

ARTÍCULO TEMA LIBRE

Transformações Espaciais e Ambientais no Uso da Terra em João Pinheiro (MG). Dinâmicas e Implicações para o Bioma Cerrado entre 1990 e 2020¹

Spatial and Environmental Transformations in Land Use in João Pinheiro (MG). Dynamics and Implications for the Cerrado Biome between 1990 and 2020

Leticia Tondato Arantes

Universidade Estadual Paulista - UNESP
leticia.tondato@unesp.br

Alessandro Xavier Da Silva Junior

Universidade Estadual Paulista - UNESP
alessandro.junior@unesp.br

Arthur Pereira Dos Santos

Universidade Estadual Paulista - UNESP
arthur.p.santos@unesp.br

Darllan Collins Da Cunha E Silva

Universidade Estadual Paulista - UNESP
darllan.collins@unesp.br

Ana Laura De Paula

Universidade Estadual Paulista - UNESP
al.paula@unesp.br

¹ Una versión preliminar de este trabajo fue presentada en el IX SGAgro, en julio de 2024, y publicada en los *Anais Eletrônicos del IX SGAgro* con el título “Análisis de la evolución del uso y cobertura de la tierra en João Pinheiro, MG: investigando su relación con la expansión agropecuaria”.

Fecha de recepción: 07/12/2024. Fecha de aceptación: 15/04/2025



URL de la revista: revistas.uncc.edu.ar/ojs3/index.php/cuyonomics

ISSN 2591-555X

Esta obra es distribuida bajo una Licencia Creative Commons
Atribución No Comercial – Compartir Igual 4.0 Internacional

Resumono

As mudanças no uso e cobertura da terra são reconhecidas globalmente como fatores fundamentais das transformações ambientais. A análise dessas dinâmicas constitui um dos métodos mais precisos para compreender o uso passado da terra, identificar os tipos de mudanças ocorridas, bem como as forças motrizes e os processos de desenvolvimento que impulsionam essas transformações. Este estudo analisa as transformações no uso e cobertura da terra no município de João Pinheiro, MG, entre 1990 e 2020, destacando as mudanças incentivadas pela expansão das atividades econômicas. Utilizou-se o módulo Land Change Modeler (LCM), disponível no software TerrSet, com dados do MapBiomass. Os resultados indicam um aumento nas áreas agropecuárias, que passaram de 33,66 % para 48,43 %, enquanto as áreas florestais diminuíram de 51,99 % para 38,84 %. Esse padrão de transformação aponta para a crescente conversão da vegetação nativa em áreas agrícolas, refletindo a pressão das atividades humanas sobre o bioma. O estudo reforça a importância de adotar abordagens que integrem o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, contribuindo para o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas para a conservação do Cerrado.

Palavras-chave: LCM, MapBiomass, Preservação Ambiental, Planejamento Territorial

Abstract

Land use and land cover changes are globally recognized as fundamental factors driving environmental transformations. The analysis of these dynamics is one of the most accurate methods for understanding the historical land use, identifying the types of changes that have occurred, as well as the driving forces and development processes behind these transformations. This study analyzes land use and land cover transformations in the municipality of João Pinheiro, Minas Gerais, Brazil, between 1990 and 2020, highlighting changes driven by the expansion of economic activities. The Land Change Modeler (LCM) module, available in the TerrSet software, was used with data from MapBiomass. The results indicate an increase in agricultural areas, which rose from 33.66 % to 48.43 %, while forest areas decreased from 51.99 % to 38.84 %. This transformation pattern points to the growing conversion of native vegetation into agricultural lands, reflecting the pressure of human activities on the biome. The study reinforces the importance of adopting approaches that integrate economic development with environmental conservation, contributing to territorial planning and the formulation of public policies aimed at the conservation of the Cerrado.

Keywords: LCM, MapBiomass, Environmental Preservation, Land Use Planning

Journal of Economic Literature (JEL): Q01, Q15, Q24, Q28

Introdução

A interação entre as atividades econômicas e os recursos ambientais têm se tornado um dos maiores desafios globais, especialmente devido à crescente demanda por alimentos e à expansão da agricultura (Steffen et al., 2015; Reis et al., 2021; Shen et al., 2021; Arantes et al., 2023). Esse crescimento, embora essencial para a segurança alimentar, frequentemente resulta em impactos ambientais, como desmatamento e degradação do solo (Costa et al., 2024; Santos et al., 2024a).

O Brasil é tido como um dos maiores produtores e exportadores de alimentos no cenário global, com o setor agropecuário desempenhando um papel central no crescimento econômico do país nas últimas décadas (FAO, 2019). Diante desse cenário, os recursos ambientais enfrentam uma crescente degradação, com as mudanças no uso e cobertura da terra representando um dos principais fatores antropogênicos impulsionadores dessas transformações (Santos et al., 2024b).

Assim, é fundamental realizar o monitoramento contínuo e a mitigação das consequências dessas alterações, a fim de minimizar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade (FAO, 2020; Lourenço et al., 2022; Arantes et al., 2023; Youssef et al., 2024). O mapeamento e monitoramento contínuo do uso e cobertura da terra é essencial para compreender e gerenciar os efeitos das mudanças na ocupação do território, além de reduzir os riscos associados às transformações no território, que podem comprometer o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade dos ecossistemas.

