

## ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO DESMATAMENTO EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE NO NORDESTE BRASILEIRO: O CASO DE TIMBIRAS (MA), 1985–2023

**Jayara de Sousa Lima**

Instituto Federal do Maranhão, Especialização em Ensino de Ciências e Matemática, Codó, MA, Brasil  
[jayara.lima@discente.ufma.br](mailto:jayara.lima@discente.ufma.br)

**Stênio Lima Rodrigues**

Instituto Federal do Maranhão, Departamento de Ensino, Pesquisa e Extensão, Codó, MA, Brasil  
[stenio.rodrigues@ifma.edu.br](mailto:stenio.rodrigues@ifma.edu.br)

**Caio Veloso**

Instituto Federal do Maranhão, Departamento de Ensino, Pesquisa e Extensão, Codó, MA, Brasil  
[caio.veloso@ifma.edu.br](mailto:caio.veloso@ifma.edu.br)

### RESUMO

O desmatamento no Cerrado brasileiro representa uma ameaça à biodiversidade. No Maranhão, têm mudanças ambientais por causa da expansão da agropecuária. Deve-se realizar estudos em escala local para se identificar tais transformações no espaço geográfico. Neste artigo, são analisadas as alterações no uso e na cobertura da terra no município de Timbiras entre 1985 e 2023, com foco nas mudanças nas áreas de vegetação florestal, agropecuária, expansão urbana e corpos hídricos. Para isso, foram utilizados dados da plataforma MapBiomas (Coleção 9), processados por meio do software QGIS, com organização gráfica e tabular para análise espacial-temporal. Os resultados indicaram a expansão das áreas agropecuárias, especialmente de pastagens, que cresceram 2.559,31% no período, e a concomitante redução de mais de vinte mil hectares de formações florestais. Também foi observado aumento da mancha urbana e redução de corpos hídricos. O desmatamento foi principalmente impulsionado pela expansão da agropecuária no município. A perda de vegetação nativa, a expansão urbana e a redução de corpos hídricos revelam um processo contínuo de transformação da paisagem natural. Conclui-se que estudos em escala municipal, como este, são necessários para compreender as dinâmicas territoriais e subsidiar políticas públicas voltadas ao uso sustentável do solo e à conservação ambiental.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento. Desmatamento. Cerrado maranhense. Uso sustentável do solo. MapBiomas.

## SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF DEFORESTATION IN A SMALL MUNICIPALITY IN NORTHEASTERN BRAZIL: THE CASE OF TIMBIRAS (MA), 1985–2023

### ABSTRACT

Deforestation in the Brazilian Cerrado poses a significant threat to biodiversity. Municipalities in the MATOPIBA region of the state of Maranhão have experienced intense environmental changes resulting from the expansion of agricultural activities. This underscores the importance of local-scale studies to identify these geographic transformations. This article analyzes changes in land use and land cover in the municipality of Timbiras between 1985 and 2023, focusing on shifts in forest vegetation, agricultural areas, urban expansion, and water bodies. Data from the MapBiomas platform (Collection 9) were processed using QGIS software and organized into graphic and tabular formats for spatio-temporal analysis. The results indicated an expansion of agricultural areas, particularly pastures, which increased by 2,559.31% during the study period. There was also a reduction of over twenty thousand hectares of forest formations. Urban sprawl and a decrease in water bodies were also observed. Deforestation was strongly driven by the expansion of agricultural land in the municipality. The loss of native vegetation, urban growth, and shrinking water bodies reveal a continuous process of natural landscape transformation. Thus, municipal-scale studies are

essential for understanding territorial dynamics and supporting public policies aimed at sustainable land use and environmental conservation.

**Keywords:** Geoprocessing. Deforestation. Maranhão Cerrado. Sustainable land use. MapBiomas.

## INTRODUÇÃO

O desmatamento é um dos desafios ambientais mais urgentes da atualidade, com implicações em larga escala sobre a biodiversidade, o equilíbrio climático e os serviços ecossistêmicos. Estima-se que cerca de 23% da cobertura terrestre mundial já tenha sido degradada, principalmente devido à remoção de vegetação nativa (Kurilova, 2024). Além de contribuir para a perda de habitat e a insegurança alimentar, o desmatamento é responsável por aproximadamente 11% das emissões globais de dióxido de carbono relacionadas ao uso da terra, agravando o aquecimento global (Tanveer et al., 2025). Ele também altera profundamente a qualidade dos solos, reduzindo sua fertilidade e sua capacidade de sequestro de carbono, comprometendo sua sustentabilidade ecológica (Mgelwa et al., 2025).

No Brasil, esse processo é fortemente impulsionado pela expansão da agropecuária e pela adoção de tecnologias agrícolas voltadas à produtividade, como sementes de soja geneticamente modificadas. Entre 2000 e 2017, houve intensificação do uso da terra em áreas anteriormente consideradas economicamente inviáveis, resultando em significativa perda de cobertura vegetal, principalmente em regiões de fronteira agrícola, como o Cerrado e a Amazônia. Apesar de a crescente demanda internacional, especialmente a da China, ter mitigado parcialmente os impactos do avanço tecnológico, ela não eliminou os efeitos sobre a expansão das áreas agrícolas. Municípios do Cerrado e da Amazônia com maior exposição ao ganho de produtividade agrícola apresentaram as maiores perdas de cobertura florestal no período analisado (Carreira; Costa; Pessoa, 2024).

No Cerrado, a situação é ainda mais preocupante. Aproximadamente 43% de sua vegetação nativa já foi convertida em pastagens, monoculturas e infraestrutura (Luiz; Steinke, 2022). A região do MATOPIBA, que abrange partes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, nova fronteira da produção agroexportadora, destaca-se como epicentro desse processo. As práticas de desmatamento com uso de fogo, por exemplo, já impactaram cerca de 20 milhões de hectares entre 2003 e 2020 (Spadoni et al., 2025). Apesar da existência de instrumentos como o Cadastro Ambiental Rural (CAR), os retrocessos nas políticas de proteção e a fragilização da governança ambiental desde 2016 ampliaram as vulnerabilidades do bioma.

O MATOPIBA experimenta uma rápida transformação territorial. A expansão da agropecuária é fomentada por políticas públicas, incentivos fiscais e investimentos em infraestrutura, tornando o MATOPIBA um território estratégico para a produção de commodities, sobretudo de soja. No entanto, essa dinâmica está associada a impactos negativos, como a degradação ambiental, a concentração fundiária, a escassez hídrica e os conflitos com comunidades tradicionais (Agostinho et al., 2023). Essas contradições evidenciam os limites do modelo desenvolvimentista vigente e reforçam a necessidade de estudos que aprofundem a compreensão dos efeitos locais desse avanço.

Nesse cenário, os municípios de pequeno porte merecem atenção especial, pois, embora desempenhem um papel relevante nas mudanças de uso e de cobertura da terra, continuam invisíveis nas análises macrorregionais. Essas localidades estão diretamente expostas à expansão da fronteira agrícola e carecem de recursos institucionais para o monitoramento ambiental e o planejamento territorial. Compreender suas especificidades é fundamental para construir estratégias mais justas e eficazes de conservação e desenvolvimento, superando o viés generalista das abordagens amplas.

Nesse sentido, este estudo tem como objeto de análise o município de Timbiras, localizado na porção centro-oeste do Maranhão e inserido no território do MATOPIBA. Embora não seja um polo consolidado da agropecuária, o município tem vivenciado transformações significativas no uso da terra, influenciado por dinâmicas locais e externas. Tais mudanças repercutem diretamente nos ecossistemas, nos recursos hídricos e nos modos de vida tradicionais, como o extrativismo e a agricultura familiar. Analisar o caso de Timbiras traz uma nova abordagem para o debate sobre o desmatamento em pequenos municípios da fronteira agrícola com o potencial de subsidiar políticas públicas adaptadas à realidade municipal.

Para compreender as transformações no uso e na cobertura da terra em escala local, especialmente em municípios como Timbiras (MA), o uso de geotecnologias tem se mostrado relevante. Ferramentas como os sistemas de informações geográficas (SIG) e o sensoriamento remoto possibilitam o monitoramento

contínuo e sistemático do território, permitindo a análise temporal e espacial das alterações ambientais. Nesse contexto, a plataforma MapBiomas se destaca como uma importante fonte de dados ao oferecer, com base em imagens de satélite processadas por algoritmos de aprendizado de máquina, séries históricas anuais da cobertura e do uso da terra em todo o Brasil (Alencar et al., 2020). Além de ser acessível, a ferramenta fortalece o planejamento ambiental, ao oferecer suporte técnico e científico à tomada de decisão em escala local (SILVA et al., 2025).

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo analisar as alterações no uso e na cobertura da terra no município de Timbiras (MA) entre 1985 e 2023, com foco na dinâmica do desmatamento e na expansão de atividades antrópicas, visando compreender os impactos socioambientais e subsidiar estratégias de ordenamento territorial.

Nesse sentido, este artigo analisa as mudanças no uso e na cobertura da terra em Timbiras (MA) entre 1985 e 2023, com foco nas transformações das áreas de vegetação florestal, agropecuária, expansão urbana e corpos hídricos.

Para alcançar esse objetivo, foi adotada uma abordagem quali-quantitativa, com o uso de dados da Coleção 9 do MapBiomas processados no software QGIS. Com base nesses dados, foram elaborados mapas, gráficos e tabelas para analisar, em perspectiva espaço-temporal, as transformações ocorridas no território de Timbiras ao longo de quase quatro décadas.

A originalidade deste estudo está no foco em um município de pequeno porte, ainda pouco explorado na literatura sobre desmatamento no Cerrado. Ao apresentar evidências em escala local, esta pesquisa amplia a compreensão dos impactos da expansão agropecuária em áreas menos visíveis da fronteira agrícola brasileira e fornece subsídios relevantes para o debate ambiental e o planejamento regional sustentável.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### *Desmatamento no Brasil*

O desmatamento no Brasil tem origem no período colonial e se intensificou ao longo dos séculos, alcançando proporções críticas nas últimas décadas. Em 2020, o país registrou o maior índice de desmatamento dos últimos 15 anos, com a perda de 1.085.100 hectares, segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (INPE, 2020).

Essa prática, que consiste na remoção total ou parcial da vegetação nativa, pode ser natural, decorrente de incêndios causados por eventos climáticos, ou antrópica, motivada principalmente pela expansão agrícola, pecuária, extração de madeira e implantação de infraestrutura (Campoli, 2023). Além das causas diretas, o desmatamento também está associado a fatores indiretos, como pressões econômicas, políticas, tecnológicas e institucionais, em um contexto sociopolítico complexo (Helmut et al., 2001; Geist et al., 2002).

