



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO

DIEGO DA SILVA CARVALHO

USO DO MAPBIOMAS NA CARACTERIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA DO
MUNICÍPIO DE TIMON – MA.

TERESINA - PI
2024

DIEGO DA SILVA CARVALHO

USO DO MAPBIOMAS NA CARACTERIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA DO
MUNICÍPIO DE TIMON – MA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para obtenção do
diploma do Curso de Tecnologia em
Geoprocessamento do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí,
Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Me. Jurandi Oliveira da Silva

TERESINA - PI
2024

USO DO MAPBIOMAS NA CARACTERIZAÇÃO DA EXPANSÃO URBANA DO MUNICÍPIO DE TIMON – MA.

Diego da Silva Carvalho¹
Jurandi Oliveira da Silva²

RESUMO

O presente trabalho utiliza o sensoriamento remoto como ferramenta para análise da expansão urbana em Timon - MA, abordando como essa tecnologia facilita o monitoramento das mudanças no uso e cobertura do solo, em um espaço temporal entre os anos de 2000, 2010 e 2020. Utilizando imagens do bioma Cerrado através do MapBiomias, obtidas via Google Earth Engine, o estudo aplicou métodos de classificação e pós-processamento para mapear áreas de floresta, agropecuária, urbanização, entre outras. A análise identificou uma tendência de desmatamento e expansão agrícola, além do crescimento de áreas urbanas e a diminuição de corpos d'água, refletindo o impacto ambiental da urbanização e da migração para o município. Devido à sua proximidade com Teresina, Timon experimentou um crescimento urbano acelerado, resultando em desafios de gestão, como a especulação imobiliária, infraestrutura e mobilidade urbana. Os resultados destacam a importância do sensoriamento remoto e do geoprocessamento no planejamento urbano, auxiliando na tomada de decisões e na revisão do Plano Diretor de Timon, com foco na regularização fundiária e preservação ambiental.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, MapBiomias, plano diretor, regularização fundiária.

ABSTRACT

This study uses remote sensing as a tool to analyze urban expansion in Timon - MA, addressing how this technology facilitates the monitoring of changes in land use and land cover, in a temporal space between the years 2000, 2010 and 2020. Using images of the Cerrado biome through MapBiomias, obtained via Google Earth Engine, the study applied classification and post-processing methods to map areas of forest, agriculture, urbanization, among others. The analysis identified a trend of deforestation and agricultural expansion, in addition to the growth of urban areas and the reduction of water bodies, reflecting the environmental impact of urbanization and migration to the municipality. Due to its proximity to Teresina, Timon has experienced accelerated urban growth, resulting in management challenges, such as real estate speculation, infrastructure and urban mobility. The results highlight the importance of remote sensing and geoprocessing in urban planning, assisting in decision-making and in the review of the Timon Master Plan, with a focus on land regularization and environmental preservation.

Keywords: remote sensing, MapBiomias, master plan, land regularization.

Data da aprovação: 12/02/2025

1- Graduando em Tecnologia em Geoprocessamento. IFPI. diegosilkr@gmail.com

2- Mestre em Geografia pela Universidade Estadual Paulista. IFPI. prof_jurandi@ifpi.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana é um fenômeno que é caracterizado pelo crescimento das cidades, pelo qual é associada à intensificação das atividades econômicas e ao aumento populacional, impactando diretamente como o espaço urbano e o uso do solo se configuram, provocando transformações tanto nas áreas centrais quanto nas periferias das cidades. Em vista disso, o estudo da expansão urbana é fundamental para o planejamento urbano, em que o monitoramento desse crescimento é essencial e permite avaliar a infraestrutura existente, identificar padrões de ocupação e prever futuras demandas, auxiliando na implementação de políticas públicas eficazes.

O rápido processo de urbanização no Brasil, impulsionado pelas migrações internas e alinhado com tendências globais de migração do campo para as áreas urbanas, é um fenômeno relativamente recente. Esse crescimento urbano está relacionado a diversas transformações em setores como a economia, a sociedade e a política do país. O desenvolvimento das áreas urbanas, acompanhado por um forte aumento populacional, ocorreu principalmente na segunda metade do século XX.

Neste contexto, Cardoso e Aquino (2013) abordam a importância do planejamento e organização das atividades humanas em relação aos recursos naturais, destacando a realização de pesquisas que inventariem o conhecimento do espaço, cataloguem os usos atuais, estudem os conflitos existentes ou possíveis e definam critérios para ocupação das áreas, considerando suas características ambientais. A distribuição geográfica do uso da terra deve ser analisada por meio de pesquisas que identifiquem padrões homogêneos de cobertura terrestre, destacando-se a distinção entre "uso da terra" para atividades humanas relacionadas à função socioeconômica e "cobertura da terra" para elementos naturais e construções artificiais que cobrem a superfície. O mapeamento desses aspectos visa o estudo espacial das atividades humanas em porções específicas do território.

Meneses e Almeida (2012) definem Sensoriamento Remoto como uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. Com o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento, tornou-se possível acompanhar a expansão urbana de uma forma mais precisa e em escala de tempo real, o que permite identificar padrões de uso e cobertura do solo eficientemente.

A cidade de Timon, devido à sua proximidade com a capital do Piauí, Teresina, experimentou um rápido processo de urbanização, sem que houvesse instrumentos de gestão suficientes para equilibrar esse crescimento com as necessidades da população, especialmente no que diz respeito à oferta de habitação popular. As iniciativas para reduzir esse descompasso, como a construção de conjuntos habitacionais nas áreas periféricas, acabaram por aumentar os desafios de gestão urbana. Isso porque a expansão desordenada da cidade não apenas eleva os custos para o poder público, mas também contribui para o aumento da especulação imobiliária (SEMPPLAN, 2022). O sensoriamento remoto pode ser utilizado para estudar como a cidade de Timon cresceu ao longo do tempo. Por exemplo, ao comparar dados de décadas passadas com imagens recentes, pode-se mapear as áreas de maior crescimento, verificar a infraestrutura desenvolvida e avaliar os impactos causados pela urbanização.

Em Cho et al. (2021), abordam a importância de monitorar rapidamente as mudanças no uso e na cobertura do solo, utilizando ferramentas tecnológicas eficientes. Essas ferramentas dependem de máquinas de alto desempenho e analistas qualificados em todas as fases do mapeamento. Com o avanço de tecnologias como *big data* e o processamento em nuvem, as metodologias tradicionais de mapeamento estão sendo reformuladas. A computação em nuvem, em especial, tem se mostrado uma solução eficaz, permitindo o armazenamento, gestão e processamento de grandes volumes de dados, otimizando tempo e recursos. Um exemplo prático dessa evolução tecnológica é o Projeto MapBiomass, que, desde 1985, mapeia anualmente os biomas brasileiros. Este projeto utiliza imagens do satélite Landsat e técnicas de *machine learning* na plataforma *Google Earth Engine* (GEE), realizando o mapeamento em escala nacional.

Com base no contexto da expansão urbana, o sensoriamento remoto é uma ferramenta essencial pois fornece informações espaciais detalhadas e de maneira contínua ao longo do tempo. Isso permite que sejam monitoradas as mudanças no uso e cobertura do solo. Desta maneira a utilização das ferramentas de Sensoriamento Remoto surge como uma alternativa que permite analisar dados geoespaciais que associa o mapeamento dos problemas urbanos com informações físicas, geográficas, topográficas ou de infraestrutura, permitindo que sejam monitoradas as mudanças no uso e cobertura do solo, facilitando o planejamento urbano e a tomada de decisões em relação à infraestrutura, habitação, e uso de

recursos naturais. O presente estudo utiliza as tecnologias já citadas para analisar a expansão urbana do município de Timon – MA, destacando sua relevância para o planejamento urbano local, através de uma análise temporal de uso e ocupação da terra, nos anos de 2000, 2010 e 2020.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO E GOOGLE EARTH ENGINE

Para Rosa (2009), o sensoriamento remoto pode ser definido, de uma maneira ampla, como sendo a forma de obter informações de um objeto o alvo, sem que haja contato físico com o mesmo. Ou seja, é uma tecnologia que permite a coleta de informações sobre a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto, utilizando sensores que registram variações na radiação eletromagnética e captam dados por meio de satélites e Sistemas Aéreos Remotamente Pilotados (SARP), entre outros. Os SARP, popularmente conhecidos como drones, são aeronaves não tripuladas controladas remotamente ou de forma autônoma, equipadas com sensores capazes de realizar mapeamentos, capturar imagens de alta resolução e coletar dados de áreas específicas.

