médias de temperatura de 1,65 °C e 0,88 °C no inverno, e de 1,67 °C e 1,32 °C no verão, quando comparado aos grupos 1 e 3, respectivamente. Esses resultados evidenciam os benefícios climáticos da vegetação urbana na mitigação das ilhas de calor e no conforto térmico.

Apesar das diferenças físico-ambientais e urbanas entre os grupos, a densidade populacional permaneceu próxima a 600 habitantes por setor censitário em todos os casos. Esse padrão indica uma ocupação habitacional que não necessariamente considera fatores ambientais locais, como cobertura vegetal ou conforto térmico, e sugere que os setores censitários podem não ser as unidades mais adequadas para representar padrões espaciais urbanos. Propõe-se, assim, o uso de outras unidades de análise territorial, como zonas de planejamento, bairros ou quadras, para subsidiar uma gestão urbana mais precisa e ambientalmente integrada.

Nesse contexto, o estudo revela importantes desafios para a promoção de um planejamento urbano mais sustentável. A expansão acelerada e, muitas vezes, desordenada das áreas urbanas, aliada à redução da cobertura vegetal, contribui para o agravamento das ilhas de calor e da vulnerabilidade ambiental das cidades. Embora o modelo tenha identificado regiões com maior resiliência climática (grupo 2) e áreas com potencial de expansão (grupo 3), a desconexão entre a distribuição da população e as condições ambientais locais evidencia a urgência de políticas públicas mais integradas. É essencial que estratégias de ordenamento territorial incorporem critérios ecológicos, promovam a preservação de áreas verdes e atuem na mitigação de impactos térmicos, contribuindo para cidades mais equilibradas, resilientes e justas.

Agradecimentos

Ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) pelo financiamento do projeto de pesquisa “Aperfeiçoamento do Cadastro Ambiental Urbano (CAU), com ênfase na agricultura urbana e periurbana”, por meio da Embrapa Agricultura Digital, do Centro e Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – Cepagri/Unicamp e da Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED).

V. REFERÊNCIAS

- AHMED, M.; SERAJ, R.; ISLAM, S. M. S. The k-means algorithm: A comprehensive survey and performance evaluation. *Electronics*, v. 9, n. 8, p. 1295, 2020.
- ALI, A.; NAYYAR, Z. A. A Modified Built-up Index (MBI) for automatic urban area extraction from Landsat 8 Imagery. *Infrared Physics & Technology*, v. 116, p. 103769, 2021.

ANGEL, S. et al. The dynamics of global urban expansion. Washington, DC: World Bank, Transport and Urban Development Department, 2005.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, v. 23, n. 1, p. 1-26, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.859>. Acesso em: 19 maio 2025.

BOUZEKRI, S.; LASBET, A. A.; LACHEHAB, A. A new spectral index for extraction of built-up area using Landsat-8 data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 43, p. 867-873, 2015.

COELHO, L. L. Dispersão, fragmentação e paisagem: relações entre dinâmicas naturais e urbanas no vetor oeste da Região Metropolitana de São Paulo. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

DUPONT, I. C. G. et al. Conurbação urbana: um viés teórico. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel, 2010.

EARTH RESOURCES OBSERVATION AND SCIENCE (EROS) CENTER. Landsat 8-9 Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor Level-2, Collection 2 [dataset]. U.S. Geological Survey, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5066/P9OGBGM6>. Acesso em: 19 maio 2025.

FRÄNTI, P.; SIERANOJA, S. K-means properties on six clustering benchmark datasets. *Applied Intelligence*, v. 48, p. 4743-4759, 2018.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. Data mining: concepts and techniques. Waltham: Morgan Kaufmann Publishers, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2022: Resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=4&uf=00>. Acesso em: 21 mar. 2025.

JAMES, G. et al. An Introduction to Statistical Learning: with Applications in Python. Cham: Springer International Publishing, 2023.

JIELI, C. et al. Extract residential areas automatically by new built-up index. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOINFORMATICS, 18., 2010, Beijing. Proceedings [...]. IEEE, 2010. p. 1-5.

KAWAMURA, M. Relation between social and environmental conditions in Colombo, Sri Lanka and the urban index estimated by satellite remote sensing data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 7, p. 321-326, 1996.

KEBEDE, T. A.; HAILU, B. T.; SURYABHAGAVAN, K. V. Evaluation of spectral built-up indices for impervious surface extraction using Sentinel-2A MSI imageries: A case of Addis Ababa city, Ethiopia. *Environmental Challenges*, v. 8, p. 100568, 2022.

MAPBIOMAS. Factsheet: Áreas Urbanizadas, 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/12/Factsheet-Areas-Urbanizadas_C9_25.11.pdf. Acesso em: 21 mar. 2025.

MARANDOLA, J. R.; D'ANTONA, A. O.; OJIMA, R. População, ambiente e desenvolvimento: mudanças climáticas e urbanização no Centro-Oeste. In: UNFPA – FUNDO DE POPULAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. População, ambiente e desenvolvimento. Brasília: UNFPA, 2011.

- OKI, T. R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>. Acesso em: 19 maio 2025.
- OLIVEIRA, J. L. de; FIORAVANTI, L. M. O mercado imobiliário em Cuiabá e em Várzea Grande, Mato Grosso: entre permanências e novos processos. *Revista Contexto Geográfico*, v. 9, n. 22, p. 122–137, 6 jan. 2025.
- PEREIRA, R. H. M.; SCHWANEN, T.; BANISTER, D. Distributive justice and equity in transportation. *Transport Reviews*, p. 1–22, 2016. DOI: 10.1080/01441647.2016.1257660.
- ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In: *EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM*, 3., 1974. Proceedings [...]. p. 309-317.
- SILVA, M. P. Ritmos e ciclos no clima local de Cuiabá/Várzea Grande - MT: uma análise secular (1912 a 2012). 2015. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Rondonópolis, 2015.
- SILVA, R. B. Centralidade urbana e resistências sociais na conurbação Cuiabá-Várzea Grande. *Revista Geotemas*, v. 10, n. 2, p. 66–96, 31 ago. 2020. DOI: <http://orcid.org/0000-0003-2865-6434>.
- VISCONTI, G. R.; SANTOS, M. C. Região Centro-Oeste: desafios e perspectivas para o desenvolvimento sustentável. In: CAVALCANTI, Isabel Machado; LASTRES, Helena Maria Martins et al. (Org.). *Um olhar territorial para o desenvolvimento: Centro-Oeste*. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2014. p. 228-244. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/13054>. Acesso em: 29 jan. 2025.
- WAQAR, M. et al. Development of new indices for extraction of built-up area & bare soil from Landsat data. *Scientific Reports*, v. 1, n. 136, 2012. DOI: 10.4172/scientificreports.136.
- WEI, Y.; LEMOY, R.; CARUSO, G. The effect of population size on urban heat island and NO₂ air pollution: review and meta-analysis. *City and Environment Interactions*, v. 24, p. 100161, 2024. DOI: 10.1016/j.cacint.2024.100161.
- ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24, n. 3, p. 583-594, 2003.