O uso de sensoriamento remoto (SR) combinado com o sistema de informação geográfica (SIG) tem se tornado uma ferramenta essencial para a detecção e análise das mudanças no uso e cobertura da terra, permitindo uma análise eficiente, simplificada e precisa de grandes áreas (Khalil et al., 2022; Youssef et al., 2024). O modelo Land Change Modeler (LCM), por sua vez, tem se destacado como uma poderosa ferramenta para modelar e prever transformações no uso da terra, fornecendo subsídios valiosos para entender as dinâmicas espaciais e suas consequências ambientais (Ayele et al., 2019; Motlagh et al., 2021; Zarandiano et al., 2023). Nesse contexto, o LCM combina algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais artificiais e regressão logística, com cadeias de Markov para modelar e prever transições no uso da terra de forma espacialmente explícita (Clark Labs, 2024). Sua principal vantagem reside na integração de variáveis explicativas dinâmicas e na flexibilidade para simular diferentes cenários prospectivos, o que o torna especial-

mente útil para estudos de planejamento territorial e conservação ambiental (Toledo et al., 2024; Varnier & Weber, 2025).

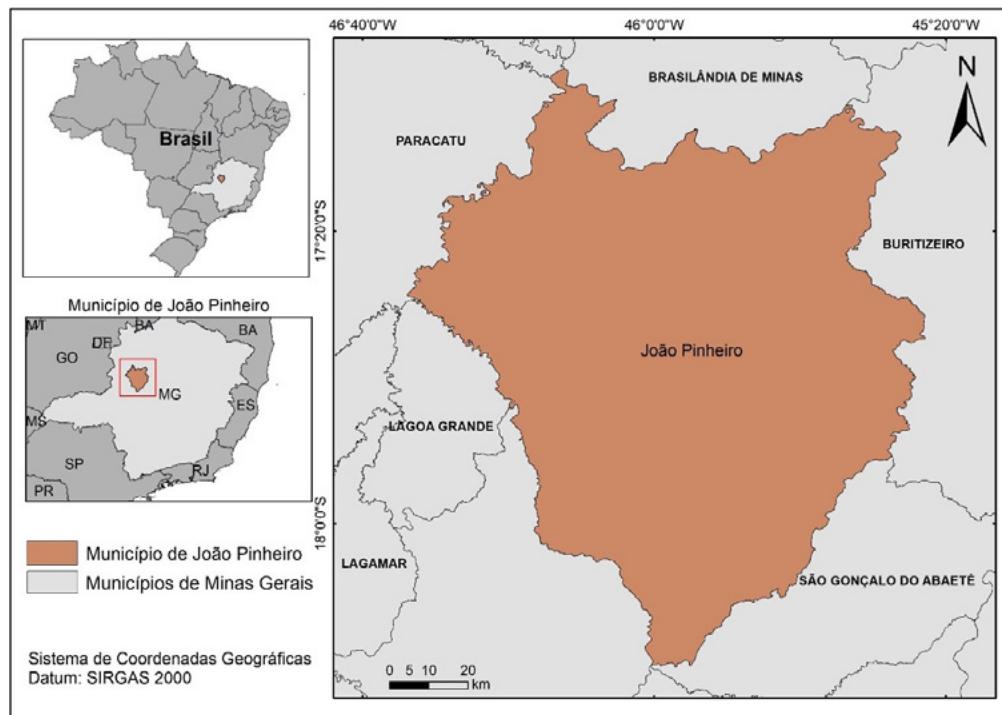
O objetivo deste estudo é analisar as mudanças no uso e cobertura da terra no município de João Pinheiro, MG, nos anos de 1990 e 2020, utilizando o LCM como ferramenta central de investigação. Essa abordagem permite compreender a dinâmica das transformações ocorridas ao longo do tempo, identificar os fatores que influenciaram essas mudanças e oferecer subsídios para o planejamento sustentável e a gestão territorial.

A relevância dessa análise é amplificada pelo fato de João Pinheiro estar inserido no Bioma Cerrado, conhecido por sua intensa conversão de áreas naturais em usos antropizados (Sano et al., 2019). O Cerrado já perdeu mais de 50 % de sua cobertura original, principalmente devido à expansão agropecuária (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2020), com estimativas apontando para uma possível perda de 31 % a 34 % do bioma remanescente até 2050, caso práticas insustentáveis continuem prevalecendo (Alencar et al., 2021).

Metodologia

Área de Estudo

Figura 1. Localização do município de João Pinheiro, Minas Gerais



Fonte: elaboração própria com base em dados do IBGE – Malhas Territoriais (2024).

Para a realização deste estudo, escolheu-se como área de análise o município de João Pinheiro, situado na Mesorregião Noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil (figura 1). Com uma área territorial aproximada de 10.723 km², João Pinheiro é reconhecido como um relevante polo agropecuário na região, de acordo com informações da Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais (Seapa, 2021).

Inserido no Bioma Cerrado, João Pinheiro faz parte de uma das regiões mais relevantes da América Latina em termos ecológicos, já que o Cerrado é reconhecido como o segundo maior bioma do continente e classificado como um dos *hotspots* globais para a conservação da biodiversidade (Miranda, 2014; Sano et al., 2019).

A região na qual o município se encontra destaca-se pelo expressivo potencial para atividades agropecuárias, com notáveis avanços na produção de grãos e na pecuária, o que tem causado mudanças significativas na paisagem, bem como no uso e cobertura do solo (Embrapa, 2018; Gualdani & Sobrinho, 2023).

Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra - MapBiomass

Para conduzir este estudo, adotou-se como metodologia a análise de dados provenientes da Coleção 7.1 do MapBiomass, que disponibiliza informações anuais detalhadas sobre a cobertura e o uso da terra. Esses dados são gerados a partir de imagens captadas pelos satélites Landsat, com uma resolução espacial de 30 metros. Todo o processo de mapeamento é viabilizado por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE), que permite a execução de análises em nuvem, garantindo maior eficiência e capacidade de processamento (Souza et al., 2020).