Por oferecer imagens frequentes que permitem o acompanhamento contínuo das mudanças urbanas por meio de imagens históricas, com o sensoriamento remoto é possível identificar o crescimento urbano ao longo dos anos e fazer comparações precisas sobre como o território se transformou pois, diferente das técnicas tradicionais de levantamento de dados, o sensoriamento remoto cobre grandes áreas com rapidez e eficiência, o que o torna útil em áreas de crescimento acelerado como a cidade de Timon, permitindo uma visão abrangente da expansão urbana sem a necessidade de pesquisa em campo para cada setor. Os sensores utilizados no sensoriamento remoto são dispositivos que captam informações da superfície terrestre e podem ser classificados em duas categorias principais: sensores passivos e sensores ativos. De acordo com Jensen (2009), sensores passivos, como câmeras multiespectrais e hiperespectrais, dependem da luz solar ou de outra fonte de radiação natural para capturar dados, sendo amplamente utilizados na coleta de imagens ópticas. Já os sensores ativos, como radares e LIDAR (*Light Detection and Ranging*), emitem sua própria radiação para captar informações, permitindo a obtenção de dados mesmo em condições de pouca luz ou

presença de nuvens.

Com as técnicas de *machine learning*, que são aplicadas em plataformas como o Google Earth Engine – GEE para interpretar grandes quantidades de dados e classificar automaticamente áreas de acordo com sua cobertura e uso do solo, o processamento torna-se rápido e eficiente. O GEE é descrito pelo Google (2024) como uma plataforma para análise científica e visualização de grandes conjuntos de dados geoespaciais, que pode ser usada tanto para fins públicos quanto por empresas e governos. Em outras palavras, é uma ferramenta poderosa que permite manipular e interpretar imagens de satélite e outros dados espaciais em uma escala nunca antes possível, beneficiando projetos como o MapBiomass, que precisa lidar com informações de alta complexidade e abrangência.

Machine learning ou aprendizado de máquina refere-se a um conjunto de algoritmos computacionais que permitem que máquinas aprendam padrões em dados e façam previsões ou classificações sem depender de instruções explícitas programadas. Esses algoritmos treinam modelos a partir de exemplos fornecidos, como dados históricos de cobertura do solo, que são rotulados previamente para ensinar a máquina a reconhecer diferentes tipos de uso da terra.

Existem diferentes métodos de *machine learning* amplamente utilizados no sensoriamento remoto, como algoritmos de classificação supervisionada, incluindo *Random Forest*, algoritmo utilizado na Coleção 9 do MapBiomass. Cada técnica tem suas particularidades, mas todas têm como objetivo identificar padrões nos dados e aplicar essas informações em áreas não rotuladas. Alencar (2024) esclarece que a cadeia de processamento de imagens do MapBiomass utiliza a tecnologia do Google para garantir eficiência e rapidez no trabalho com grandes volumes de dados geoespaciais. Esse processo inclui o uso de infraestrutura de computação em nuvem, onde os dados são processados de forma remota e escalável, linguagens de programação como *Javascript* e *Python* para desenvolver algoritmos e análises no Google Earth Engine, e o armazenamento seguro dos dados no *Google Cloud Storage*.

Dentre os conjuntos de dados disponíveis no GEE, destaca-se o GEDI (*Global Ecosystem Dynamics Investigation*), um instrumento desenvolvido pela NASA que utiliza tecnologia LIDAR (*Light Detection and Ranging*) para coletar informações tridimensionais sobre a estrutura das florestas em nível global, sendo útil para estudos que necessitam de maior precisão na caracterização da biomassa florestal,

altura da vegetação e densidade do dossel. Os dados do GEDI podem ser usados como referência para refinar classificações de uso e cobertura do solo, aplicando filtros de *outliers* que aumentam a qualidade dos modelos baseados em *machine learning*. Ao combinar a capacidade computacional do GEE com a riqueza de dados do GEDI, é possível realizar análises ambientais em escala global de maneira eficiente, permitindo uma compreensão mais detalhada da dinâmica dos ecossistemas e suas transformações ao longo do tempo (Alencar, 2024).

No contexto de *machine learning* e do sensoriamento remoto, os dados do GEDI podem ser usados como uma fonte altamente precisa para treinar modelos e refinar classificações, o que o torna indispensável em análises que requerem alta precisão (NASA, 2024).

2.2 MAPBIOMAS

O projeto MapBiomas criou aplicativos baseados no GEE, chamados de *Toolkits*, que consistem em uma coleção de *scripts* com uma interface intuitiva para facilitar o download de dados do MapBiomas por estado, bioma, município ou outras áreas geográficas. Esses *toolkits* foram projetados para usuários que não têm familiaridade com linguagens de programação do GEE e são revisados e aprimorados regularmente para atender às necessidades do público geral (Alencar, 2024).

O sistema de classificação do MapBiomas organiza as categorias de uso e cobertura da terra em uma estrutura hierárquica com quatro níveis. No primeiro nível, ele identifica seis classes principais: Floresta, Vegetação herbácea e arbustiva, Agricultura, Área não vegetada, Água e Não observado. No segundo nível, essas seis classes se desdobram em 16 subcategorias, com a classe Agricultura subdividida em níveis adicionais até o quarto nível, abrangendo nove classes específicas de uso e cobertura (LCLU). As imagens para as Coleções 1 a 9 do projeto MapBiomas foram obtidas pelos sensores Landsat TM, ETM+ e OLI-TIRS, instalados nos satélites Landsat 5, 7, 8 e 9, com resolução espacial de 30 metros, acessadas via *Google Earth Engine* e fornecidas pela NASA e USGS (Sousa e Azevedo, 2017).

O MapBiomas e os produtos de cobertura de terra globais e nacionais disponíveis possuem vantagens potenciais, dentre elas a reconstrução de toda a

série temporal anual do Landsat (>35 anos), e o esquema de classificação é mais relevante para aplicações nacionais pois segue a legenda de classificação da vegetação brasileira. Além disso, o MapBiomas tem o potencial de monitorar mudanças na floresta primária, regeneração da floresta secundária e classes de uso da terra, juntamente com a série temporal.

Na Coleção MapBiomas 9.0, o processo de classificação dos mosaicos Landsat no bioma Cerrado abrange nove classes detalhadas de uso e cobertura da terra, de acordo com a legenda do MapBiomas. Esse esquema vai além de identificar apenas a vegetação nativa e corpos d'água, integrando também classes de atividades humanas, como Agricultura e Pastagem. Embora Agricultura e Pastagem sejam inicialmente mapeadas ao lado das classes de Vegetação Nativa e Corpos d'água, essas categorias são refinadas em um mosaico de usos cobertura e uso da terra durante o pós-processamento, pois essa estratégia reduz possíveis omissões ou erros nas classificações de vegetação nativa, garantindo maior precisão e uma representação mais ampla.

Essa coleção atualiza o período de análise para 1985-2023, aprimora o filtro de amostras de treinamento com base em polígonos de desmatamento do SAD Cerrado e do MapBiomas Alert; além de uma inovação, que é a aplicação do método de multiprobabilidade, que considera a probabilidade de cada classe em vez de utilizar apenas a votação majoritária, permitindo um relatório de incertezas mais preciso. No pós-processamento, todos os filtros foram ajustados para refletir melhor as mudanças no uso e cobertura do solo do Cerrado. Um novo filtro de recrescimento falso também foi implementado para evitar mudanças espúrias em áreas de formação florestal e úmidas no final da série temporal (Alencar, 2024).