Quando realizado sem autorização dos órgãos ambientais competentes, o desmatamento é considerado crime ambiental, conforme a Lei n.º 9.605/1998 (Brasil, 1998). No entanto, a fiscalização ambiental insuficiente e a impunidade têm contribuído para a banalização da destruição dos ecossistemas (Leite, 2018). O Brasil, por abrigar seis biomas — Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pampa e Pantanal —, é um dos países mais ricos em biodiversidade do planeta (IBGE, 2023). Esses biomas apresentam uma grande variedade de fauna e flora, além de funções ecológicas essenciais à manutenção da vida e ao equilíbrio climático (Ricklefs, 2016). No entanto, dados do MapBiomas (2020) mostram que o desmatamento cresceu 13,6% em 2020 em relação ao ano anterior, afetando todos os biomas, especialmente a Caatinga (405%), a Mata Atlântica (125%) e o Pampa (99%).

As principais causas da destruição florestal no país são o avanço da agropecuária e o corte ilegal de árvores. Estima-se que a agricultura comercial seja responsável por cerca de 70% do desmatamento em países tropicais e subtropicais (Forest Trends, 2014). Fatores como urbanização, agricultura itinerante e queimadas também contribuem significativamente para a perda de cobertura vegetal (Ramos et al., 2015). De acordo com Terra et al. (2019), a agricultura e a pecuária ocupam cerca de 37% da superfície terrestre, constituindo os principais usos do solo no Brasil. Para Oliveira e Dayrel (2021), o desmatamento global resulta da combinação de incêndios, exploração comercial de madeira e expansão agropecuária.

A degradação ambiental causada pelo desmatamento acarreta consequências graves, como a perda de biodiversidade, alterações no regime climático, erosão do solo, escassez de recursos hídricos e aumento da emissão de gases de efeito estufa (Azevedo et al., 2021). Além disso, há impactos sociais, como a expulsão de comunidades tradicionais, o aumento da pobreza e a maior exposição a doenças infecciosas.

(Angelo et al., 2013; Fiocruz, 2019). No Maranhão, por exemplo, foram registrados mais de 5.400 focos de queimadas somente em agosto de 2015, refletindo a intensificação das pressões sobre os biomas locais (IMESC, 2016).

Entre as regiões mais afetadas pela expansão do agronegócio está o MATOPIBA. Criada oficialmente pela Lei nº 8.447/2015, ela ocupa 91% do bioma Cerrado e se caracteriza por ter solos férteis, topografia favorável e grande potencial agrícola (Sano et al., 2007; Embrapa, 2022). Nas últimas décadas, no entanto, a região lidera os índices de desmatamento no Cerrado. Entre agosto de 2020 e julho de 2021, mais de 5.227 km<sup>2</sup> de vegetação nativa foram suprimidos, principalmente para a produção de commodities agrícolas, como soja, milho e algodão (IPAM, 2022). A disponibilidade de terras planas e profundas, combinada ao clima favorável, favorece o crescimento exponencial da agropecuária e, consequentemente, a intensificação da supressão vegetal (Borghi et al., 2014; Embrapa, 2014).

### ***Desmatamento no Maranhão***

Com uma área de 329.651,50 km<sup>2</sup>, o Maranhão é o segundo maior estado da região Nordeste em extensão territorial, ficando atrás somente da Bahia (IBGE, 2021). Situado em uma zona de transição ecológica, o estado abriga diferentes formações vegetais, como a Mata dos Cocais, os manguezais no litoral, a Floresta Amazônica na porção oeste e o Cerrado ao sul e ao leste. Tudo isso caracteriza o estado por sua elevada diversidade ambiental.

O Cerrado, sendo o segundo maior bioma da América do Sul, cobrindo cerca de 22% do território brasileiro (MMA, 2022), é o bioma predominante no estado. De acordo com Spinelli (2016), o Cerrado maranhense abriga uma rica biodiversidade, mas enfrenta crescentes pressões decorrentes da expansão de atividades econômicas. Dados do IBGE indicam que 1.061 espécies de plantas e animais ameaçados de extinção ocorrem no bioma, correspondendo a 19,7% do total nacional.

Entre 2019 e julho de 2020, o Maranhão registrou a perda de 29 mil hectares de vegetação na Amazônia Legal e de mais de 1,8 mil km<sup>2</sup> no Cerrado, segundo o INPE (2020). De acordo com o MapBiomass, o Maranhão foi o estado que mais desmatou no Nordeste em 2020, com 167.366 hectares convertidos principalmente para atividades agropecuárias. Na Amazônia Legal, a principal causa de desmatamento são os incêndios criminosos, frequentemente vinculados à exploração ilegal de madeira (Silva et al., 2020). No Cerrado, as queimadas e o uso do fogo para limpeza de áreas agrícolas são práticas recorrentes, com uma média anual de 19.729 focos no estado (Bezerra et al., 2018).

No ranking nacional dos municípios que mais desmataram o bioma Cerrado, destacam-se as cidades maranhenses de Balsas, Grajaú, Caxias e Aldeias Altas (IPAM, 2022). De acordo com Sales et al. (2019), os municípios de Grajaú, Mirador, Balsas e Alto Parnaíba apresentaram as principais taxas de incidência de queimadas no estado. A expansão do agronegócio, caracterizada pela disseminação de monoculturas de soja e eucalipto, alterou profundamente a paisagem do leste maranhense, sobretudo a partir dos anos 1990 (SANTOS, 2006). Essa expansão ocupou áreas anteriormente destinadas a cultivos tradicionais e à pecuária familiar.

O município de Timbiras, situado no leste maranhense e pertencente à microrregião de Codó, possui uma área de 1.486,58 km<sup>2</sup>, totalmente inserida no domínio do Cerrado (IBGE, 2022). Sua vegetação inclui campos, florestas ombrófilas e formações de transição com presença de babaçuais. Uma das áreas mais sensíveis do município é a região do rio Itapecuru, que atravessa diversos municípios com importância ecológica e socioeconômica significativa (Rodrigues, 2017).

Timbiras apresenta índices de desmatamento inferiores aos de municípios vizinhos, como Codó, Chapadinha e Coroatá. Essa diferença pode ser explicada por sua menor extensão territorial. No entanto, a perda de vegetação nas margens do rio Itapecuru é preocupante, pois se trata de uma área de ecótono — zona de transição entre os biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga — que apresenta elevada riqueza biológica e valor estratégico para a conservação (Ricklefs, 2016).

Em Codó, município vizinho, um estudo realizado por Vieira (2019) identificou um número elevado de queimadas em áreas nativas, principalmente nas proximidades da Associação Boa União, com o objetivo de preparar o solo para o cultivo de arroz, milho e feijão — prática também observada em Timbiras. Além disso, Lages (2011) destaca o aumento progressivo da poluição no entorno do rio Itapecuru, reforçando a necessidade de ações preventivas e de fiscalização ambiental.

Para enfrentar esses desafios, o município de Timbiras aprovou a Lei nº 249/2017, que institui o Código Municipal de Meio Ambiente, com o objetivo de promover políticas de proteção ambiental, de combate ao

desmatamento e de incentivo ao desenvolvimento sustentável (Timbiras, 2017). Nesse contexto, compreender o desmatamento e suas possíveis causas é essencial para a proposição de ações eficazes que contribuam para mitigar essa problemática.

## METODOLOGIA

### **Abrangência do estudo**

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa descritiva, com abordagem quali-quantitativa, fundamentada na análise de dados secundários. De acordo com Gil (2008), as pesquisas descritivas visam, sobretudo, caracterizar fenômenos ou estabelecer relações entre variáveis, sendo adequadas para analisar transformações em séries temporais.

A natureza quantitativa deste trabalho manifesta-se por meio da utilização de dados numéricos provenientes das coleções anuais do projeto MapBiomas. Esses dados permitem identificar tendências, padrões e variações espaciais e temporais no uso e na cobertura da terra. Por outro lado, a abordagem qualitativa foi incorporada à medida que se buscou compreender os processos socioambientais subjacentes às transformações territoriais observadas, considerando os contextos regionais e as ações antrópicas que moldam a paisagem (Minayo, 2001). Conforme destacam Creswell e Clark (2013), a integração de dados quantitativos e qualitativos em uma abordagem mista possibilita uma análise mais abrangente e contextualizada. Dessa forma, este estudo considera a objetividade dos dados geoespaciais na interpretação crítica das dinâmicas territoriais, proporcionando uma compreensão mais consistente e fundamentada das modificações na paisagem do município pesquisado.

O estudo foi realizado no município de Timbiras, localizado no estado do Maranhão. Ele está inserido na região centro-leste do estado e pertence à mesorregião Leste. Possui uma área territorial de aproximadamente 1.486,58 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 25 mil habitantes. Sua economia é baseada principalmente na agricultura familiar, no extrativismo do babaçu e em pequenas atividades comerciais. O município está inserido no bioma Cerrado e apresenta paisagens compostas por formações florestais, savânicas, áreas de pastagem, agricultura e vegetação de transição (IBGE, 2022). A seguir, a Figura 1 apresenta um mapa de localização do município.

A representação cartográfica da Figura 1 destaca os limites territoriais de Timbiras e sua área de abrangência, bem como os principais eixos rodoviários que o interligam a outros municípios maranhenses. A malha viária estadual indicada reforça a importância logística da região para atividades produtivas e para o escoamento agrícola. Sua localização central na microrregião reforça sua relevância no contexto regional. O município faz divisa com Codó, ao sul; Peritoró e Coroatá, a oeste; Vargem Grande, ao norte; e Afonso Cunha, Chapadinha e Mata Roma, a leste e nordeste. É atravessado por diversas rodovias estaduais, como as MA-026, MA-235 e MA-123, que facilitam o acesso e a conectividade regional.

O recorte temporal adotado nesta pesquisa abrange o período de 1985 a 2023, correspondente à Coleção 9 da série histórica do MapBiomas. Essa base de dados é consolidada e atualizada, permitindo a análise contínua e comparativa das transformações na cobertura e no uso da terra ao longo de quase quatro décadas. Esse intervalo foi selecionado por oferecer um panorama abrangente e representativo das dinâmicas territoriais no município, sobretudo no que se refere ao avanço do desmatamento, à expansão das atividades agropecuárias e às modificações antrópicas da paisagem natural. Esse recorte temporal possibilita identificar tendências de uso da terra e os efeitos da intensificação das pressões antrópicas, oferecendo subsídios robustos para análises ambientais e geográficas.