A pesquisa concentrou-se na extração de informações relacionadas ao município de João Pinheiro, utilizando os dados do MapBiomass referentes aos anos de 1990 e 2020. Essa abordagem possibilitou a realização de uma análise comparativa ao longo de três décadas, evidenciando transformações nos padrões de uso e cobertura da terra no território estudado.

Para facilitar a interpretação dos resultados, as informações foram classificadas com base nas categorias de nível 1 definidas pelo MapBiomass, o que contribuiu para uma análise mais estruturada das tendências de mudança. Com o intuito de sistematizar as categorias de uso e cobertura da terra analisadas, foi elaborado o quadro 1, que organiza essas informações e serve como base para uma compreensão mais clara das alterações identificadas no período avaliado.

Quadro 1. Categorias de cobertura e uso da terra segundo a Coleção 7 do MapBiomas

Classes de cobertura e uso da terra – Nível 1			
Agropecuária	Silvicultura	Floresta	Formação Florestal
	Pastagem		Formação Savântica
	Cana	Formação Natural não Florestal	Formação Campestre
	Mosaico de Usos		
	Citrus		Campo Alagado e Área Pantanosa
	Soja		
	Outras Lavouras Perenes	Área não Vegetada	Área Urbanizada
	Outras Lavouras Temporárias		Outras Áreas não Vegetadas

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do Projeto MapBiomas (2025).

Modelagem das mudanças de uso e cobertura da terra – LCM

A modelagem das transições no uso e cobertura da terra foi conduzida utilizando o software TerrSet, por meio do modelo LCM (Land Change Modeler). Este modelo, que combina redes neurais artificiais (RNA) e análise baseada em cadeias de Markov, foi desenvolvido pela Clark Labs (Eastman, 2012) e permite avaliar dinâmicas de mudanças no território. O LCM oferece ferramentas para investigar transformações ocorridas na paisagem ao longo do tempo, modelar potenciais de transição, projetar mudanças futuras e avaliar impactos sobre a biodiversidade (Lollo et al., 2019; Zarandian, 2023).

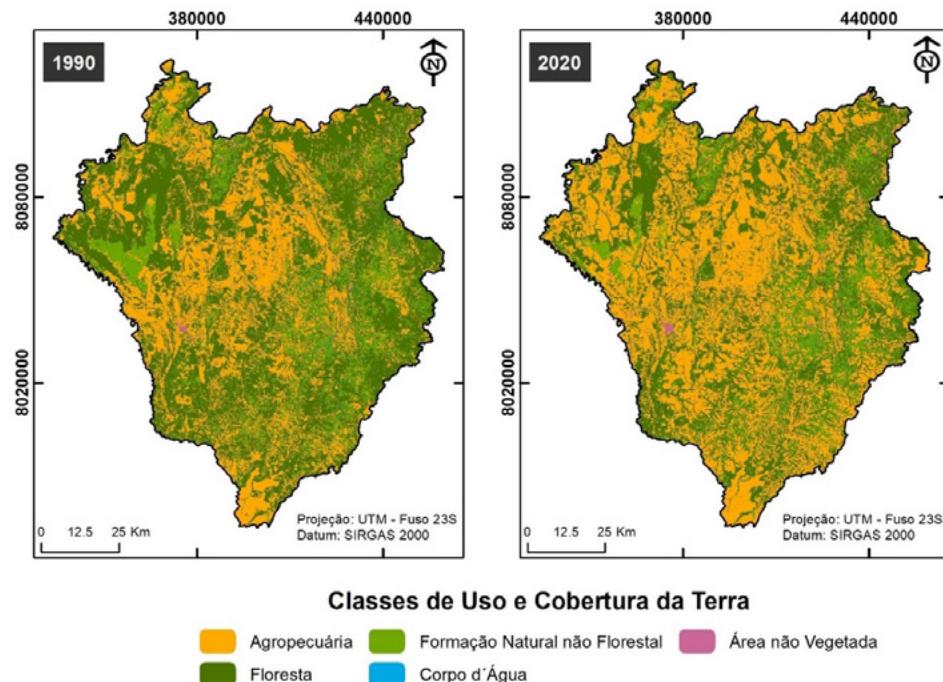
Inicialmente, os dados referentes ao uso e cobertura da terra foram preparados, e os arquivos foram convertidos para o formato compatível com o TerrSet. Em seguida, os parâmetros fundamentais foram configurados, como a definição das classes de uso do solo e os intervalos temporais analisados (1990 e 2020). A partir dessas definições, o modelo foi utilizado para gerar mapas que evidenciaram, de forma percentual, as perdas e os ganhos nas diferentes categorias de uso e cobertura da terra ao longo do período analisado.

Resultados e discussão

A figura 2 apresenta uma análise espaço-temporal dos mapas de uso e cobertura da terra nos anos de 1990 e 2020 para o município de João Pinheiro, permitindo identi-

ficar mudanças na paisagem e na distribuição espacial das diferentes classes de uso e cobertura da terra ao longo de três décadas.

Figura 2. Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1990 e 2020



Fonte: elaboração própria com base em dados do Projeto MapBiomass (2025).