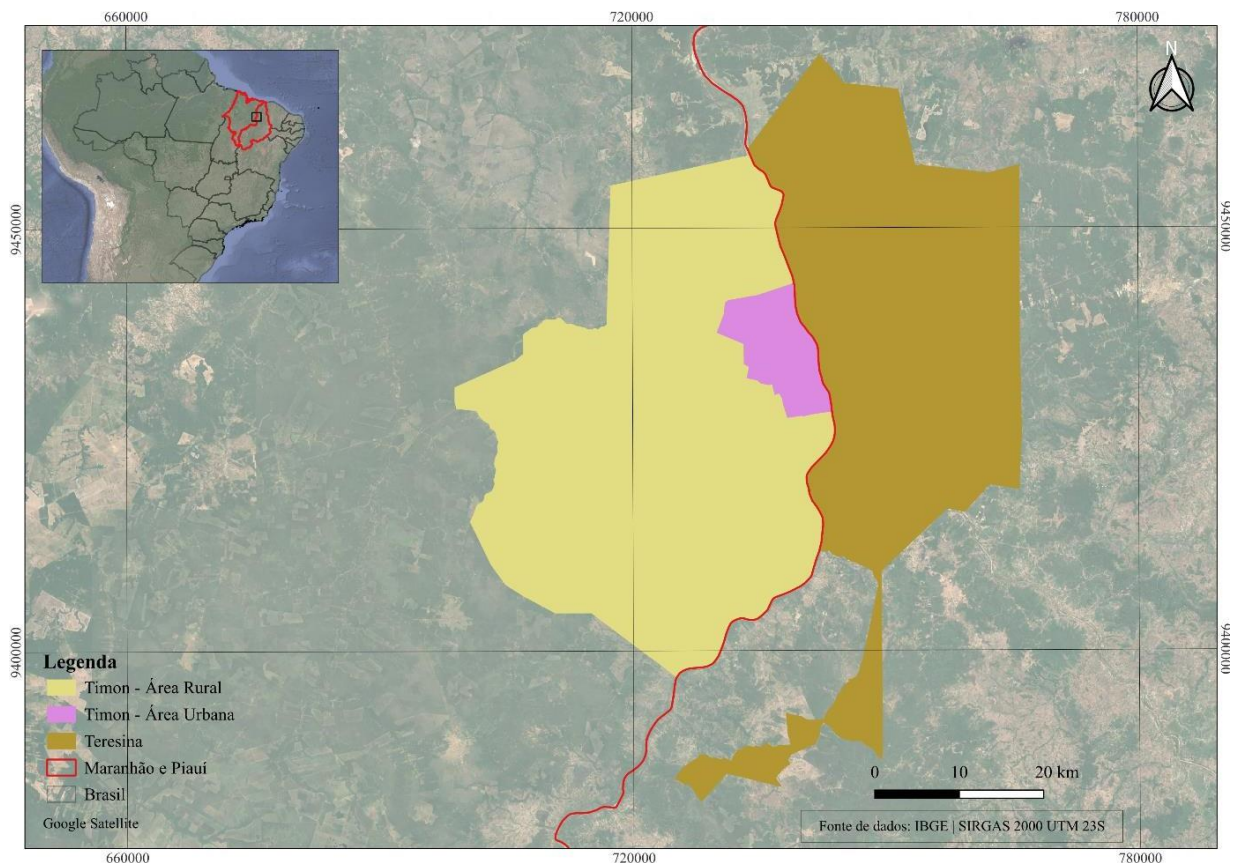
2.3 METODOLOGIA

2.3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O município de Timon está situado na Mesorregião Leste Maranhense, localiza-se à margem esquerda do rio Parnaíba, divisa com o estado do Piauí, inserindo-se na Mesorregião Leste Maranhense, a 425 km da capital São Luís. A inserção de Timon no sistema metroviário nacional e sua proximidade com centros

consolidados são características bastante importantes para a estruturação da cidade e explicam seu rápido crescimento nas últimas décadas. No cenário atual, Timon faz fronteira com Teresina, a capital do Piauí, apresentando uma conurbação integrada, sendo inserido na Região Administrativa Integrada de Desenvolvimento do Polo Grande Teresina. Esse fenômeno gera pressões populacionais que, em determinados momentos, superam a capacidade de resposta da infraestrutura local. A área do município de Timon é de 1.764,61 km², o que representa 0,54% da área do Estado, da qual 113,79 km² (6,4%) são urbanas e 1.650,82 km² (93,6%) são rurais (SEMPPLAN, 2022).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

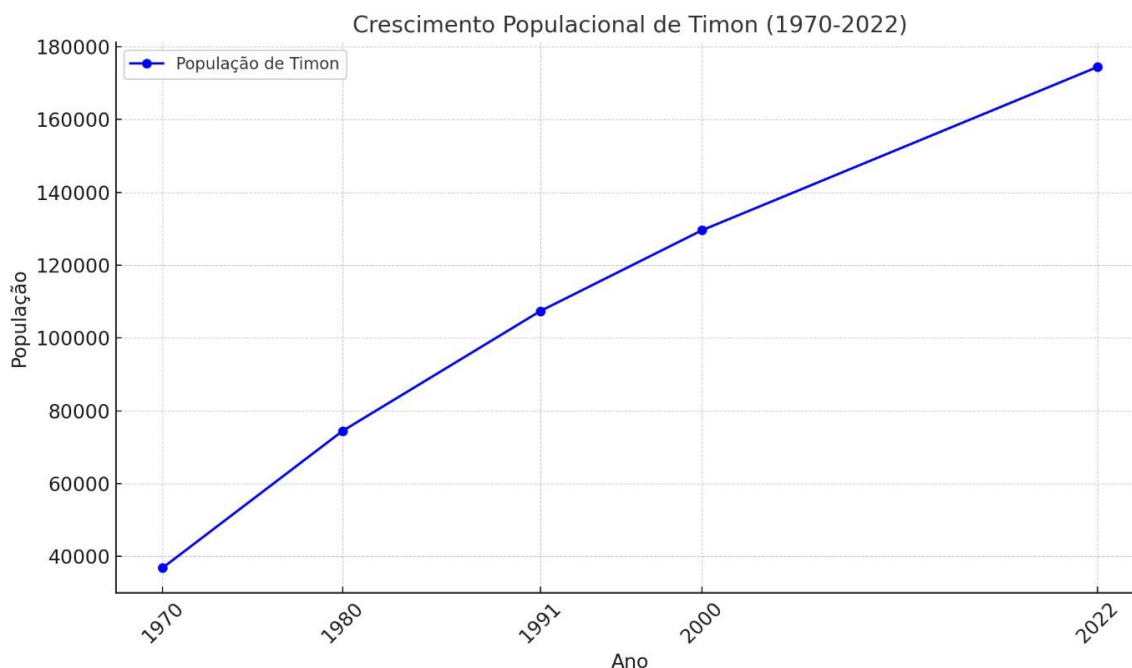


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A população urbana de Timon seguiu a tendência nacional de crescimento acelerado, com seu ponto mais marcante sendo o rápido aumento da população urbana entre as décadas de 1960 e 1990, conforme dados censitários. Durante esse período, houve uma concentração significativa de pessoas na área urbana, enquanto o crescimento da população rural foi mínimo. De acordo com o IBGE, em 1970, Timon tinha 36.893 habitantes, e, na década de 1970 a 1980, a população cresceu a

uma taxa geométrica de 7,3% ao ano, atingindo 74.460 habitantes em 1980, sendo 74,6% desse total residente em áreas urbanas. Entre 1980 e 1991, a taxa de crescimento anual foi de 3,4%, resultando em 107.394 habitantes em 1991. No período de 1991 a 2000, o crescimento anual foi de 1,8%, e a população chegou a 129.612 em 2000. No Censo Demográfico de 2022, o IBGE registrou 174.465 habitantes em Timon, representando um crescimento de 12,14% em relação ao Censo de 2010.