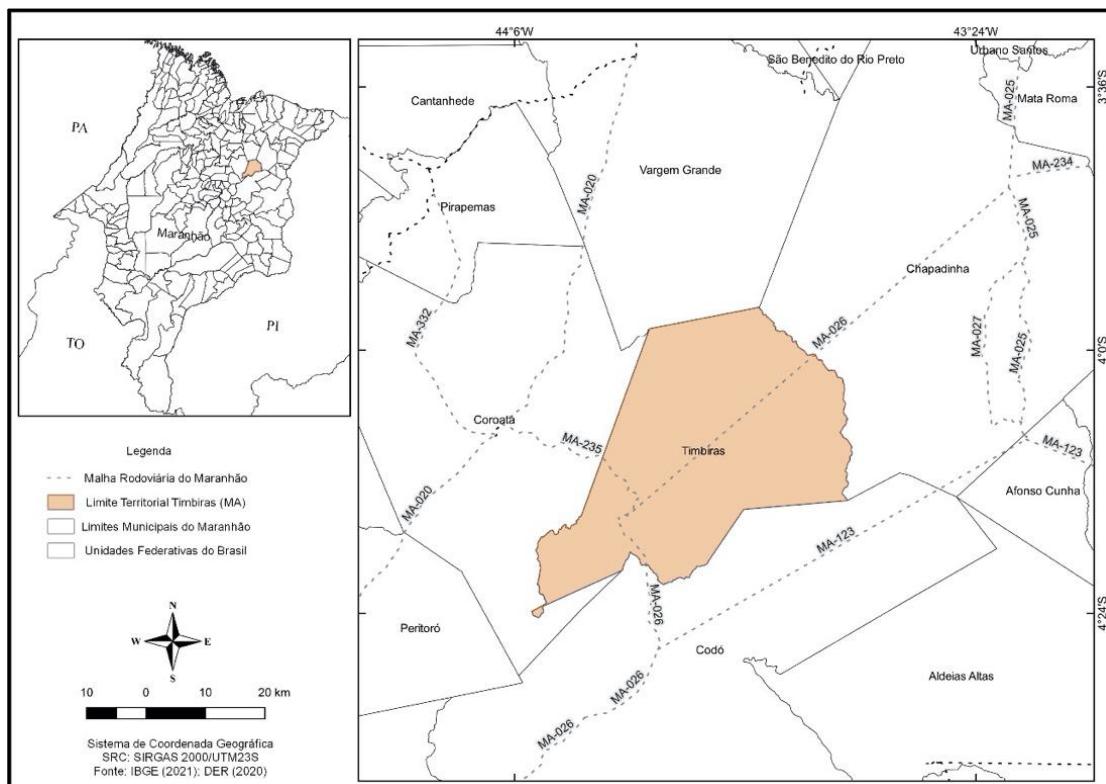
### **Fonte de coleta de dados**

Os dados utilizados foram obtidos a partir da coleção nove do projeto MapBiomas, uma iniciativa colaborativa entre universidades, ONGs e empresas de tecnologia que mapeia anualmente o uso e a cobertura da terra em todo o território brasileiro com base em sensoriamento remoto e aprendizado de máquina (FRANTZ, 2021).

A metodologia adotada pelo MapBiomas para identificar mudanças no uso e na cobertura do solo no bioma Cerrado consiste na análise de séries temporais de imagens de satélite, principalmente do programa Landsat, processadas por meio da plataforma Google Earth Engine. Essa abordagem permite classificar anualmente a cobertura do solo entre 1985 e os anos mais recentes, utilizando algoritmos de aprendizado

de máquina, como o Random Forest. As imagens são tratadas em mosaicos compostos e harmonizados, facilitando a padronização e a interpretação dos dados. A classificação é feita com base em uma legenda nacional unificada, composta por mais de 20 classes de uso e cobertura do solo, possibilitando a comparação entre biomas, anos e regiões distintas (Alencar et al., 2020).

Figura 1 - Município de Timbiras (MA): Representação da localização, 2023



Fonte: IBGE, 2021; TIMBIRAS, 2023. Organização: os autores, 2023.

Essa abordagem tem permitido identificar mudanças no uso do solo, incluindo a quantificação da conversão de vegetação nativa em áreas destinadas à agropecuária, mesmo em municípios de pequeno porte. Considerando a complexidade ecológica do Cerrado, o MapBiomas utiliza uma estratégia multiescala, integrando variáveis auxiliares, como dados climáticos, altimétricos e estatísticas agrícolas, para aprimorar a precisão das classificações. O monitoramento contínuo por meio de matrizes de transição possibilita a observação das trajetórias de mudança, como a substituição de formações savânicas por pastagens ou cultivos agrícolas. Além disso, os dados são validados por especialistas locais e, sempre que possível, calibrados com observações de campo. Essa combinação de métodos é necessária para lidar com a heterogeneidade ambiental das savanas e produzir mapas de alta confiabilidade em regiões como o Cerrado brasileiro (Silva et al., 2025).

O uso dessa metodologia permitiu compreender, com maior detalhamento, as dinâmicas territoriais que caracterizam o município ao longo de quase quatro décadas, considerando a espacialização, a temporalidade e a intensidade das transformações no uso e na cobertura da terra em escala local. A escolha da base de dados do MapBiomas justifica-se por sua ampla aceitação na comunidade científica, pela atualização contínua das séries temporais, pela padronização metodológica e pela capacidade de fornecer informações compatíveis nos níveis nacional, regional e municipal.

A plataforma é uma das principais iniciativas de mapeamento multitemporal da cobertura e do uso da terra no Brasil, possibilitando análises comparativas e subsidiando pesquisas ambientais, geográficas e de planejamento territorial. Sua metodologia, baseada em imagens de satélite e em técnicas de sensoriamento remoto e de classificação automática, assegura maior consistência, transparência e reproduzibilidade dos resultados (SOUZA JÚNIOR et al., 2020). Dessa forma, o uso da plataforma possibilitou uma leitura crítica

e detalhada das transformações antrópicas e ambientais ocorridas no município estudado, contribuindo para a compreensão das pressões exercidas sobre os ecossistemas locais e suas implicações para a gestão territorial.

Foram observadas as seguintes classes principais: vegetação natural (formações florestais e savânicas), pastagens, áreas de agricultura, áreas urbanizadas, áreas não vegetadas e corpos d'água. Elas foram utilizadas para demonstrar as mudanças no uso e na cobertura da terra em âmbito local. Elas são amplamente reconhecidas na literatura por representarem os principais tipos do território brasileiro, conforme destacam Souza Júnior et al. (2020), e estão padronizadas nas coleções do Projeto MapBiomass, garantindo comparabilidade, consistência metodológica e reconhecimento técnico-científico.

A inclusão da vegetação natural permite avaliar os processos de desmatamento e substituição da cobertura original. As classes de pastagem e agricultura refletem a intensificação das atividades agropecuárias. As áreas urbanizadas demonstram a expansão urbana e as pressões antrópicas, enquanto as áreas não vegetadas e os corpos d'água contribuem para a compreensão dos impactos associados à degradação ambiental e à dinâmica hídrica local. Portanto, essas classes permitem capturar com precisão os principais vetores de mudança na paisagem e fornecem subsídios analíticos para diagnósticos ambientais e planejamentos territoriais.

As informações foram extraídas nos formatos raster (.tiff) e tabular (.csv), permitindo a combinação de análises espaciais e séries de dados para quantificar áreas mapeadas. Apesar de a plataforma MapBiomass oferecer dados de alta resolução e ampla cobertura temporal, é importante reconhecer limitações metodológicas, como a complexidade na distinção entre algumas classes, principalmente em áreas de transição ecológica.

### **Tratamento dos dados**

As imagens extraídas da plataforma foram georreferenciadas e processadas por meio do software livre QGIS (Open Source Geospatial Foundation Project, 2025), versão 3.4.3, a partir do qual foram elaboradas representações cartográficas referentes às mudanças no uso da terra nos anos de 1985 e 2023. Também foi realizada a vetorização e o cálculo das áreas correspondentes a cada classe de uso da terra.

Conforme a abordagem de Rodrigues, Gomes e Cerqueira (2022), os dados quantitativos referentes às áreas ocupadas por cada classe de uso e cobertura do solo foram organizados em planilhas eletrônicas no Microsoft Excel, o que permitiu a aplicação de cálculos de variação absoluta e percentual ao longo do período de 1985 a 2023 em cada classe. Essa sistematização quantitativa possibilitou a identificação de padrões de expansão ou retração das classes mapeadas.

### **Análise dos dados**

A análise dos dados foi estruturada em três abordagens complementares:

Cartográfica: foram elaborados mapas temáticos de uso da terra utilizando uma escala gráfica com intervalos de 7,5 km e uma extensão total de 15 km para os anos de 1985 e 2023. Esses mapas possibilitaram a visualização das mudanças espaciais ocorridas no município ao longo do tempo. Essa representação visual permitiu evidenciar, conforme proposto por Latour (2007), as transformações territoriais sob a perspectiva do "antes" e "depois".

- Tabular: os dados extraídos do MapBiomass foram organizados em tabelas que sistematizam as áreas (em hectares) ocupadas por cada classe de uso e cobertura da terra no intervalo de anos selecionado. Essa organização permitiu o levantamento absoluto das áreas e a análise comparativa entre os períodos, possibilitando o cálculo das variações relativas (percentuais) e absolutas (em hectares) das transformações ocorridas. Isso facilitou a identificação dos vetores de pressão sobre os diferentes tipos de cobertura vegetal.

- Gráfica: foram produzidos gráficos de tendência e de variação percentual que auxiliaram na interpretação quantitativa das alterações no uso e na cobertura da terra em Timbiras (MA), tornando visíveis os padrões de expansão ou retração das diferentes classes analisadas. Isso favoreceu a análise temporal das transformações territoriais e contribuiu para a visualização clara das tendências por meio da construção de gráficos. Os gráficos facilitaram a interpretação das dinâmicas espaciais, possibilitando uma leitura mais acessível dos dados e uma compreensão mais aprofundada dos processos de mudança no território.