A comparação entre os mapas revela uma expressiva expansão da atividade agropecuária no município. Em 1990, essa classe já ocupava uma parcela significativa do território, mas os dados de 2020 indicam um avanço contínuo, impulsionado pelo crescimento demográfico e pela intensificação da produção agrícola e pecuária. Tal dinâmica é impulsionada pelo crescimento populacional, que passou de 41.368 habitantes em 2000 para 46.801 em 2022 (IBGE, 2022), e pela intensificação da produção agropecuária, evidenciada pelo destaque nacional de João Pinheiro na produção de carvão vegetal, que em 2023 representou 91,2 % do valor da produção silvicultural do município (IBGE, 2024). Esses fatores refletem o aumento da pressão antrópica sobre a paisagem, promovendo a reorganização espacial do uso da terra.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2018), a região noroeste de Minas Gerais tem registrado uma forte expansão do setor agropecuário, com aumento na produção de grãos e pecuária. Esse crescimento impacta diretamente o uso da terra e altera a configuração ambiental, reforçando a importância de práticas conservacionistas para mitigar a degradação do solo (Santos et al., 2025a) e a pressão sobre os recursos hídricos (Sales et al., 2024).

A tabela 1 apresenta a distribuição das classes de uso e cobertura da terra em valores absolutos (km^2) e relativos (%), permitindo uma análise quantitativa das transformações ocorridas entre 1990 e 2020. Essa abordagem comparativa facilita a compreensão das tendências de ocupação do solo e subsidia a formulação de políticas públicas voltadas ao ordenamento territorial e à sustentabilidade agroambiental.

Tabela 1. Distribuição das classes de uso e cobertura da terra no município de João Pinheiro (1990 e 2020)

Classe de Uso e Cobertura da Terra	Ano de Análise			
	1990		2020	
	Total (km^2)	Total (%)	Total (km^2)	Total (%)
Agropecuária	3611,173	33,66	5195,18	48,43
Floresta	5576,942	51,99	4166,252	38,84
Formação Natural Não Florestal	68,701	0,64	60,306	0,56
Corpo d'Água	60,032	0,56	32,144	0,30
Área não Vegetada	149,624	1,39	172,023	1,60

Fonte: elaboração própria com base em dados do Projeto MapBiomas (2025).

A análise quantitativa evidencia uma expressiva transformação na configuração territorial do município ao longo das três últimas décadas. A classe agropecuária apresentou a maior expansão, passando de 33,66 % da área total em 1990 para 48,43 % em 2020. Esse crescimento foi acompanhado por uma redução significativa da classe Floresta, cuja cobertura diminuiu de 51,99 % para 38,84 % no mesmo período.

A conversão de áreas florestais para uso agrícola reflete uma tendência amplamente documentada na literatura, associada ao aumento da demanda por terras cultiváveis e pastagens (Arantes et al., 2021; Nery et al., 2024). Esse processo, no entanto, acarreta impactos ambientais expressivos, incluindo a fragmentação de habitats, a redução da biodiversidade e a intensificação de processos erosivos que comprometem a estabilidade do solo.

A relação entre desmatamento e alterações na dinâmica hidrológica é amplamente reconhecida. A cobertura florestal desempenha um papel essencial na infiltração da água no solo e na manutenção da qualidade hídrica, reduzindo o escoamento superficial e mitigando processos de assoreamento e sedimentação de corpos d'água (Santos et al., 2023).

A degradação da vegetação nativa compromete esses serviços ecossistêmicos, impactando diretamente a regulação climática e a disponibilidade de recursos hídricos. A conversão de áreas naturais para a agropecuária sem planejamento adequado pode, portanto, agravar os desafios da segurança hídrica, especialmente

diante das mudanças climáticas e do aumento da variabilidade pluviométrica projetada para as próximas décadas.

A redução da classe Corpo d'Água, de 0,56 % para 0,30 %, sugere um uso intensivo dos recursos hídricos, possivelmente associado ao crescimento da irrigação e à ampliação das atividades agropecuárias. Segundo o Atlas Irrigação (ANA, 2021), a expansão da agricultura irrigada em João Pinheiro (MG) integra um processo mais amplo de consolidação do polo Alto Paracatu – Entre Ribeiros, iniciado nas últimas décadas e intensificado a partir dos anos 2010. A região passou a registrar significativa ampliação das áreas irrigadas, com destaque para a instalação de pivôs centrais e a diversificação de culturas, refletindo o fortalecimento da infraestrutura hídrica e a modernização tecnológica como vetores estratégicos de desenvolvimento agrícola.

Assim, o declínio dos recursos hídricos reforça a preocupação com a crescente competição pelo uso da água, podendo resultar em conflitos entre setores produtivos e comunidades locais (Guimarães & Landau, 2020; Santos et al., 2025b).

Nesse contexto, a adoção de políticas públicas voltadas à gestão hídrica sustentável torna-se indispensável. Medidas como a implementação de tecnologias de irrigação mais eficientes, a recuperação de matas ciliares e o incentivo à conservação dos solos podem contribuir para o equilíbrio entre produção agrícola e preservação ambiental.