Gráfico 1 – Crescimento populacional de Timon.

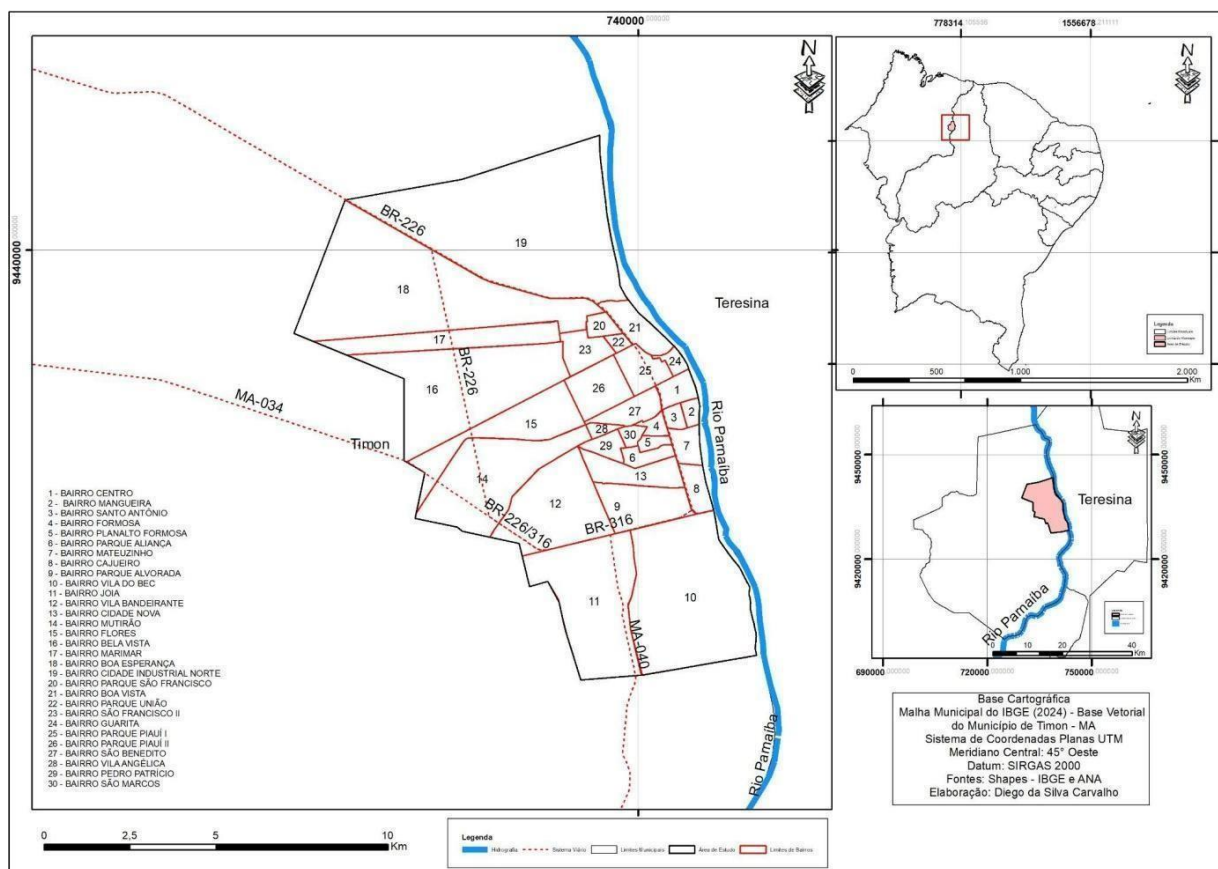


Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022)

A área de estudo possui uma área de aproximadamente 113,79 km² que está subdividida em 30 bairros, definidos a partir da Lei Municipal nº 1940, de 05 de dezembro de 2014 (Centro, Mangueira, Santo Antônio, Formosa, Planalto Formosa, Parque Aliança, Mateuzinho, Cajueiro, Parque Alvorada, Vila do BEC, Joia, Vila Bandeirante, Cidade Nova, Mutirão, Flores, Bela Vista, Marimar, Boa Esperança, Cidade Industrial Norte, Parque São Francisco, Boa Vista, Parque União, São Francisco II, Guarita, Parque Piauí I, Parque Piauí II, São Benedito, Vila Angélica, Pedro Patrício e São Marcos) conforme leis municipais nº 1940 de 05/12/2014 e nº

2.026 de 24/05/2016 (Figura 2), sendo os bairros Parque Piauí, Mangueira, Mutirão e o São Benedito os bairros mais antigos. Segundo o Relatório de Leitura Técnica de Timon 2021 – 2022, foram esses mesmos bairros que estimularam o início da regulamentação do parcelamento do solo em 1991.

Figura 2 - Mapa de espacialização dos bairros que compõem a área de estudo



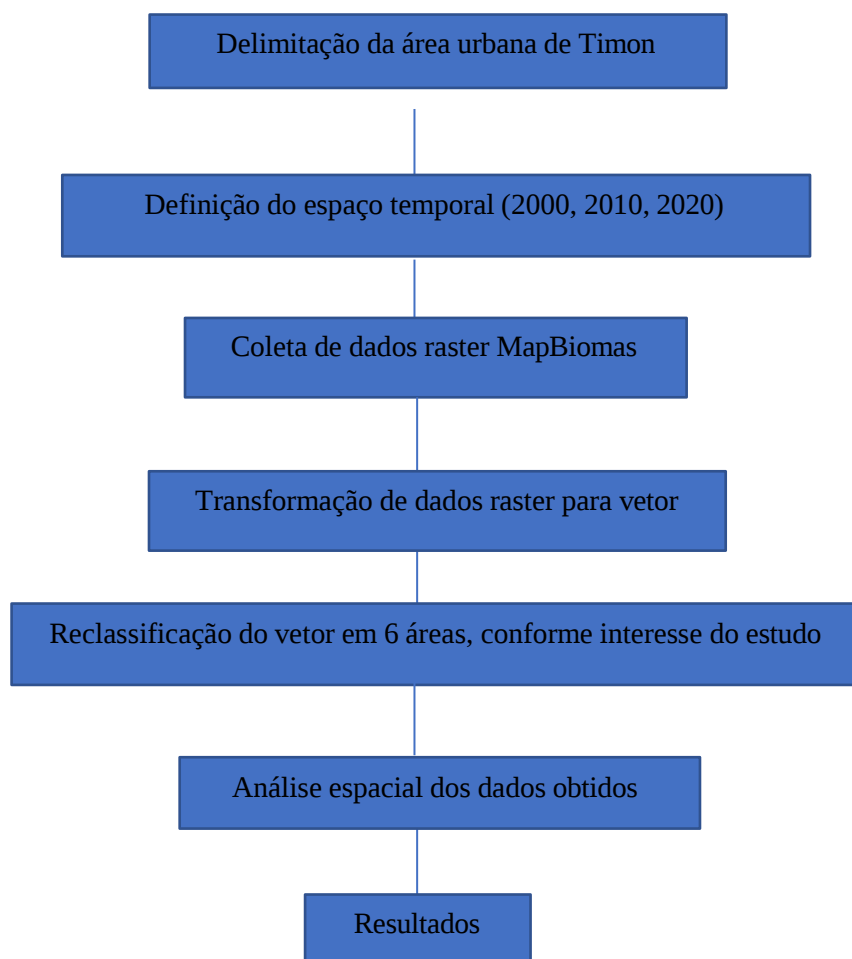
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Em comparação com a média do estado, Timon apresenta altitudes ligeiramente mais elevadas, chegando a cerca de 250 metros. No perímetro urbano, há variações de altitude que vão de 60 metros, no bairro Centro, até 160 metros, no bairro Mutirão. A cidade faz parte da Bacia Sedimentar do Parnaíba, com solos formados por Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo, Plintossolo e Solos Aluviais (EMBRAPA, 2006). Além disso, Timon integra a formação geológica conhecida como Superfície Maranhense com Testemunhos, caracterizada por uma área aplainada e marcadamente dominada por relevos tabulares. O rio Parnaíba drena o município, o qual faz parte de sua bacia hidrográfica. A vegetação local inclui florestas estacionais decíduas e semidecíduas, intercaladas por manchas de Cerrado, além de matas ciliares ao longo dos rios, cuja composição diversificada se deve à dispersão das espécies pelo curso d'água. Embora a vegetação seja vistosa, ela tem sofrido com a degradação provocada pelo desmatamento.