A triangulação dos dados por meio das abordagens cartográfica, tabular e gráfica permitiu uma análise integrada e consistente das dinâmicas territoriais no município de Timbiras (MA). A articulação entre essas três formas de representação possibilitou a validação cruzada das informações obtidas: os mapas revelaram as alterações espaciais de maneira visual e georreferenciada, os dados contidos na tabela quantificaram com precisão as áreas envolvidas nas mudanças e os gráficos destacaram as tendências e oscilações ao longo do tempo. Tal procedimento conferiu robustez ao estudo, possibilitando não somente identificar o que mudou no território, mas também a intensidade, a direção e o ritmo das transformações. Dessa maneira, foi possível compreender os processos de uso e cobertura da terra sob diferentes perspectivas analíticas, promovendo uma leitura mais ampla e fundamentada das pressões antrópicas e de suas implicações socioambientais.

## RESULTADOS

A Figura 2 mostra a evolução do uso e da cobertura do solo no município de Timbiras (MA) entre 1985 e 2023, com base nos dados do projeto MapBiomass. Os mapas evidenciam as transformações ocorridas no território ao longo de 38 anos, demonstrando alterações significativas nas classes de uso da terra, principalmente no que se refere à expansão da agropecuária e à retração da vegetação nativa.

Para tornar essas mudanças mais comprehensíveis, os mapas foram estruturados com a mesma escala e simbologia padronizada, permitindo uma leitura comparativa entre os períodos. A legenda detalha as classes de uso e ocupação do solo e os limites municipais e estaduais foram mantidos para facilitar a localização espacial.

Entre as principais classes identificadas na Figura 2, estão: formação florestal, formação savântica, agropecuária (agrupando agricultura e pastagem), área urbanizada, além de formação campestre, outras áreas não vegetadas, mineração e corpos hídricos. Os limites municipais e estaduais também estão representados, possibilitando a contextualização geográfica da área de estudo.

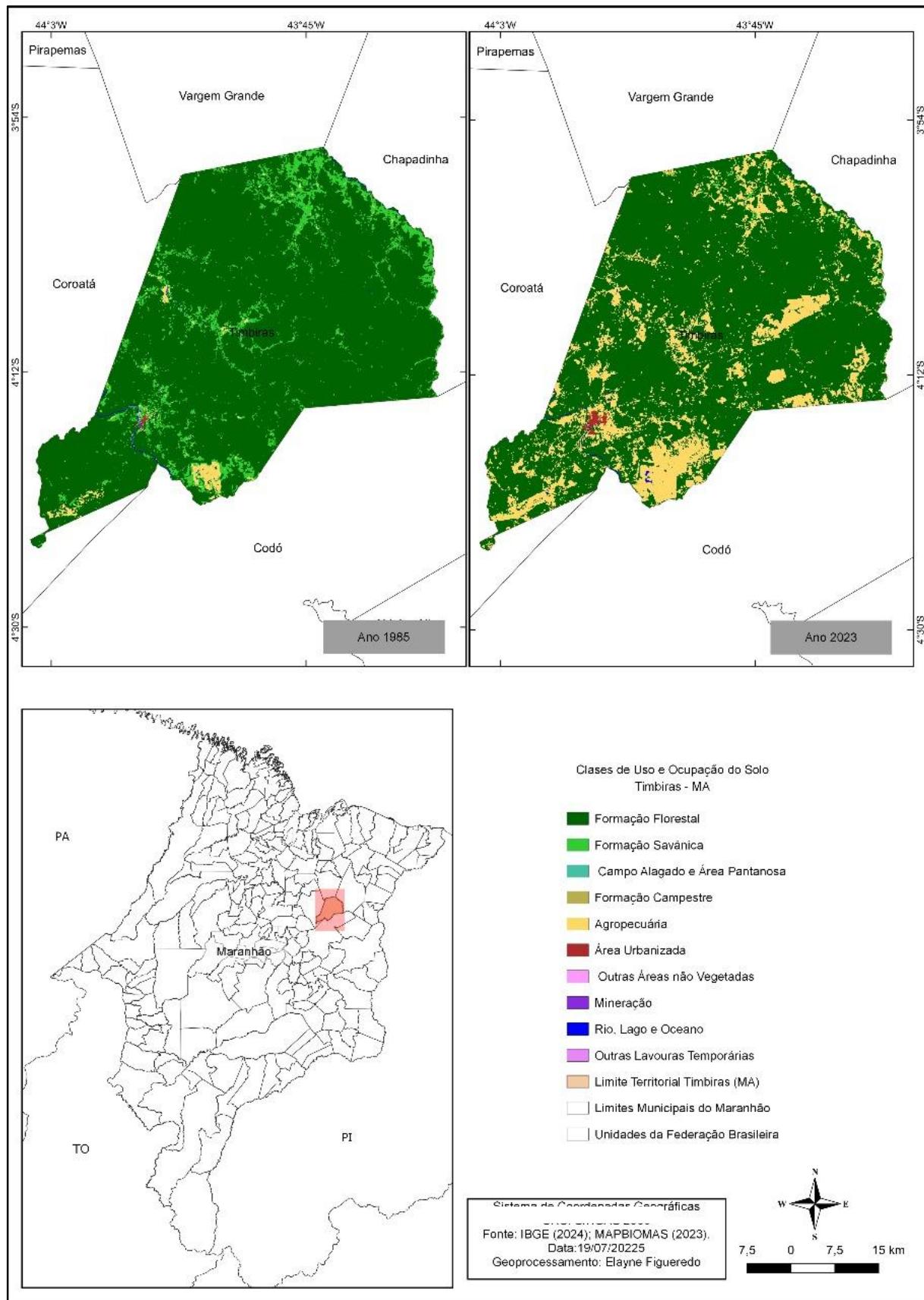
A Figura 2 apresenta mapas temáticos do município de Timbiras (MA) referentes aos anos de 1985 e 2023, revelando mudanças significativas no uso e na cobertura do solo. Em 1985, predominavam áreas de formação florestal (verde-escuro), cobrindo a maior parte do território. No entanto, ao longo das décadas, observa-se uma expressiva conversão dessas áreas naturais para atividades agropecuárias, especialmente nas porções centro-sul e leste do município, onde a paisagem florestal deu lugar à atividade agrícola. Destaca-se também a expansão das áreas urbanizadas (vermelho), particularmente nas imediações da sede municipal, evidenciando o crescimento demográfico e o adensamento urbano. A presença pontual de formações savânticas (verde claro) e áreas campestres (amarelo claro) permaneceu relativamente estável, enquanto as demais classes apresentaram ocupações não muito representativas em comparação com as demais áreas mencionadas.

A análise espacial evidencia principalmente a substituição da vegetação nativa por atividades antrópicas, sobretudo agropecuárias, refletindo a pressão sobre os ecossistemas locais. Essa representação cartográfica será aprofundada com dados quantitativos em tabelas e gráficos subsequentes, que quantificam as transformações em hectares e percentuais, fortalecendo a triangulação dos dados e possibilitando uma análise crítica e integrada da dinâmica territorial de Timbiras.

Durante o período de análise (1985-2023), observa-se um processo significativo de substituição da vegetação nativa por áreas destinadas à agropecuária no município estudado, conforme evidenciado nos mapas da Figura 2.

Em 1985, a paisagem era amplamente dominada por formações florestais e savânticas, que juntas cobriam a maior parte do território municipal. No entanto, ao longo das décadas, essas formações naturais foram sistematicamente suprimidas, dando lugar a usos antrópicos, especialmente a expansão das atividades agropecuárias. Esse avanço é particularmente visível nas porções centro-sul e leste do município, onde a cobertura vegetal foi substituída por pastagens e cultivos. Tal expansão é coerente com o crescimento das atividades agrícolas e pecuárias observado em outros municípios do bioma Cerrado. Moreira e Pinheiro (2021) identificaram uma perda expressiva da vegetação nativa na região de Palmas, no estado do Tocantins, em função da intensificação agropecuária.

Figura 2 - Município de Timbiras (MA): Evolução do uso e cobertura da terra, 2023



Fonte: IBGE, 2022; TIMBIRAS, 2023. Organização: os autores, 2023.

Almeida e Mota (2021) analisaram as mudanças no uso do solo no Cerrado brasileiro entre 2000 e 2020 e identificaram que o aumento das áreas agrícolas, especialmente de soja, milho e algodão, tem ocorrido principalmente pela conversão de pastagens naturais em áreas cultivadas. Apesar da queda das taxas anuais de desmatamento no período, os autores destacam que essa dinâmica não resultou em uma diminuição significativa da supressão vegetal na região do MATOPIBA, onde a pressão agrícola permanece alta.

Outro aspecto relevante observado nos mapas da Figura 2 é a expansão da área urbanizada, que se torna mais expressiva em 2023. Esse crescimento está diretamente associado ao aumento populacional do município de Timbiras, cuja população passou de aproximadamente 21.145 habitantes em 1985 para 26.484 em 2022, segundo dados do censo demográfico do IBGE (2022). Esse incremento, embora moderado em termos absolutos, implicou uma maior demanda por habitação, infraestrutura e serviços, resultando na ocupação de novas áreas anteriormente cobertas por vegetação nativa, sobretudo nas proximidades do núcleo urbano central.

O adensamento populacional e a expansão urbana não planejada exercem forte pressão sobre o uso e a ocupação do solo, promovendo a fragmentação de ecossistemas e a degradação de áreas ambientalmente sensíveis. Em municípios de pequeno porte, como Timbiras, onde muitas vezes não há políticas efetivas de ordenamento territorial e controle do crescimento urbano, essa expansão ocorre de maneira desordenada, causando impactos como a impermeabilização do solo, o aumento do escoamento superficial e o risco de comprometimento da qualidade dos corpos hídricos (França, 2021). Segundo Gomes e Oliveira (2021), esse padrão de crescimento urbano é recorrente em cidades do interior maranhense, reforçando a necessidade de integrar critérios ambientais aos processos de planejamento urbano e rural.

Aragão et al. (2022) afirmam que a urbanização no Cerrado provoca impactos ambientais significativos, como a impermeabilização do solo, a fragmentação de habitats e a elevação das temperaturas locais. Os autores ressaltam que o crescimento urbano desordenado, aliado à ausência de políticas de planejamento territorial eficazes, intensifica os processos de degradação ambiental e contribui para a substituição de áreas naturais por usos antrópicos, agravando a perda de biodiversidade no bioma.

As demais classes identificadas a partir da plataforma, como campo alagado, área pantanosa, formação campestre, mineração e outras lavouras temporárias, não apresentaram variações visuais significativas nos mapas do período analisado. Isso se deve ao fato de que essas classes apresentam baixa aptidão para uso no contexto do município analisado. Além disso, a ocorrência de áreas como campos alagados e formações campestres é limitada ao nível local, contribuindo para sua baixa representatividade e reduzida variação espacial ao longo do tempo.