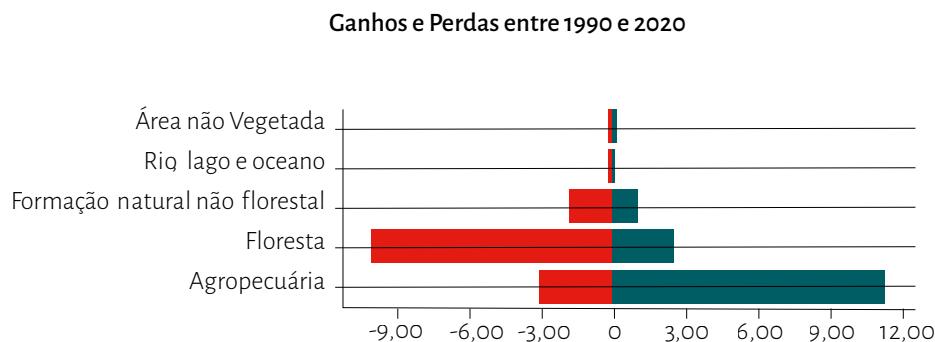
A necessidade de conciliar crescimento econômico e conservação dos recursos naturais está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. O ODS 6 (Água Potável e Saneamento) destaca a importância do uso racional da água, enquanto o ODS 15 (Vida Terrestre) reforça a necessidade de proteger ecossistemas terrestres e promover a gestão sustentável dos recursos naturais. Além disso, o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) sublinha a urgência de estratégias adaptativas para mitigar os impactos das mudanças climáticas, garantindo a resiliência dos sistemas produtivos.

Nessa perspectiva, a figura 3 ilustra as mudanças no uso e cobertura da terra, oferecendo uma representação visual das transformações territoriais observadas no município. A análise desses padrões espaciais é essencial para embasar políticas de gestão territorial mais eficazes, orientadas para a sustentabilidade e para a mitigação dos impactos ambientais da expansão agropecuária.

Conforme representado na figura 3, observa-se que as principais perdas ocorreram em áreas florestais, enquanto os maiores ganhos foram registrados em áreas destinadas à agropecuária. Essa dinâmica evidencia a tendência de expansão das atividades agrícolas sobre ecossistemas naturais, um fenômeno já amplamente documentado em diversas regiões agrícolas do mundo (Lourenço et al., 2022; Rizzo et al., 2023; Oliveira et al., 2024).

Estudos realizados em Minas Gerais utilizando o LCM corroboram os resultados obtidos neste trabalho, ao evidenciar a expansão de áreas agropecuárias sobre formações naturais no bioma Cerrado. Santana Neto et al. (2024) observaram no

Figura 3. Gráfico quantitativo de perdas (vermelho) e ganhos (verde) em porcentagem



Fonte: TerrSet (2024).

município de São Francisco a redução de áreas de floresta e savana entre 2012 e 2020, com aumento expressivo de pastagens. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva e Oliveira (2022) na APA da Serra de São José, onde a análise apontou a substituição da cobertura natural por áreas urbanas e agrícolas, ressaltando a crescente pressão antrópica e a necessidade de estratégias de conservação mais eficazes.

Embora essa expansão contribua para o crescimento econômico e o abastecimento alimentar, ela também acarreta desafios ambientais significativos, incluindo a perda de biodiversidade, degradação do solo e comprometimento dos recursos hídricos. A conversão de áreas naturais para uso agropecuário impacta diretamente a capacidade dos ecossistemas de fornecer serviços ambientais essenciais, como a regulação do ciclo hidrológico e o sequestro de carbono (Tao et al., 2023; Bacani et al., 2024).

Além dos efeitos sobre a biodiversidade e o solo, as mudanças no uso da terra influenciam diretamente a qualidade dos recursos hídricos. Estudos indicam que áreas florestais desempenham um papel crucial na regulação da infiltração e qualidade da água, enquanto a conversão para uso agrícola e urbano está associada ao aumento da erosão, assoreamento e contaminação dos corpos hídricos (Shen et al., 2015; Santos et al., 2025a). Nesse contexto, a conservação e recuperação de vegetação ripária emergem como estratégias indispensáveis para a manutenção da disponibilidade hídrica e da qualidade da água, sendo fundamentais para a gestão territorial sustentável.

A intensificação das mudanças climáticas adiciona uma nova camada de complexidade a esse cenário. Projeções indicam que, até 2050, variações nos regimes de temperatura e precipitação poderão reduzir a produtividade agrícola e aumentar a demanda por irrigação, ampliando a pressão sobre os recursos hídricos (ONU BRASIL, 2023).

Diante desses desafios, torna-se evidente a necessidade de uma abordagem integrada na gestão territorial no município, que promova o equilíbrio entre desen-

volvimento econômico e conservação ambiental. A implementação de políticas de ordenamento territorial, aliadas a incentivos para práticas sustentáveis, pode contribuir para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e a resiliência das cadeias produtivas. A efetividade de políticas públicas que integram ordenamento territorial e incentivos econômicos pode ser ilustrada pela experiência do município de Extrema, em Minas Gerais. A partir da implementação do Programa Conservador das Águas, baseado no mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), o município conseguiu fomentar a restauração ecológica de áreas de nascentes e a proteção de recursos hídricos essenciais para a população e a produção agrícola local (Jardim & Bursztyn, 2015). Esse caso evidencia que instrumentos econômicos bem desenhados, integrados ao planejamento territorial e à participação social, são capazes de promover a conservação ambiental ao mesmo tempo em que fortalecem a resiliência das cadeias produtivas, demonstrando a viabilidade de estratégias que conciliam proteção dos serviços ecossistêmicos e desenvolvimento econômico.

Portanto, os resultados obtidos reforçam a necessidade de políticas de ordenamento territorial que integrem práticas agrícolas sustentáveis, preservação de áreas naturais e recuperação ambiental, alinhando-se às metas globais de conservação ambiental e desenvolvimento sustentável. A aplicação contínua de ferramentas de modelagem espacial, como o LCM, é de suma importância para monitorar essas dinâmicas e orientar a tomada de decisões de maneira baseada em evidência.