A classificação de uso e cobertura do solo da Coleção 9.0 do bioma Cerrado

foi realizada regionalmente em uma base anual usando a plataforma do GEE. As amostras de treinamento para cada região foram derivadas de áreas estáveis identificadas na classificação Coleção 8.0 ao longo de um período de 38 anos. Para garantir precisão e confiabilidade, essas amostras de treinamento foram suplementadas com mapas de referência de vegetação nativa e desmatamento, além de uma metodologia baseada em GEDI que efetivamente removeu *outliers* de *pixels* estáveis. Além disso, o modelo de altura do dossel proposto por Lang et al. (2022) foi fundamental na exclusão de pixels estáveis com valores incorretos de altura do dossel para cada classe de vegetação nativa, melhorando significativamente a classificação. As etapas para realização do trabalho seguem o fluxograma a seguir:

Figura 3: Fluxograma geral do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

O algoritmo *Random Forest*, utilizado no GEE, requer a configuração de parâmetros específicos, como o número de árvores, uma lista de variáveis e as

amostras de treinamento. Na Coleção 9, o modo de saída *multiprobability* foi adotado para classificações com mais de duas classes, enquanto o modo *probability* foi utilizado para classificações binárias, como aquelas envolvendo pastagens e áreas urbanas.

O processo de classificação na Coleção 9.0 utilizou um conjunto robusto de 119 variáveis comuns aos biomas, incluindo faixas de mosaico anuais e seis variáveis específicas para o Cerrado, herdadas de coleções anteriores. Esse conjunto incluía as bandas originais de refletância do Landsat, diversos índices de vegetação e variáveis obtidas por modelagem de mistura espectral. Para cada variável, foram calculadas estatísticas como medianas, valores para períodos seco e úmido, mínimos, amplitude e desvio padrão. A diversidade de variáveis foi estrategicamente pensada para capturar a complexidade espectral e temporal do bioma Cerrado, contribuindo como variáveis preditoras no mapeamento regional de uso e cobertura da terra. Alencar (2024) destaca que a classificação foi feita anualmente, de forma independente, ao longo de uma longa série temporal. Na avaliação da precisão da Coleção 9.0, aproximadamente

20.000 amostras de referência foram usadas, fornecidas pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG da Universidade Federal de Goiás Campus Samambaia

- UFG e abrangendo o período de 1985 a 2022. Interpretadas por especialistas em vegetação do Cerrado, essas amostras asseguraram alta qualidade e expertise no processo, garantindo resultados confiáveis referentes a uso e cobertura da terra.

Após aquisição das imagens do bioma Cerrado, no período de interesse do estudo, foi realizado o recorte do raster referente à área urbana da cidade de Timon. Posteriormente, o raster foi transformado para vetor e reclassificado em seis classes de estudo: Floresta Vegetação Herbácea e Arbustiva, Agropecuária, Área não vegetada, Área Urbanizada e Corpos d'água. Cada classe reclassificada corresponde ao conjunto de níveis de interesse, de acordo com a legenda da Coleção 9.

Tabela 1: Reclassificação do vetor

CLASSES	NÍVEIS	COR
1. Floresta	3 - 4 - 5 - 6 - 49	#1f8d49

2. Vegetação Herbácea e Arbustiva	11 - 12 - 29 - 32 - 50	#ad975a
3. Agropecuária	9 - 15 - 18 - 19 - 20 - 21 - 35 - 36 - 39 - 40 - 41 - 46 - 47 - 48 - 62	#ffffb2
4. Área não vegetada	23 - 25 - 30	#db4d4f
5. Área Urbanizada	24	#d4271e
6. Corpos d'água	27 - 31 - 33	#0000ff

Fonte: Elaborada pelo autor

3. RESULTADOS

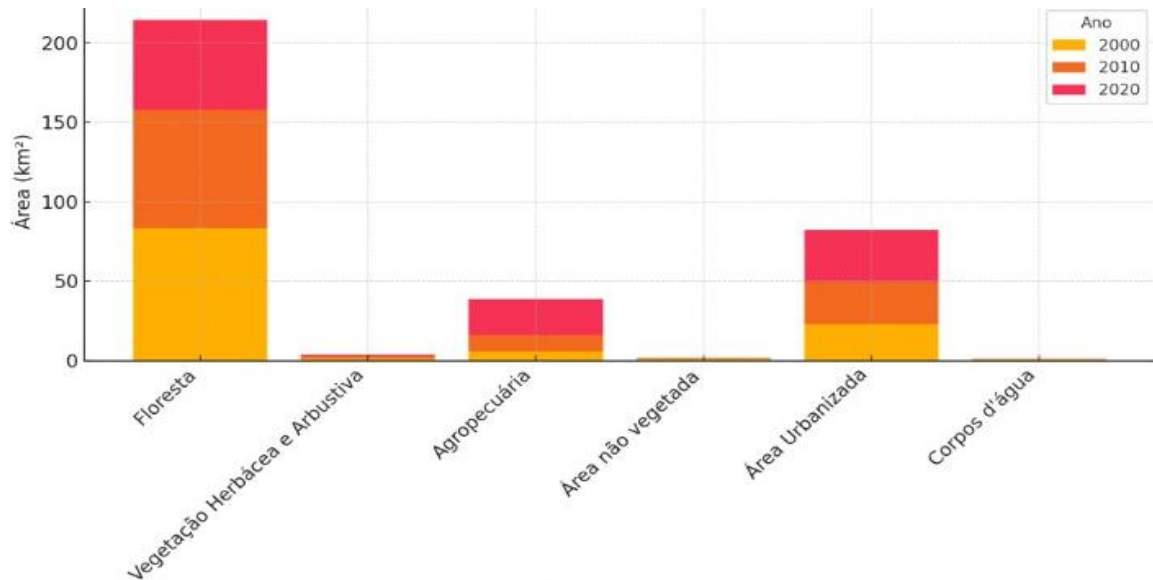
A partir da reclassificação, foi possível obter a classificação da área em interesse de acordo com as classes e também as suas respectivas áreas em km², como é mostrado a seguir.

Tabela 2: Áreas em km² por classe, de acordo com o ano.

CLASSES	Área/km ²		
	2000	2010	2020
Floresta	83.41	74.47	56.74
Vegetação Herbácea e Arbustiva	1.03	1.39	1.23
Agropecuária	5.42	10.61	22.66
Área não vegetada	0.82	0.33	0.41
Área Urbanizada	22.68	26.66	32.6
Corpos d'água	0.37	0.25	0.08

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Gráfico 2 – Mudança nas classes de cobertura do solo em 2000, 2010 e 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Para analisar as mudanças no uso e cobertura da terra apresentadas na tabela 2, entre os anos de 2000, 2010 e 2020, podemos observar tendências preocupantes e reveladoras sobre o impacto das atividades humanas e a transformação ambiental na região urbana de Timon. A redução da área de floresta é um indicativo claro de desmatamento. Essa diminuição representa uma perda significativa de cobertura vegetal nativa, possivelmente impulsionada pela expansão agropecuária e urbana. O desmatamento é uma tendência observada em várias regiões do Cerrado e está frequentemente associado ao aumento de atividades econômicas que requerem a conversão de áreas naturais para cultivo e pastagem. A vegetação herbácea e arbustiva permaneceu relativamente estável, com variações pequenas, que pode indicar que essa classe é menos impactada diretamente pelas atividades de expansão agropecuária e urbana, possivelmente por estar em áreas onde há menor ação antrópica ou onde a topografia e o tipo de solo dificultam a conversão para outros usos.