No caso da mineração, a estabilidade da classe pode refletir a ausência de novos empreendimentos licenciados ou de grandes descobertas minerais na região no período analisado. Quanto às outras lavouras temporárias, sua permanência com baixa variação pode estar relacionada à priorização de culturas mais lucrativas, como a soja e o milho, que dominam o modelo produtivo das áreas de expansão agrícola no MATOPIBA. Dessa forma, as mudanças no uso e na cobertura da terra parecem estar concentradas em classes mais diretamente associadas à pressão antrópica intensiva, como a agropecuária e as áreas urbanas, enquanto as demais mantêm relativa constância espacial.

A Tabela 1 a seguir apresenta a evolução quantitativa das classes de uso e cobertura da terra no município de Timbiras (MA) ao longo dos anos analisados. Os dados, expressos em valores absolutos (hectares) e relativos (percentuais), permitem visualizar as variações na extensão ocupada por cada classe.

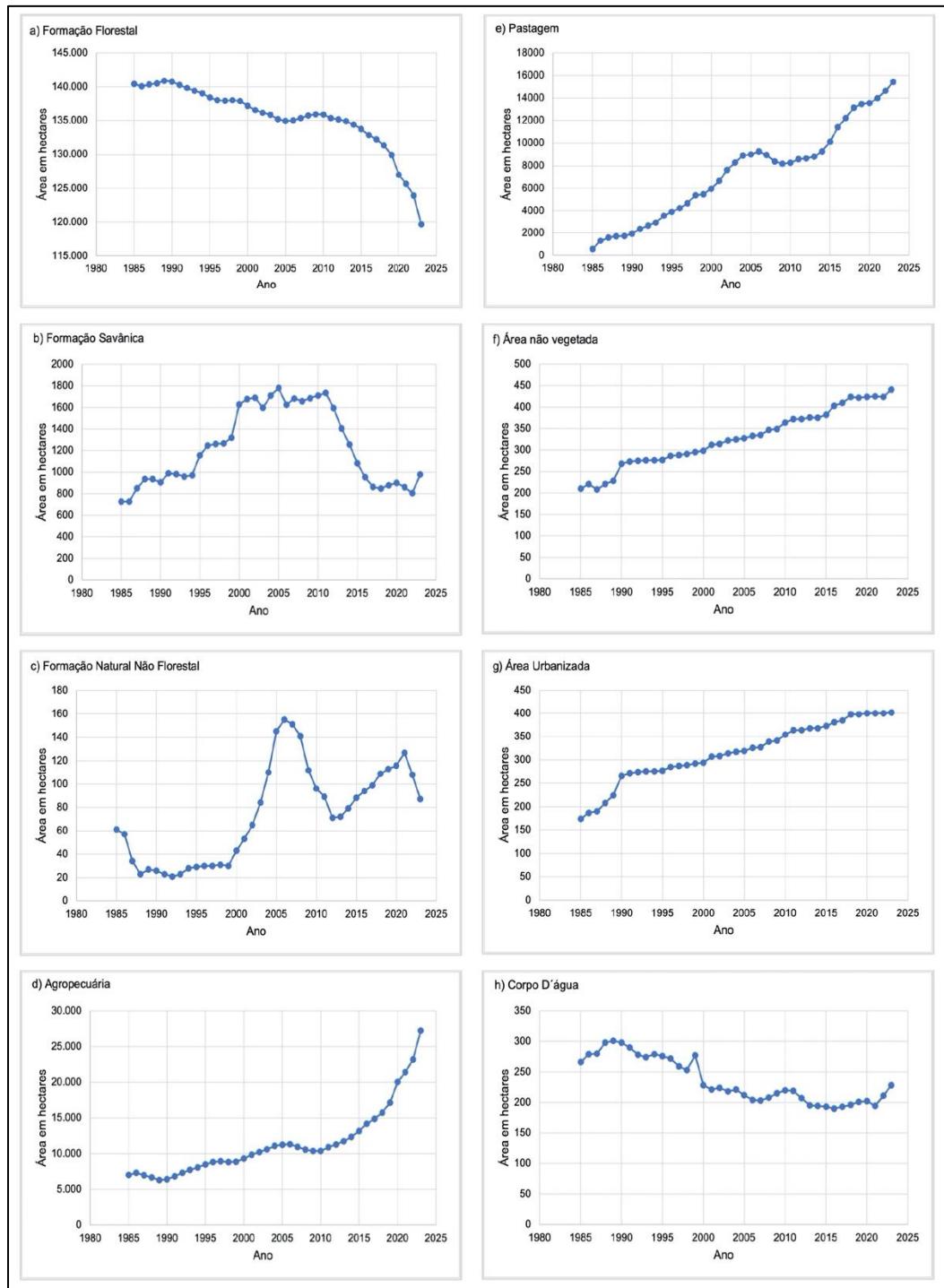
Tabela 1 - Timbiras (MA): Quantificação do uso e cobertura da terra em hectares, 1985-2023

| Classe                         | 1985 (ha) | Var. 85→04 (%) | 2004 (ha) | Var. 04→23 (%) | 2023 (ha) | Var. 85→23 (%) |
|--------------------------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| Formação Florestal             | 140.135   | -3,51%         | 135.211   | -11,49%        | 119.673   | -14,60%        |
| Formação Savânica              | 726       | 135,39%        | 1.709     | -42,71%        | 979       | 34,84%         |
| Formação Natural Não Florestal | 61        | 89,32% %       | 110       | -20,90%        | 87        | 42,62%         |
| Agropecuária                   | 6.986     | 58,64%         | 11.083    | 145,87%        | 27.250    | 290,06%        |
| Pastagem                       | 580       | 1.433%         | 8.896     | 73,38%         | 15.424    | 2.559,31%      |
| Área Não Vegetada              | 210       | 54,76%         | 325       | 35,69%         | 441       | 110%           |
| Área Urbanizada                | 174       | 82,18%         | 317       | 26,81%         | 402       | 131,03%        |
| Outras Áreas                   | 36        | -80,55%        | 7         | 171,42%        | 19        | -47,22%        |
| Corpos d'Água                  | 266       | -17,84%        | 221       | 3,16%          | 228       | -14,28%        |

Fonte: MapBiomass, 2023; TIMBIRAS, 2023. Elaboração: os autores (2025).

A análise dos dados apresentados na Tabela 1 confirma alterações expressivas nas classes de uso e cobertura da terra em Timbiras/MA ao longo das últimas três décadas, refletindo um processo contínuo de transformação da paisagem natural. As mudanças mais relevantes, em relação às quantidades de áreas perdidas ou expandidas, ocorreram nas classes de vegetação nativa (Formação Florestal) e nas classes associadas à agropecuária (Agricultura e Pastagem), respectivamente. Com o objetivo de facilitar a compreensão da evolução de cada classe ao longo do período analisado, elaborou-se a Figura 3, apresentada a seguir.

Figura 3 - Município de Timbiras (MA): Evolução das classes de uso e cobertura da terra, 1985–2023



Fonte: MapBiomas, 2023; TIMBIRAS, 2023. Elaboração: os autores (2025).

Os oito gráficos que compõem a Figura 3 demonstram transformações no uso e na cobertura da terra ao longo do período de 1985 a 2023. As classes naturais, como as formações florestais, savânicas e não florestais, apresentam uma tendência geral de redução ou oscilação, refletindo o avanço das atividades antrópicas. A formação florestal, por exemplo, sofreu uma queda constante em sua área, enquanto as formações savânicas e não florestais, embora tenham apresentado crescimento em determinados períodos, registraram reduções acentuadas nos últimos anos. Os corpos d'água, por sua

vez, apresentaram oscilações menores, com tendência de redução, o que está associado às mudanças no uso do solo e à pressão sobre os recursos hídricos.

Por outro lado, as classes relacionadas às atividades humanas, como a agropecuária, as pastagens e as áreas urbanizadas, evidenciam crescimento expressivo e contínuo. A agropecuária foi a classe que mais se expandiu, apresentando aumento acentuado em relação ao período inicial, seguida pela pastagem, que manteve crescimento constante. Áreas não vegetadas e urbanizadas também se ampliaram, embora em menor magnitude. Essas tendências demonstram uma conversão progressiva de áreas naturais para usos agropecuários e urbanos, evidenciando a pressão crescente sobre os ecossistemas naturais. As classes que apresentaram maiores modificações serão discutidas a seguir.

A classe "Formação Florestal" apresentou uma tendência de decréscimo ao longo das quase quatro décadas analisadas, passando de 140.135 hectares em 1985 para 119.673 hectares em 2023, representando uma redução acumulada de 14,60%. Embora essa diminuição seja relativamente moderada em termos percentuais, é razoável em termos absolutos e revela um processo contínuo de substituição da vegetação nativa. Entre 1985 e 2004, a variação foi de -3,51%, indicando que a perda já havia se iniciado nas duas primeiras décadas. No entanto, o período entre 2004 e 2023 foi mais crítico, com um recuo de 11,49%, evidenciando o avanço mais acelerado das pressões antrópicas nesse intervalo.

A formação savânea obteve valores absolutos substancialmente menores que a formação florestal. Entretanto, entre 1985 e 2004, observou-se um crescimento de 135,39%, passando de 726 para 1.709 hectares. Isso pode estar relacionado à regeneração de áreas anteriormente degradadas ou à transição de formações florestais para formações mais abertas em decorrência de atividades antrópicas moderadas. No entanto, esse processo foi revertido no período seguinte: entre 2004 e 2023, houve uma redução de 42,71%, resultando em 979 hectares ao final do período. A variação acumulada entre 1985 e 2023 foi positiva, com um acréscimo de 34,84%. No entanto, o comportamento oscilante aponta para um cenário de instabilidade e crescente pressão sobre esse tipo de cobertura vegetal.

Esse comportamento de perda de formações florestais, acelerado principalmente nas duas últimas décadas, pode ser atribuído principalmente à expansão das atividades agropecuárias e da pastagem no município de Timbiras, conforme apontam os dados da própria tabela.