Considerações finais

Os resultados evidenciam uma transformação significativa no uso e cobertura da terra no município de João Pinheiro entre 1990 e 2020, com a expansão das áreas agropecuárias ocorrendo em detrimento das áreas florestais, de forma a se refletir tanto a intensificação da atividade agrícola quanto a necessidade de estratégias voltadas à conservação dos recursos naturais.

A análise espaço-temporal revelou tendências preocupantes, como a redução da cobertura florestal e a diminuição da extensão de corpos d'água, ressaltando a importância de medidas para mitigar impactos ambientais associados à conversão do solo.

A metodologia adotada, integrando SIG e o modelo LCM, demonstrou-se eficaz na identificação e quantificação das mudanças na paisagem, fornecendo subsídios técnicos para o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas. No entanto, algumas limitações devem ser consideradas, como a dependência da qualidade e resolução dos dados utilizados, bem como a necessidade de validar os resultados por meio de análises em campo. Estudos futuros podem aprofundar a investigação sobre os impactos dessas mudanças na dinâmica hidrológica, na biodiversidade e na resiliência dos ecossistemas locais, além de explorar cenários preditivos para orientar estratégias de gestão sustentável.

Diante dos resultados obtidos, reforça-se a necessidade de políticas que promovam práticas agrícolas sustentáveis, conciliando crescimento econômico e preservação ambiental. O uso contínuo de ferramentas de geotecnologia e modelagem preditiva pode contribuir significativamente para o monitoramento e gestão eficiente do território, auxiliando na tomada de decisão e na implementação de medidas preventivas contra a degradação ambiental.

Referências bibliográficas

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021). *Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. ANA. Disponível em <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1b19cbb4-10fa-4be4-96db-b3dcd8975dbo>.
- AKSOY, T., DABANLI, A., CETIN, M., KURKCUOGLU, M. A. S., CENGIZ, A. E., CABUK, S. N., AGACSPAN, B. & CABUK, A. (2022). Evaluation of comparing urban area land use change with Urban Atlas and CORINE data. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 28995-29015. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17766-y>.
- ALCON, F., ZABALA, J. A. & MARTÍNEZ-PAZ, J. M. (2022). Assessment of social demand heterogeneity to inform agricultural diffuse pollution mitigation policies. *Ecological Economics*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107216>.
- ANSARI, A. & GOLABI, M. H. (2019). Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for desert wetlands – A case study: Meighan Wetland, Iran. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.10.001>.
- ARANTES, L. T., CARVALHO, A. C. P., CARVALHO, A. P. P., LORANDI, R., MOSCHINI, L. E. & DI LOLLO, J. A. (2021). Surface runoff associated with climate change and land use and land cover in southeast region of Brazil. *Environmental Challenges*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100054>.
- ARANTES, L. T., ARANTES, B. H. T., SACRAMENTO, B. H., COSTA, H. F., OLIVEIRA, R. A., SIMONETTI, V. C., SILVA, D. C. C. & LOURENÇO, R. W. (2023). Application of spatial environmental indicators in the assessment of degradation potential of water resources in water basins. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(931). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11499-w>.
- AYELE, G., HAYICHO, H. & ALEMU, M. (2019). Land use land cover change detection and deforestation modeling: in Delomena District of Bale zone, Ethiopia. *Journal of Environmental Protection*, 10(4). <https://doi.org/10.4236/jep.2019.104031>.
- BACANI, V. M., MACHADO DA SILVA, B. H., SOUZA AMEDE SATO, A. A., SAMPAIO, B. D. S., CUNHA, E. R., VICK, E. P., OLIVEIRA, V. F. R. & DECCO, H. F. (2024). Carbon storage and sequestration in a eucalyptus productive zone in the Brazilian Cerrado, using the Ca-Markov/Random Forest and InVEST models. *Journal of Cleaner Production*, 444, 142129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142129>.
- Banco Mundial (2023). *Relatório sobre Clima e Desenvolvimento para o Brasil*. World Bank.

TONDATO ARANTES, L., PEREIRA DOS SANTOS, A., DE PAULA, A. L., DA SILVA JUNIOR, A. X. y DA CUNHA E SILVA, D. C. (2025). Transformações Espaciais e Ambientais no Uso da Terra em João Pinheiro (MG). Dinâmicas e Implicações para o Bioma Cerrado entre 1990 e 2020, 113-134.