A expansão da área agropecuária é outra mudança clara, com a área crescendo cerca de 17,24 km² entre 2000 e 2020. Esse aumento reflete uma crescente demanda por áreas de produção agrícola e pecuária, que muitas vezes

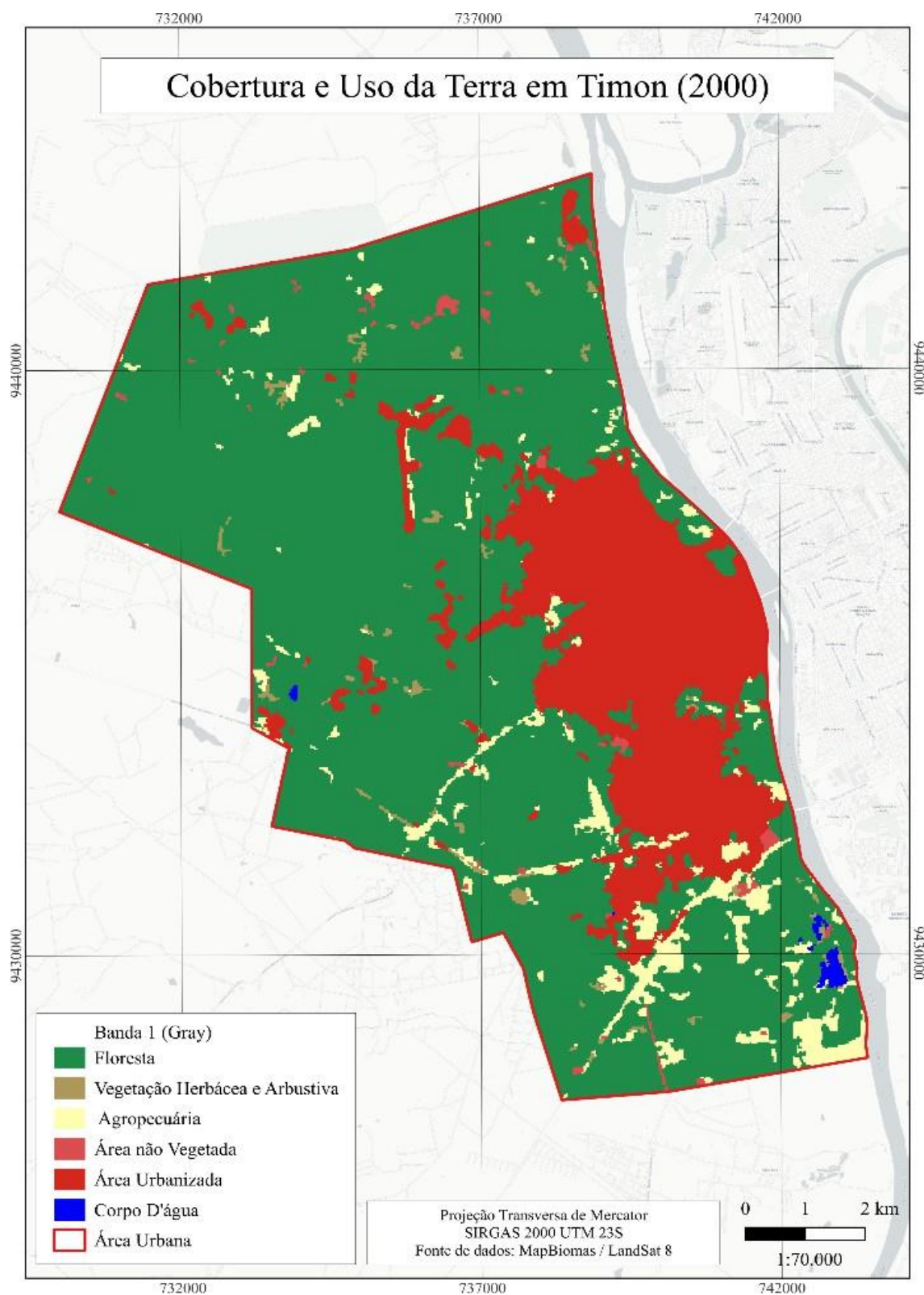
ocorre em perda de vegetação nativa. A expansão agropecuária, quando não realizada de forma sustentável, resulta em degradação do solo, perda de vegetação nativa e aumento de emissões de carbono. No contexto da expansão urbana, é possível perceber uma expansão das áreas urbanizadas em torno de 10 km², entre 2000 e 2020, sendo o crescimento de 2010 para 2020 mais significativo. Ao observar a Figura 6, é possível notar esse crescimento, principalmente nas margens do Rio Parnaíba e na região oeste da área urbana. Tal característica pode ser justificada pelos programas habitacionais do Governo Federal implantados na área urbana de Timon, como o programa Minha Casa Minha Vida, que estimulou o adensamento populacional com o surgimento de novos conjuntos habitacionais como o Residencial Novo Tempo, Padre Delfino, Júlio Almeida dentre outros, que foram entregues no final do ano de 2014. Esse crescimento acompanha a tendência nacional de urbanização e pode estar relacionado ao aumento populacional e à migração para áreas urbanas em busca de melhores oportunidades econômicas e serviços públicos.

Em contrapartida, a área de corpos d'água reduziu de forma considerável, o que pode ser atribuída a mudanças climáticas, diminuição de chuvas, processos de degradação ambiental ou até mesmo ao represamento e desvio de cursos d'água para atividades agrícolas ou urbanas. É possível observar um aumento nas áreas não vegetadas, que passaram de 0,82 km² em 2000 para 0,33 km² em 2010 e 0,41 km² em 2020. Essas áreas podem incluir superfícies expostas, solo degradado ou áreas onde a vegetação foi removida para implantação de infraestrutura urbana ou atividades agropecuárias.

Figura 4: Uso e cobertura em 2000. Fonte: MapBiomass.