Nesse sentido, constatou-se que a evolução da agropecuária em Timbiras, entre 1985 e 2023, revela um processo de intensificação expressiva do uso produtivo da terra. Em 1985, essa classe ocupava 6.986 hectares, número que saltou para 11.083 ha em 2004, representando um aumento de 58,64%. No período subsequente, o crescimento se acelerou ainda mais, alcançando 27.250 hectares em 2023 — uma elevação de 145,87% em relação a 2004. A variação acumulada ao longo de todo o período foi de 290,06%, evidenciando a consolidação da agropecuária como principal vetor de transformação da paisagem local. Essa expansão está associada tanto ao avanço das fronteiras agrícolas quanto ao desmatamento de áreas florestais e savânicas, frequentemente convertidas em terrenos produtivos para cultivos e criação de animais.

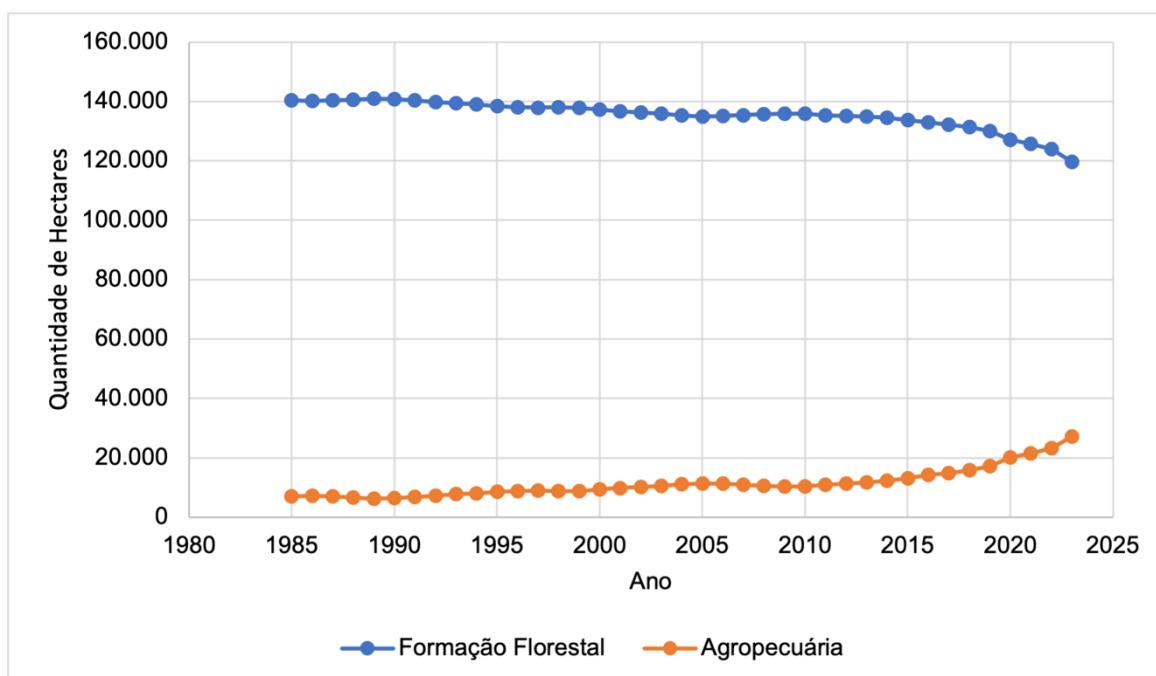
Nesse contexto, as áreas de pastagem apresentaram o crescimento relativo mais significativo entre todas as categorias analisadas. Partindo de 580 hectares em 1985, elas passaram para 8.896 hectares em 2004, representando um aumento de 1.433%. Entre 2004 e 2023, a expansão continuou, embora em ritmo menos intenso, atingindo 15.424 hectares — uma variação de 73,38% nesse intervalo. No total, o aumento acumulado foi de 2.559,31%, evidenciando a predominância da pecuária extensiva como atividade econômica de grande impacto sobre a cobertura vegetal do município. Esse processo acarreta consequências ambientais relevantes, como a fragmentação de habitats, a degradação do solo e a pressão sobre os recursos hídricos.

A relação entre a expansão das áreas destinadas à agropecuária — especialmente à agricultura e à pastagem — e a redução das formações florestais representa a principal transformação do espaço observada neste estudo. Brandão, Cardoso e Garret (2025) identificaram uma substituição significativa das formações vegetais nativas no Cerrado brasileiro, principalmente em municípios localizados em áreas de fronteira agrícola, como a região do MATOPIBA. Os autores destacam que a substituição de formações florestais e savânicas por usos agropecuários decorre, em grande medida, do avanço da agricultura mecanizada e da pressão pela expansão da pecuária extensiva. Eles também enfatizam que a maior perda de cobertura vegetal nos períodos mais recentes está associada ao enfraquecimento das políticas de controle ambiental, aliado à maior flexibilização das normas de uso do solo. Nesse contexto, os dados de Timbiras refletem não somente dinâmicas locais, mas um padrão mais amplo de

degradação progressiva das formações nativas do Cerrado, impulsionado por interesses econômicos e pela ausência de instrumentos eficazes de gestão ambiental.

A relação entre as duas áreas pode ser visualizada na Figura 4, a seguir:

Figura 4 - Município de Timbiras (MA): Relação entre a evolução das áreas de Florestas e Agropecuária, 1985–2023



Fonte: MapBiomas, 2023; TIMBIRAS, 2023. Elaboração: os autores (2025).

A Figura 4 evidencia contundentemente a relação inversa entre a evolução das áreas de formação florestal e agropecuária no município de Timbiras entre 1985 e 2023. Percebe-se que, ao longo do período, a cobertura florestal apresenta uma trajetória de declínio progressivo, sobretudo a partir da década de 2010, enquanto a área destinada à agropecuária cresce de maneira acelerada, principalmente no período posterior a 2015. Essa tendência indica um processo sistemático de conversão de ecossistemas naturais em áreas produtivas, impulsionado pela expansão agrícola e pela pecuária extensiva. A divergência das curvas sugere que uma parte significativa da vegetação nativa foi suprimida para dar lugar a práticas de uso intensivo do solo, revelando um modelo de ocupação territorial caracterizado pela pressão econômica sobre os recursos naturais. Tal dinâmica reforça a necessidade de políticas públicas que conciliem desenvolvimento produtivo e conservação ambiental, evitando assim a perda irreversível de biodiversidade e a degradação dos serviços ecossistêmicos.

Em relação às classes discutidas, outro dado relevante é o crescimento da área não vegetada, principalmente a destinada à urbanização, que aumentou de 174 hectares para 402 hectares entre 1985 e 2023, totalizando um acréscimo de 131,03%. Esse crescimento pode ser explicado pelo aumento populacional do município. Tais mudanças sugerem uma pressão urbana crescente sobre o meio físico, promovendo a conversão de áreas naturais em espaços edificados.

Essa tendência é analisada por Fonseca et al. (2021), que alertam para o avanço da urbanização sobre áreas ambientalmente sensíveis no Cerrado, mesmo em municípios de pequeno porte. Os autores destacam que a urbanização desordenada contribui para a descaracterização das paisagens naturais e para o agravamento de problemas socioambientais, tais como a impermeabilização do solo, o aumento do escoamento superficial e a perda de cobertura vegetal. Eles também ressaltam que o crescimento urbano não planejado dificulta a manutenção dos serviços ecossistêmicos locais, ampliando a vulnerabilidade ambiental e comprometendo a qualidade de vida das populações urbanas.

Em contrapartida, observa-se uma redução dos corpos d'água, que diminuíram de 266 hectares para 228 hectares, representando uma perda de 14,28%. Essa redução está associada à degradação de áreas de recarga hídrica e à intensificação do uso do solo nas proximidades de rios e nascentes, afetando diretamente a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos locais.

Segundo Liévano-Latorre et al. (2025), a pressão antrópica sobre áreas de preservação permanente e zonas ripárias resulta em impactos cumulativos nos recursos hídricos, principalmente em regiões com expansão agropecuária acelerada. Os autores destacam que a perda de cobertura vegetal nessas áreas compromete funções ecossistêmicas essenciais, tais como a regulação do ciclo hidrológico, a proteção contra o assoreamento e a manutenção da biodiversidade aquática. Eles também evidenciam que a fragmentação e a degradação das paisagens naturais influenciam negativamente a resiliência dos ecossistemas hídricos frente às mudanças climáticas, tornando-os mais suscetíveis a períodos de escassez e a eventos extremos.

Teixeira et al. (2024), por sua vez, demonstram que a perda de cobertura vegetal e o uso intensivo do solo em bacias hidrográficas do Cerrado — como a do rio Araguaia — resultaram em uma redução significativa da superfície e do fluxo de água, sobretudo em períodos de estiagem, comprometendo os serviços ecossistêmicos e a segurança hídrica da região.

## DISCUSSÃO

A pesquisa realizada no município de Timbiras (MA) confirma uma tendência amplamente observada em diferentes regiões do bioma Cerrado: a progressiva conversão da vegetação nativa em áreas destinadas à agropecuária. Entre 1985 e 2023, houve uma redução significativa das formações florestais e savânicas, acompanhada pela expansão acelerada das classes agropecuária e, principalmente, de pastagem. Essa dinâmica é coerente com os achados do IPAM (2022), que apontam a região do MATOPIBA como uma das mais pressionadas pela expansão das fronteiras agrícolas no Brasil, principalmente no Maranhão, onde o aumento de pastagens e de monoculturas promove a fragmentação da paisagem e a degradação de ecossistemas nativos.

O caso de Timbiras se assemelha a experiências já documentadas em outros contextos, como em Sorriso (MT), onde Giaretta et al. (2019) identificaram a perda de mais de 50% da vegetação natural entre 1985 e 2015, devido ao impacto direto da intensificação agropecuária. Da mesma forma, Meyfroidt et al. (2024) alertam que a expansão das fronteiras agrícolas nos países tropicais continua sendo o principal motor do desmatamento, mesmo com os avanços tecnológicos e a adoção de políticas ambientais. Em Timbiras, a pressão se intensificou com a chegada de produtores vinculados à cadeia da soja e com a ampliação desordenada das áreas de pastagem, revelando uma dinâmica típica de municípios inseridos em regiões de expansão econômica e com baixa capacidade institucional para a gestão ambiental.

Desse modo, estudar o desmatamento em pequenos municípios, como Timbiras, é fundamental para revelar dinâmicas locais que, embora muitas vezes invisibilizadas nos estudos nacionais, compõem um mosaico de transformações com efeitos cumulativos relevantes sobre os ecossistemas regionais. Essas localidades, somadas, contribuem significativamente para a perda de vegetação nativa, a fragmentação de habitats e a diminuição de serviços ecossistêmicos. Conforme apontado por Rodrigues et al. (2022), a expansão desordenada de atividades agropecuárias no Cerrado maranhense não somente provoca a supressão da vegetação, como também compromete a funcionalidade ecológica e a biodiversidade.