- BARBOSA, F. L. R. (2021). Classificação do uso e cobertura da terra utilizando imagens SAR/Sentinel 1 no Distrito Federal, Brasil. *Sociedade e Natureza*, 33. <https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-55954>.
- BUSTAMANTE, M. M. C., NOBRE, C. A., SMERALDI, R., AGUIAR, A. P. D., BARIONI, L. G., FERREIRA, L. G., LONGO, K., MAY, P., PINTO, A. S. & OMETTO, J. P. H. B. (2012). Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. *Climatic Change*, 115, 559-577. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0443-3>.
- Clark Labs (2024). *TerrSet: Geospatial Monitoring and Modeling System*. Clark University. Disponível em <https://clarklabs.org/terrset/>.
- COSTA, L. J. A., DANELICHEN, V. H. de M., PEREIRA, O. A. & ANGELINI, L. P. (2024). Dinâmica da Conversão de Floresta Nativa Usando MapBiomas. *Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 28(4), 521-524. Disponível em <https://ensaiosciencia.pgscogna.com.br/ensaioecienca/article/view/10763>.
- DUTTA, D., RAHMAN, A., PAUL, S. K., & KUNDU, A. (2019). Changing pattern of urban landscape and its effect on land surface temperature in and around Delhi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(551). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7645-3>.
- Embrapa (2018). *Indicadores agrícolas*. Embrapa Gado de Leite.
- Embrapa (2020). *Georreferenciamento dos pivôs centrais de irrigação no Brasil: ano base 2020*. Embrapa Milho e Sorgo.
- FAO (2019). FAOSTAT: FAO statistical databases. Disponível em <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- GUIMARÃES, D. P. & LANDAU, E. C. (2020). *Georreferenciamento dos Pivôs Centrais de Irrigação no Brasil: Ano Base 2020*. Embrapa Milho e Sorgo.
- IBGE (2022). *Censo Demográfico 2022: Resultados preliminares*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/joao-pinheiro.html>.
- IBGE (2024). *Pesquisa da Pecuária Municipal e Produção Agrícola Municipal 2023*. Agência IBGE Notícias. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/>.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2020). *TerraBrasilis: portal de monitoramento de desmatamento*. Disponível em <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br>.
- JARDIM, M. H. A. & BURSZTYN, M. (2015). Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 20(3), 353-360. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000106299>.
- KHALIL, M. M. E., KHODARY, S. M., YOUSSEF, Y. M., ALSUBAIE, M. S. & SALLAM, A. (2022). Geo-environmental hazard assessment of archaeological sites and archaeological domes—Fatimid tombs—Aswan, Egypt. *Buildings*, 12. <https://doi.org/10.3390/buildings12122175>.
- LIZCANO TOLEDO, M. V., LOURENÇO, R. W. & CUNHA E SILVA, D. C. (2024). Study of land uses in the Sorocabuçu River watershed, Ibiúna-SP (Brazil) for the evaluation

- of eligible areas in MDL projects. *Cuadernos De Investigacion Geografica*, 50, 1-20. <https://doi.org/10.18172/cig.6052>.
- LOURENÇO, R. W., SALES, J. C. A., ARANTES, L. T., SILVA, C. V. & SILVA, D. C. C. (2022). Reflexos ambientais do desenvolvimento e expansão das atividades humanas sobre a qualidade da água. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(1), 175-198. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p176-198>.
- NERY, L. M., GOMES, G., NICOMEDES, N. P., CUNHA E SILVA, D. C. & SABONARO, D. (2024). Análise socioambiental de sistemas de integração: quais seus benefícios, desafios e oportunidades? *RISUS. Journal on Innovation and Sustainability*, 15, 177-192. <https://doi.org/10.23925/2179-3565.2024v15i2p177-192>.
- OLIVEIRA, R. A. de, NERY, L. M., ANDRADE, E. L., SIMONETTI, V. C., ARANTES, L. T., SANTOS, A. P., MARTINS, A. C. G. & SILVA, D. C. C. (2024). Methodological proposal for an ecological corridor and financial cost estimate: a way to help conserve biodiversity. *Journal For Nature Conservation*, 79, 126606. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126606>.
- ONU Brasil (2023). *Banco Mundial: Relatório sobre clima e desenvolvimento para o Brasil*. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/239808-banco-mundial-relatório-sobre-clima-e-desenvolvimento-para-o-brasil-2023>.
- RIZZO, F. A., SACRAMENTO, B. H., TONELLO, P. S. & SILVA, D. C. C. (2023). Proposta metodológica de identificação de áreas prioritárias para recuperação da bacia hidrográfica do córrego Pequiá (MA). *Revista Tecnologia e Sociedade*, 19, 33-54. <https://doi.org/10.3895/rts.v19n57.15589>.
- SALES, J. C. A., ARANTES, L. T., NERY, L. M., SANTOS, A. P., SILVA, D. C. C. & LOURENÇO, R. W. (2024). Spatial analysis of sediment transport by area of contribution of tributaries without vegetation cover in the Una River basin. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 34, 45-62. <https://doi.org/10.21138/GF.856>.
- SANO, E. E., RODRIGUES, A. A., MARTINS, E. S., BETTIOL, G. M., BUSTAMANTE, M. M. C., BEZERRA, A. S., COUTO Jr., A. F., VASCONCELOS, V., SCHÜLER, J. & BOLFE, E. L. (2019). Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *Journal of Environmental Management*, 232, 818-828. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>.
- SANTOS, A. P., SIMIONATTO, H. H., ARANTES, L. T., SIMONETTI, V. C., OLIVEIRA, R. A. de, SALES, J. C. A. & SILVA, D. C. C. (2023). The influence of land use and land cover on surface temperature in a water catchment sub-basin. *Sociedade & Natureza*, 35(1). <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-69161>.
- SANTOS, A. P., ARANTES, L. T., PAULA, A. L. de & SILVA, D. C. C. (2024a). Avaliação da expansão agropecuária como forma de indicador de degradação ambiental na mesorregião Noroeste do estado de Minas Gerais, Brasil. *GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 33, 7-26. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.839>.