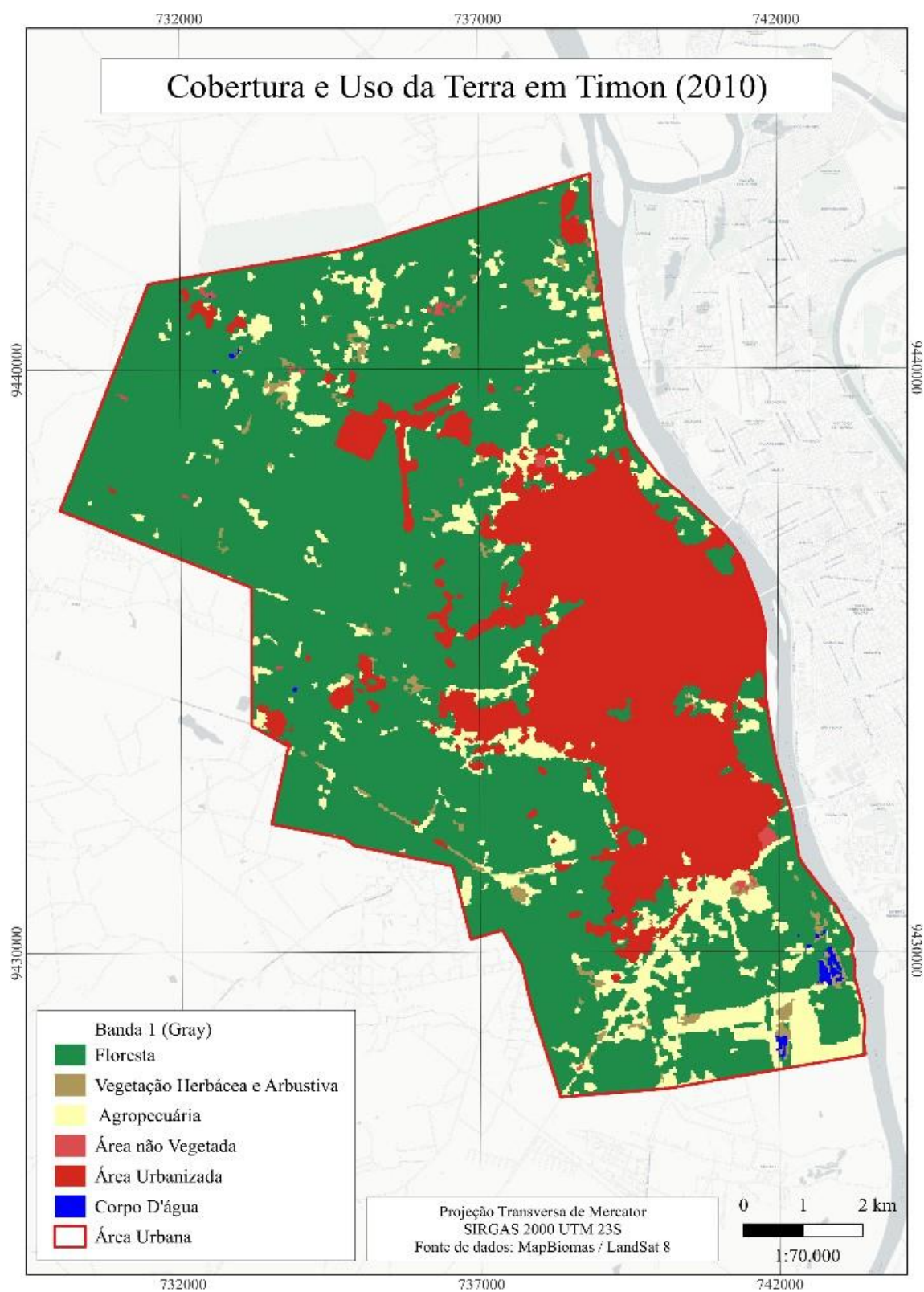
Figura 4: Uso e cobertura em 2000. Fonte: MapBiomass.

Figura 4: Uso e cobertura do solo 2000



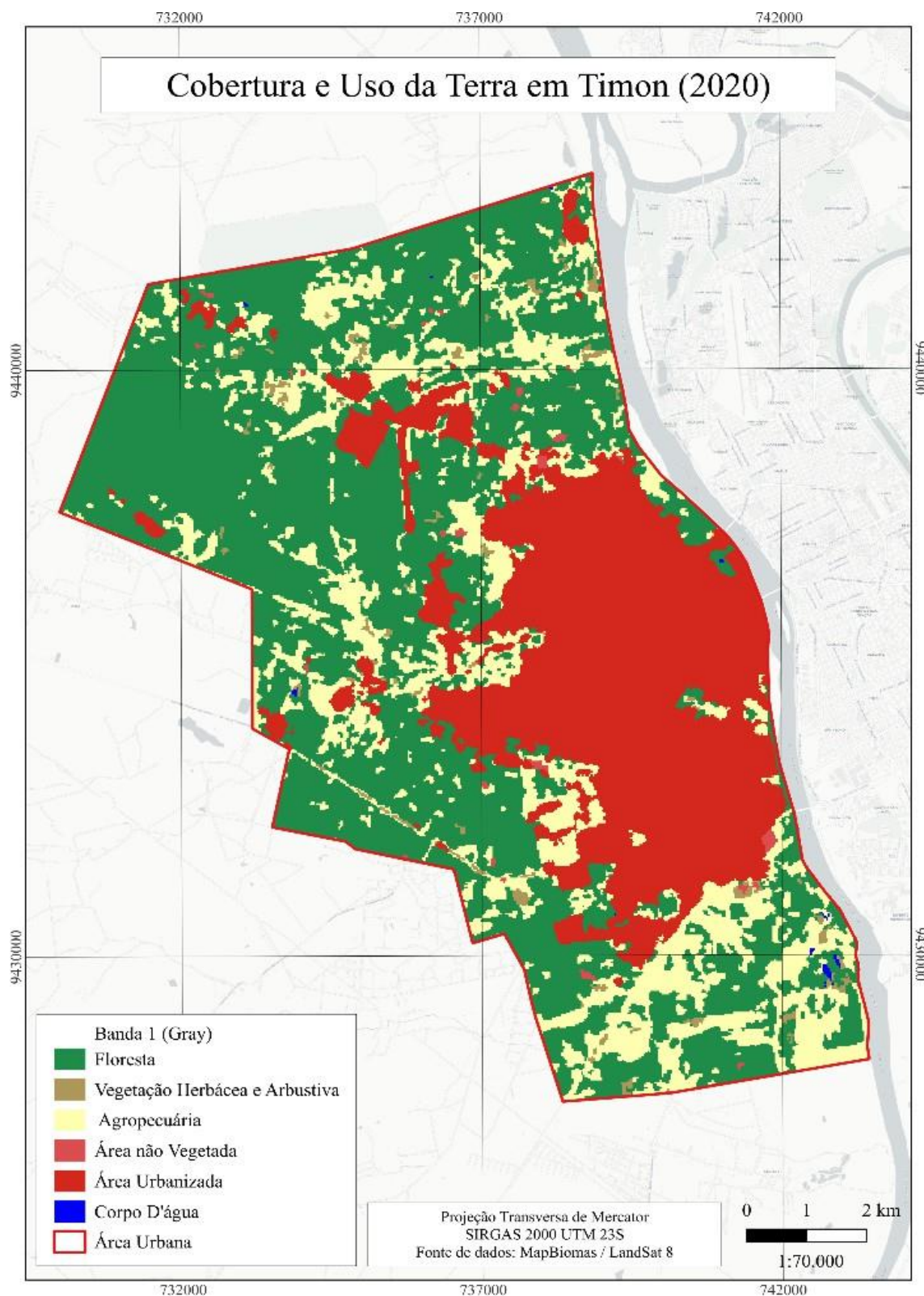
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 5: Uso e cobertura do solo em 2010.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Figura 6: Uso e cobertura do solo em 2020