Além disso, são justamente nesses municípios de menor porte que os conflitos entre conservação ambiental e desenvolvimento territorial se manifestam de maneira mais evidente. A ausência de planos diretores, zoneamentos ecológico-econômicos e sistemas de fiscalização torna o território vulnerável à expansão descontrolada do uso do solo. Em Timbiras, por exemplo, a classe "pastagem" apresentou crescimento superior a 2.500% no período analisado — crescimento que poderia ocorrer controladamente em um contexto de ordenamento ambiental estruturado. Como destacam Popin et al. (2025), esse tipo de transformação gera desequilíbrios no funcionamento hidrológico e climático da região da MATOPIBA, agravando a vulnerabilidade ambiental dos municípios inseridos nesse contexto.

Os resultados dessa pesquisa fornecem subsídios para a elaboração de políticas públicas e estratégias de gestão territorial ambientalmente responsáveis. Ao identificar e monitorar os vetores de pressão sobre a cobertura vegetal — principalmente a agropecuária extensiva —, o estudo contribui para o direcionamento de ações como a recuperação de áreas degradadas, a promoção de sistemas de

produção sustentáveis, o estímulo à agroecologia e a regularização fundiária em áreas críticas. Os resultados também podem fundamentar práticas de educação ambiental, reflorestamento com espécies nativas e pactos interinstitucionais por uma governança participativa e eficaz.

Esses achados também têm aplicabilidade em ações de monitoramento, licenciamento e fiscalização ambiental. A análise das transformações territoriais, associada a ferramentas como o MapBiomas, permite identificar áreas prioritárias para intervenção e orientar decisões sobre o uso do solo. Com base nessas informações, gestores públicos, conselhos municipais e órgãos ambientais podem estabelecer critérios mais rigorosos para a ocupação do território e a proteção de áreas ambientalmente sensíveis.

Contudo, este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. A análise foi baseada em dados secundários oriundos de sensoriamento remoto, o que pode gerar imprecisões em zonas de transição ou em áreas com uso múltiplo do solo. Além disso, a ausência de entrevistas com atores locais e de observações de campo limita a compreensão dos fatores socioeconômicos, políticos e culturais que influenciam as dinâmicas de uso e cobertura da terra. Estudos futuros podem integrar abordagens qualitativas e participativas, ampliando a profundidade e a complexidade da análise.

Ainda assim, os resultados obtidos têm potencial de aplicação prática e científica. No âmbito local, os dados podem subsidiar estratégias de mitigação e adaptação às mudanças ambientais. Ao nível regional, eles contribuem para a compreensão da lógica de ocupação territorial que vem transformando o Cerrado e pressionando seus limites ecológicos. Para a ciência geográfica, o estudo reforça o papel central da análise espacial na compreensão das relações entre sociedade e natureza. Ao articular escalas temporais e espaciais, o trabalho contribui para o aprofundamento de debates sobre ordenamento territorial, dinâmicas socioambientais e conflitos pelo uso da terra — temas relevantes para a geografia contemporânea.

Por fim, os achados do município de Timbiras não se restringem ao seu contexto geográfico imediato. Eles se inserem em um cenário mais amplo de expansão desordenada das fronteiras agrícolas no Brasil, onde o desenvolvimento econômico muitas vezes avança em detrimento da conservação ambiental e da justiça territorial. A compreensão das transformações locais é, portanto, indispensável para a elaboração de políticas públicas integradas e sensíveis às particularidades regionais. Em um momento no qual os impactos do desmatamento já ameaçam a estabilidade climática, hídrica e ecológica do país, torna-se urgente pensar em alternativas que conciliem produção, conservação e inclusão social, sobretudo em territórios historicamente negligenciados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão da agropecuária foi identificada como a principal causa de desmatamento no município, provocando a substituição significativa da vegetação nativa. Essa constatação foi possível a partir de dados do MapBiomas e de técnicas de geoprocessamento, que permitiram quantificar, espacializar e interpretar os principais processos de alteração do uso e da cobertura do solo no município no período delimitado.

Conclui-se que análises em escala municipal, como a desenvolvida neste estudo, são fundamentais para revelar especificidades territoriais, muitas vezes invisibilizadas em abordagens regionais ou nacionais. Ao possibilitar a identificação das dinâmicas de transformação do uso e da cobertura da terra, esse tipo de abordagem contribui para a compreensão das causas locais de desmatamento e degradação ambiental. Além disso, ela oferece subsídios técnicos e científicos para o planejamento ambiental e territorial, possibilitando a elaboração de políticas públicas mais eficazes e ajustadas às realidades socioambientais locais.

O uso da plataforma MapBiomas reforça o potencial de democratização do acesso à informação geoespacial qualificada para gestores públicos, educadores e pesquisadores. Ao disponibilizar séries históricas padronizadas, de fácil acesso e com cobertura nacional, o MapBiomas possibilita que esses profissionais e a sociedade civil compreendam e monitorem as transformações no território, mesmo em contextos de escassez de recursos técnicos e financeiros. Essa acessibilidade favorece o desenvolvimento de diagnósticos territoriais embasados, fortalece a educação ambiental sobre desmatamento e apoia a elaboração de políticas públicas baseadas em evidências, principalmente em municípios de pequeno porte, que historicamente enfrentam limitações para adquirir e processar imagens de sensoriamento remoto. Dessa forma, o MapBiomas consolida-se como uma importante ferramenta para a promoção da transparência, da gestão ambiental participativa e do fortalecimento da cidadania científica.

No entanto, é importante reconhecer algumas limitações da pesquisa realizada. Entre elas, destacam-se a dependência exclusiva de dados secundários e as possíveis incertezas associadas à classificação automatizada de imagens de satélite, que pode não capturar com exatidão as especificidades locais, principalmente em áreas de transição ecológica, como o município estudado.

As implicações do estudo são amplas, sobretudo para a gestão ambiental e o planejamento urbano e rural. Os dados apresentados podem subsidiar diagnósticos para o zoneamento ecológico-econômico, a definição de áreas prioritárias para conservação e a formulação de estratégias de uso sustentável da terra. Em um contexto de mudanças climáticas e de degradação dos biomas, análises como esta são fundamentais para promover ações preventivas e restaurativas nos níveis municipal e regional.

Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se ampliar a investigação para outros municípios do entorno de Timbiras, a fim de compreender os padrões espaciais regionais e suas interações. Também seria relevante integrar análises socioeconômicas e o levantamento de dados primários em campo, incluindo a percepção das comunidades locais sobre o uso da terra e os impactos ambientais por elas percebidos. Por fim, o monitoramento contínuo, com atualizações periódicas, é essencial para avaliar a efetividade de políticas públicas e acompanhar as tendências de ocupação do solo nos próximos anos.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, F. et al. Sustainability dynamics of the Brazilian MATOPIBA region between 1990–2018: Impacts of agribusiness expansion. **Applied Geography**, v. 159, n. 103080, p. 1-14, 2023.  
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103080>

ALCENCAR, A. et al. Mapping three decades of changes in the Brazilian Savanna native vegetation using Landsat data processed in the Google Earth Engine platform. **Remote Sensing**, [v. 12, n. 924, p. 1-23, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12060924>

ALMEIDA, R.F.; MOTA, R. P. Routes of soil uses and conversions with the main crops in Brazilian Cerrado: A scenario from 2000 to 2020. **Land, Basel**, v. 10, n. 11, p. 1-16, 2021.  
<https://doi.org/10.3390/land1011135>

ANGELO, H. et al. O custo social do desmatamento da Amazônia brasileira: o caso da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 183-191, 2013.  
<https://doi.org/10.5902/198050988452>

ARAGÃO, R. B. de A. et al. To clear or not to clear: Unpacking soy farmers' decision-making on deforestation in Brazil's Cerrado. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, p.1-19, 2022.  
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.942207>

AZEVEDO, V. et al. Negative impacts of mining on Neotropical freshwater fishes. **Neotropical Ichthyology**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 1–14, 2021. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0001>

BEZERRA, D.S. et al. Análise dos focos de queimadas e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1988 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 1–14, 2018.  
<https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57337>

BRANDÃO, J.; CARDOSO, F. C.; GARRETT, R. Why has the Brazilian Cerrado been left behind by voluntary environmental policies?. **Global Environmental Change**, v. 92, p.1-11, 2025,  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2025.103005>

BORGHI, E. et al. **Desafios das novas fronteiras agrícolas de produção de milho e sorgo no Brasil – Desafios da região do MATOPIBA**. Embrapa, 2014. Disponível em:  
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/992832>. Acesso em: 19 junho 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1998. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm). Acesso em: 19 junho 2025.

CABRAL, L.; SAUER, S.; SHANKLAND, A. Introduction: Reclaiming the Cerrado – A Territorial Account of a Disputed Frontier. **IDS Bulletin**, v. 54, n. 1, p. 1-17, 2023. <https://doi.org/10.19088/1968-2023.102>

CAMPOLI, J. S. et al. **Custo social do desmatamento nos biomas brasileiros**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada–IPEA, 2023. Disponível em:  
[https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11811/1/TD\\_2842\\_Web.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11811/1/TD_2842_Web.pdf). Acesso em: 19 junho 2025.