- SANTOS, A. P., SIMIONATTO, H. H., ARANTES, L. T., SALAS, A. P. S., & DA CUNHA E SILVA, D. C. (2024b). Relación espacio-temporal de la temperatura superficial con el tipo de cobertura y uso del suelo, en los barrios del municipio de Paracatu, Minas Gerais, Brasil. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 44(1), 235-249. <https://doi.org/10.5209/aguc.94211>.
- SANTOS, A. P., SILVA JUNIOR, A. X., NERY, L. M., GOMES, G., TONIOLO, B. P., SILVA, D. C. C. & LOURENÇO, R. W. (2025a). Random forest algorithm applied to model soil textural classification in a river basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(330). <https://doi.org/10.1007/s10661-025-13786-0>.
- SANTOS, A. P., ARANTES, L. T., LIZCANO TOLEDO, M. V. & AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. (2025b). Dinâmica temporal da expansão urbana na mesorregião Noroeste de Minas Gerais: Análise e tendências com o Índice de Expansão Urbana. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 13(88). <https://doi.org/10.17271/23188472138820255602>.
- SHEN, Y., SU, Z.-W., MALIK, M. Y., UMAR, M., KHAN, Z., & KHAN, M. (2021). Does green investment, financial development and natural resources rent limit carbon emissions? A provincial panel analysis of China. *Science of The Total Environment*, 755, 142516. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142516>.
- SOUZA, C. M. Jr., SHIMBO, J. Z., ROSA, M. R., PARENTE, L. L., ALENCAR, A. A. C., RUDORFF, B. F. T., HASENACK, H., MATSUMOTO, M., FERREIRA, L. G., SOUZA-FILHO, P. W. M., OLIVEIRA, S. W., ROCHA, W. F., FONSECA, A. V. M., BALZANI, C. M., DINIZ, C. G., COSTA, D. A., MONTEIRO, D. P., ROSA, E. R., VÉLEZ-MARTIN, E. & AZEVEDO, T. R. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17). <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.
- STRASSBURG, B., BROOKS, T., FELTRAN-BARBIERI, R., IRIBARREM, A., CROUZEILLES, R., LOYOLA, R., LATAWIEC, A. E., OLIVEIRA FILHO, F. J. B., SCARAMUZZA, C. A. de M., SCARANO, F. R., SOARES-FILHO, B. & BALMFORD, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, 1(0099). <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>.
- TALUKDAR, S., SINGHA, P., MAHATO, S., SHAHFAD, PAL, S., LIOU, Y.-A., & RAHMAN, A. (2020). Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations—A review. *Remote Sensing*, 12(7), 1122. <https://doi.org/10.3390/rs12071135>.
- TAO, Y., TIAN, L., WANG, C. & DAI, W (2023). Simulation of land use change and its impact on carbon storage under multiple scenarios in the Nanjing Metropolitan Circle, China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1102015. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1102015>.
- VARNIER, M. & WEBER, E. J. (2025). Evaluating the Accuracy of Land-Use Change Models for Predicting Vegetation Loss Across Brazilian Biomes. *Land*, 14(3), 560. <https://doi.org/10.3390/land14030560>.

TONDATO ARANTES, L., PEREIRA DOS SANTOS, A., DE PAULA, A. L., DA SILVA JUNIOR, A. X. y DA CUNHA E SILVA, D. C. (2025). Transformações Espaciais e Ambientais no Uso da Terra em João Pinheiro (MG). Dinâmicas e Implicações para o Bioma Cerrado entre 1990 e 2020, 113-134.

- YENGOH, G. T., DENT, D., OLSSON, L., TENGBERG, A. E. & TUCKER III, C. J. (2015). The use of the normalized difference vegetation index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales. *Springer Briefs in Environmental Science*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24112-8>.
- YOUSSEF, Y. M., GEMAIL, K. S., ATIA, H. M. & MAHDY, M. (2024). Insight into land cover dynamics and water challenges under anthropogenic and climatic changes in the eastern Nile Delta: Inference from remote sensing and GIS data. *Science of The Total Environment*, 913. Disponível em [10.1016/j.scitotenv.2023.169690](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169690).
- ZARANDIAN, A., MOHAMMADYARI, F., MIRSANJARI, M. M. & SUZIEDELYTÉ VISOCKIENÉ, J. (2023). Scenario modeling to predict changes in land use/cover using Land Change Modeler and InVEST model: A case study of Karaj Metropolis, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(273). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10740-2>.

TONDATO ARANTES, L., PEREIRA DOS SANTOS, A., DE PAULA, A. L., DA SILVA JUNIOR, A. X. y DA CUNHA E SILVA, D. C. (2025). Transformações Espaciais e Ambientais no Uso da Terra em João Pinheiro (MG). Dinâmicas e Implicações para o Bioma Cerrado entre 1990 e 2020, 113-134.

TONDATO ARANTES, L., PEREIRA DOS SANTOS, A., DE PAULA, A. L., DA SILVA JUNIOR, A. X. y DA CUNHA E SILVA, D. C. (2025). Transformações Espaciais e Ambientais no Uso da Terra em João Pinheiro (MG). Dinâmicas e Implicações para o Bioma Cerrado entre 1990 e 2020, 113-134.

TONDATO ARANTES, L., PEREIRA DOS SANTOS, A., DE PAULA, A. L., DA SILVA JUNIOR, A. X. y DA CUNHA E SILVA, D. C. (2025). Transformações Espaciais e Ambientais no Uso da Terra em João Pinheiro (MG). Dinâmicas e Implicações para o Bioma Cerrado entre 1990 e 2020, 113-134.

TONDATO ARANTES, L., PEREIRA DOS SANTOS, A., DE PAULA, A. L., DA SILVA JUNIOR, A. X. y DA CUNHA E SILVA, D. C. (2025). Transformações Espaciais e Ambientais no Uso da Terra em João Pinheiro (MG). Dinâmicas e Implicações para o Bioma Cerrado entre 1990 e 2020, 113-134.

TONDATO ARANTES, L., PEREIRA DOS SANTOS, A., DE PAULA, A. L., DA SILVA JUNIOR, A. X. y DA CUNHA E SILVA, D. C. (2025). Transformações Espaciais e Ambientais no Uso da Terra em João Pinheiro (MG). Dinâmicas e Implicações para o Bioma Cerrado entre 1990 e 2020, 113-134.