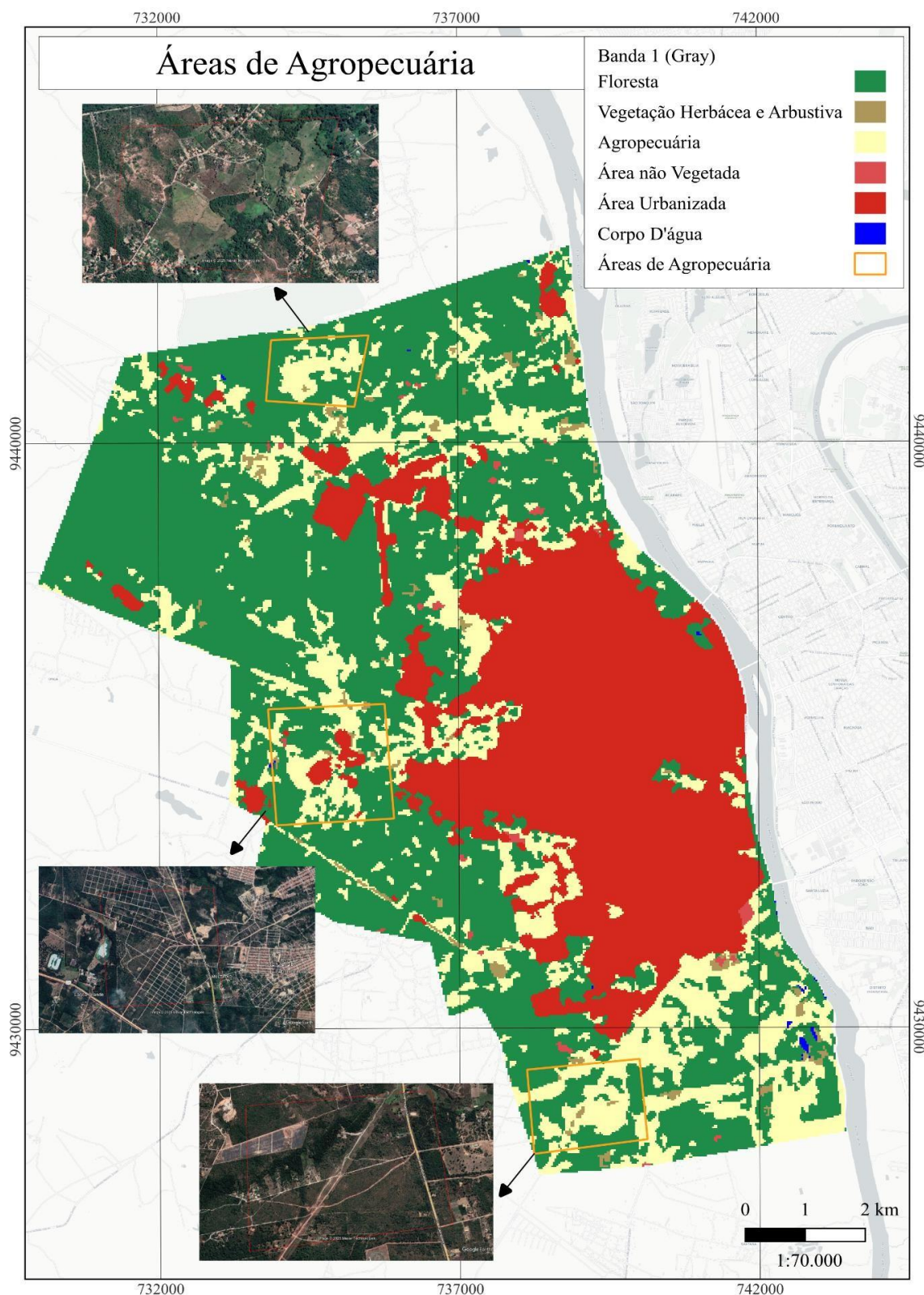


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Essas transformações no uso e cobertura da terra ao longo do período analisado mostram um padrão de alteração ambiental que acompanha o crescimento econômico e populacional da região. Segundo Pacheco Junior (2020), a cidade apresenta uma distribuição intraurbana caracterizada pela concentração de instituições, comércios e serviços ao longo de determinadas vias, enquanto grandes áreas urbanas são exclusivamente residenciais. Nas décadas de 2000 e 2010, fatores como lotes a preços mais acessíveis, proximidade com a zona central de Teresina, fornecimento de energia mais regular e tarifas mais baixas em comparação com a capital piauiense impulsionaram a migração de moradores de Teresina para Timon, além da instalação de serviços na cidade. Esse contexto fomentou a expansão urbana, com novos loteamentos e condomínios residenciais, especialmente na zona sul, onde a disponibilidade de terras era maior e a urbanização encontrava menos barreiras geográficas. O autor ainda defende que esse crescimento populacional gerou uma pressão que ultrapassa a capacidade de infraestrutura e gestão do município, acarretando problemas de mobilidade urbana e especulação imobiliária. A rápida expansão da zona sul atraiu o comércio, serviços e investimentos, incentivando o surgimento de novos loteamentos e conjuntos habitacionais. Esse processo de ocupação do território ao longo dos últimos 20 anos representa um grande desafio para a gestão pública de Timon.

Porém, ao comparar imagens do Google Earth de 2020 com a classificação feita pelo MapBiomas, é possível perceber que o algoritmo “confunde” áreas que são urbanizadas com áreas de agropecuária, o que leva a um equívoco de informações sobre a área. Isso pode ocorrer devido a resolução espacial da imagem.

Figura 7 – Recortes de áreas do Google Earth para visualização da precisão da classificação realizada pelo MapBiomias.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização da expansão urbana é essencial para mitigar impactos ambientais, como a perda de áreas verdes e a impermeabilização do solo, fatores que contribuem para o agravamento de fenômenos como enchentes, problemas com infraestrutura e mobilidade urbana, além de desafios para os gestores públicos.

Gestores urbanos podem usar os dados de sensoriamento remoto para tomar decisões mais informadas sobre o planejamento urbano, o que inclui a definição de zonas de crescimento, áreas de preservação ambiental e a identificação de áreas de risco de ocupação. Com a expansão urbana desenfreada, muitas cidades enfrentam problemas como ocupação irregular de áreas vulneráveis. O sensoriamento remoto ajuda a identificar rapidamente essas áreas e apoiar a implementação de medidas corretivas e oferece um método eficiente e econômico para monitorar o crescimento urbano, minimizando a necessidade de pesquisas em campo e custos operacionais. Isso gera economia de recursos humanos e financeiros, além de proporcionar análises mais rápidas.

Tem-se que levar em consideração a regularização fundiária, que é um aspecto importante do processo de urbanização e está diretamente ligado ao planejamento e à gestão do território. Em Timon, assim como em muitas outras cidades, uma parte significativa do território é ocupada por ocupações irregulares. Esse cenário é intensificado pela localização estratégica de Timon em relação a Teresina, atraindo migração e impulsionando a ocupação informal. Diante disso, é essencial que a gestão municipal se articule com o processo de revisão do Plano Diretor. Isso permitirá a identificação dos melhores instrumentos jurídicos e procedimentos administrativos para enfrentar e reduzir a irregularidade fundiária no município.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. A. et al. **Cerrado – Appendix Collection 9**. Version 1. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/08/Cerrado-Appendix-ATBD-Collection-9.pdf>. Acesso em 20 set. 2024.

CARDOSO, J. A.; AQUINO, C. M. S.; Análise dos usos e cobertura das terras das microbacias hidrográficas do riacho do Roncador-Timon (MA): subsídios ao planejamento ambiental. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 3, n. 2, p. 305-327, 2013.

CHO, D. F. et al. **Desempenho do Algoritmo de Classificação de Imagens Random Forest para Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo no Cerrado Brasileiro**. 2021.

GOOGLE (2024). Google Earth Engine (GEE). <https://earthengine.google.com/>. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. **Portal Cidades IBGE**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Acesso em: 20 set. 2024;

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**.

2nd ed. Pearson Prentice Hall, 2009.

LANG, N., JETZ, W., SCHINDLER, K., & WEGNER, J. D. (2022). **A high-resolution canopy height model of the Earth**.

MAPBIOMAS - **Conheça os passos da metodologia de cobertura e uso da terra**.

Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/metodo_cobertura_e_uso/. Acesso em: 12 out. 2024.

MAPBIOMAS (2024). **Plataforma MapBiomias**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 12 out. 2024.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de; Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília**. Brasília, 2012.

NASA. **Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI): Revealing the 3D structure of the world's forests**. Disponível em: <https://gedi.umd.edu>. Acesso em: 15 dez. 2024.

PACHECO JUNIOR, J. M. **Território Paralelo. O estudo aborda os assentamentos informais, com estudo do Residencial Padre Delfino no Município de Timon**. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em:

https://www.fredericodeholanda.com.br/orientacoes/mestrado/2020_Jose_Mario_Pacheco_Junior_-_Dissertacao_de_Mestrado.pdf. Acessado em: 14 de ago. De 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TIMON. **Relatório de Leitura Técnica, 2021 – 2022**. SEMPLAN PMT – 2024.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.