- CARREIRA, I.; COSTA, F.; PESSOA, J. P. The deforestation effects of trade and agricultural productivity in Brazil. **Journal of Development Economics**, v. 167, n. 103217, p.1-13, 2024.  
<https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2023.103217>
- CRESWELL, J. W.; CLARK, V. L. P. **Pesquisa de métodos mistos**. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Desafios e oportunidades para o desenvolvimento do MATOPIBA**. Brasília: Embrapa, 2014. Disponível em:  
<https://www.embrapa.br/tema-matopiba>. Acesso em: 19 maio 2025.
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Indicadores agropecuários no Cerrado brasileiro**. Brasília: Embrapa, 2022.
- FIOCRUZ- Fundação Oswaldo Cruz. **Dossiê Abrasco: Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2019.
- FONSECA, L. M.G. et al. Pattern Recognition and Remote Sensing techniques applied to Land Use and Land Cover mapping in the Brazilian Savannah. **Pattern Recognition Letters**, v. 148, p. 54–60, 2021.  
<https://doi.org/10.1016/j.patrec.2021.04.028>
- FOREST TRENDS. **Payments for Ecosystem Services: Getting Started in Brazil**. Washington: Forest Trends, 2014.
- FRANÇA, I.S. De Pequenas cidades, problemas urbanos e participação social na perspectiva da população local. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 15, n. 1, p. 218–237, 2021. Disponível em:  
<https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/64370>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- FRANTZ, A. A Importância do georeferenciamento nas ações de combate de crimes ambientais no estado do Paraná e a utilização dos alertas do mapbiomas como base de planejamento de ações e operações de fiscalização de áreas irregularmente desmatadas. **Mapbiomas**, v. 1, n. 1, p. 75, 2021. Disponível em:  
<https://staging-brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/Estudo-MAPBIOMAS-Germano-Augusto-Frantz.pdf>. Acesso em: 19 junho 2025.
- GEIST, H.; LAMBIM, E. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. **BioScience**, v. 52 n. 2, p. 143-150, 2002. [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)
- GIARETTA, J. et al. Advancement of agricultural activity on natural vegetation areas in national agribusiness capital. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 22, p. 1-15, jan. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0139r2vu19l4ao>
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GOMES, I. R.; OLIVEIRA, P. R. de A. As pequenas cidades, a vilação e a urbanização no Nordeste brasileiro. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 12, p. 124-138, 2021. Disponível em:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=552866526008>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- HELMUT, G.; LAMBIN, F. **What Drives Tropical Deforestation?** A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. LUCC Report Series Ásia, v. 2, n. 4. 2001. Disponível em  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=6750e2fcb67919558e17583adc2b986be39be0af>. Acesso em: 19 junho 2025.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Timbiras**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 02 maio 2025.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em:  
[https://basedosdados.org/?utm\\_term=censo%20ibge%202022&utm\\_campaign=Trend+do+Censo+2022&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=9488864076&hsa\\_cam=21101952202&hsa\\_grp=160879691738&hsa\\_ad=693650899919&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=kwd-1414005611223&hsa\\_kw=censo%20ibge%202022&hsa\\_mt=b&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=21101952202&gbraid=0AAAAApslj8xPWxyN5-sj1YrPuFQdeeoj&gclid=CjwKCAjw6s7CBhACEiwAuHQckgTfVzzTzh1n8bcNoRD4IY23kw\\_BQ8b2NeQELeydShZ1McRMT7I4wRoCN4gQAvD\\_BwE](https://basedosdados.org/?utm_term=censo%20ibge%202022&utm_campaign=Trend+do+Censo+2022&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=9488864076&hsa_cam=21101952202&hsa_grp=160879691738&hsa_ad=693650899919&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-1414005611223&hsa_kw=censo%20ibge%202022&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gad_campaignid=21101952202&gbraid=0AAAAApslj8xPWxyN5-sj1YrPuFQdeeoj&gclid=CjwKCAjw6s7CBhACEiwAuHQckgTfVzzTzh1n8bcNoRD4IY23kw_BQ8b2NeQELeydShZ1McRMT7I4wRoCN4gQAvD_BwE). Acesso em: 19 junho 2025.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores Sociais Municipais**. Rio de Janeiro:  
IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9221-sintese-de-indicadores-sociais.html>. Acesso em: 19 junho 2025.

IMESC- Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. **Atlas do Maranhão Sustentável**. São Luís: Governo do Maranhão, 2016.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento do desmatamento na Amazônia Legal por satélite – PRODES**. São José dos Campos: INPE, 2020. Disponível em:  
<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> Acesso em: 19 junho 2025.

IPAM- Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. **Balsas é o município que mais desmatou o Cerrado no último ano**. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2022. Disponível em:  
<https://ipam.org.br/balsas-e-o-municipio-que-mais-desmatou-o-cerrado-no-ultimo-an/>. Acesso em: 19 junho 2025.

KURILOVA, A. Analyzing the dynamics of deforestation in the world: applying Markov models to identify convergence trends. **GEOJournal**, v. 89, p. 193–213, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10708-024-11197-1>

LAGES, F. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea**. Timbiras: CPRM, 2011. Disponível em: [https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/15616/1/rel\\_timbiras.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/15616/1/rel_timbiras.pdf). Acesso em: 19 junho 2025.

LATOUR, B. La cartographie des controverses. **Technology Review**, p. 82–83, 2007. Disponível em:  
[https://controverses.sciences-po.fr/archive/biocarburants/controverse\\_carto/index.html](https://controverses.sciences-po.fr/archive/biocarburants/controverse_carto/index.html). Acesso em: 19 maio 2025.

LEITE, C. **Crimes ambientais no Brasil**. Anápolis: Unievangélica, 2018. Disponível em:  
<http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/697/1/Monografia%20-%20Tarcisio.pdf>. Acesso em: 19 junho 2025.

LIÉVANO-LATORRE, L. F. et al. Addressing the urgent climate and biodiversity crisis through strategic ecosystem restoration in Brazil. **Biological Conservation**, v. 302, p. 1-14, 2025.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.110972>

LUIZ, C. H. P.; STEINKE, V. A. Recent environmental legislation in Brazil and the impact on Cerrado deforestation rates. **Sustainability**, v. 14, n. 13, p. 1-15, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14138096>

MAPBIOMAS. **Coleção 5 – Cobertura e uso da terra no Brasil**, 2020. Disponível em:  
<https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 19 junho 2025.

MAPBIOMAS. **Coleção 9 – Dados de uso e cobertura da terra. 2023**. Disponível em:  
<https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 29 julho 2025.

MGELWA, A. S. et al. Meta-analysis of 21st century studies shows that deforestation induces profound changes in soil characteristics, particularly soil organic carbon accumulation. **Forest Ecosystems**, v. 12, n. 100257, p. 1-10, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100257>

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Educação Ambiental**. Brasília, 2022.

MEYFROIDT, P. et al. Explaining the emergence of land-use frontiers. **Royal Society Open Science**, v. 11, n. 6, p.1-21, 2024. <https://doi.org/10.1098/rsos.240295>

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 9. ed. São Paulo: Hucitec, 2001.

MOREIRA, R. S.; PINHEIRO, R. T. Perda e fragmentação do Cerrado na APA do lago de Palmas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 1, n. 2, p. 260–282, 2021. Disponível em:  
<https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista/article/view/60>. Acesso em: 19 junho 2025.

OLIVEIRA, M.L.L.; DAYREL, D. M. Reflorestamento. **Revista Agroveterinária, Negócios e Tecnologias**, v. 6, n. 2, p. 34–49, jul./dez. 2021. Disponível em:  
<https://revista.fcc.edu.br/index.php/agroveterinaria/article/view/105>. Acesso em: 19 junho 2025.

POPIN, G. V. et al. Land-use change and deep-soil carbon distribution on the Brazilian Amazon-Cerrado agricultural frontier. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 381, p. 1-13, 2025.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109451>

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.34. Open Source Geospatial Foundation Project, 2025. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 19 jun. 2025.

- RAMOS, R. C. et al. Análise das áreas queimadas na região sul do Maranhão no ano de 2013. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., João Pessoa. **Anais** [...]. INPE, 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0844.pdf>. Acesso em: 19 junho 2025.
- RICKLEFS, R. E.; RELYEA, R. **A economia da natureza**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.
- RODRIGUES, M. Acompanhamento dos níveis de degradação do rio Itapecuru no município de Codó–MA. In: **II Congresso Internacional das Ciências Agrárias**, 2017. Disponível em: [https://www.academia.edu/61441290/Acompanhamento\\_Dos\\_Niveis\\_De\\_Degrada%C3%A7%C3%A3o\\_Do\\_Rio\\_Itapecuru\\_No\\_Municipio\\_De\\_Cod%C3%B3\\_Ma](https://www.academia.edu/61441290/Acompanhamento_Dos_Niveis_De_Degrada%C3%A7%C3%A3o_Do_Rio_Itapecuru_No_Municipio_De_Cod%C3%B3_Ma). Acesso em: 19 junho 2025.
- RODRIGUES, S. L.; GOMES, J. M. A.; CERQUEIRA, E. B. Dinâmica do uso e cobertura da terra nos municípios produtores da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) no Maranhão. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 60, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/79091>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- SANO, E. E. et al. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, p. 2739–2752, 2007. <https://doi.org/10.1080/01431160600981517>.
- SALES, L. L. N. et al. 10 municípios maranhenses mais atingidos por queimadas em 2014–2015. **Revista de Geografia**, v. 36, n. 1, p. 1–14, 2019. Disponível em: <http://observatoriodegeografia.uepg.br/files/original/680b16819ad2b409acc58ecffc2e7dca420fdf2a.html>. Acesso em: 19 junho 2025.
- SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2006.
- SILVA, D. et al. Amazon Forest on the edge of collapse. **Land Use Policy**, v. 97, 104806, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104806>
- SILVA, C. F. A. da et al. Insights from remote sensing for the study of deforestation drivers in savannas. **Journal for Nature Conservation**, v. 86, n.126918, p. 1-9, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2025.126918>
- SPADONI, G. L. et al. Devegetation is a widespread driver of fire in the Brazilian Cerrado. **Journal of Environmental Management**, v. 385, n. 125637, p. 1-12, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125637>
- SPINELLI, M. et al. **Conservação da biodiversidade do estado do Maranhão**. Embrapa Meio Ambiente, 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1069715/1/SerieDocumentos108Luciana.pdf>. Acesso em: 19 junho 2025.
- SOUZA JUNIOR, C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazil with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- TANVEER, A et al. Caring for the environment. How do deforestation, agricultural land, and urbanization degrade the environment? Fresh insight through the ARDL approach. **Environment, Development and Sustainability**, v. 27, p. 11527–11562, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04368-6>
- TERRA, F. S. et al. Leguminosas forrageiras na produção animal no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 1–79, 2019. <https://doi.org/10.19084/RCA.16016>
- TEIXEIRA, A. dos S. et al. Evidence of water surface and flow reduction in the main hydrographic basin of the Brazilian savannah (Cerrado biome): the Araguaia river. **Hydrobiologia**, v. 851, p. 2503–2518, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10750-024-05471-z>
- TIMBIRAS. **Lei Nº 249, de 08 de junho de 2017**. Institui o Código Municipal de Meio Ambiente da cidade de Timbiras, estado do Maranhão. Gabinete do prefeito, 2017.
- VIEIRA, J.. **Estudo sobre queimadas no município de Codó-MA: Característica das queimadas na associação União**. Universidade Federal do Maranhão\_UFMA, v. 1, n. 1, p. 16, 2019. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/handle/123456789/4039> Acesso em: 19 junho 2025.

Recebido em: 19/06/2025

Aceito para publicação em: 18/08/2025