UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS NA PAISAGEM CAUSADOS PELA DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR-101 EM ALAGOAS: UM ESTUDO DE CASO NO TRECHO DE LIGAÇÃO ENTRE OS MUNICÍPIOS DE TEOTONIO VILELA E SÃO SEBASTIÃO

GABRYEL DE SOUZA SANTOS

Rio Largo, AL

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS NA PAISAGEM CAUSADOS PELA DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR-101 EM ALAGOAS: UM ESTUDO DE CASO NO TRECHO DE LIGAÇÃO ENTRE OS MUNICÍPIOS DE TEOTONIO VILELA E SÃO SEBASTIÃO

GABRYEL DE SOUZA SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia de Agrimensura.

Orientadora: Profa. Dra. Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira.

Rio Largo, AL

2025

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

S237a Santos, Gabryel de Souza.
Avaliação dos impactos na paisagem causados pela duplicação da rodovia BR-101 em Alagoas: um estudo de caso no trecho de ligação entre os municípios de Teotonio Vilela e São Sebastião. / Gabryel de Souza Santos. – 2025.

41 f.: il.

Orientador(a): Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura) – Graduação em Engenharia de Agrimensura, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Duplicação de rodovias. 2. Geoprocessamento. 3. Sensoriamento remoto. 4. Uso e ocupação do solo. 5. Análise espaço-temporal I. Título.

CDU: 528.8

FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRYEL DE SOUZA SANTOS

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS NA PAISAGEM CAUSADOS PELA DUPLICAÇÃO DA RODOVIA BR-101 EM ALAGOAS: UM ESTUDO DE CASO NO TRECHO DE LIGAÇÃO ENTRE OS MUNICÍPIOS DE TEOTONIO VILELA E SÃO SEBASTIÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia de Agrimensura.

Aprovado em 22/05/2025

Banca Examinadora

gov.br Documento assinado digitalmente
RAFAELA FACIOLA COELHO DE SOUZA FERREIR
Data: 04/06/2025 15:32:33-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. DSc. **Rafaela Faciola Coelho de Souza Ferreira**

Centro de Ciências Agrarias
Universidade Federal de Alagoas

gov.br Documento assinado digitalmente
MICHELLE ADELINO CERQUEIRA
Data: 04/06/2025 16:01:56-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. MSc. **Michelle Adelino Cerqueira**

Docente

gov.br Documento assinado digitalmente
AYRTON MARTIM OLIVEIRA DIAS MELO
Data: 04/06/2025 15:38:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. MSc. **Ayrton Martim Oliveira Dias Melo**

Professor substituto

Dedicado a todos que
vagueiam, mas nunca estão
perdidos

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a quem me possibilitou existir e que mandou seus anjos me deixarem no melhor lugar, com a melhor família, Deus.

Agradecer aos meus pais, Paulo José e Ana Paula, aqueles que me possibilitaram acima de tudo estar aqui e sempre deram tudo de si, me aconselharam ao melhor, me possibilitaram sempre tomar minhas escolhas, cometer meus erros e me apoiam incondicionalmente em qualquer aspecto da minha vida. Obrigado painho e mainha vocês são os melhores.

Um agradecimento triplo aos Paulos Topógrafos da família, Paulo Pula, Paulo Santos e Paulo Neto, respectivamente meu pai, meu avô e meu tio, que me fizeram escolher este curso e me deram os melhores exemplos para seguir, quem sabe um dia eu consiga me igualar a vocês.

A todos os meus familiares, amigos e colegas de curso, sempre foram minha rede de apoio e me arrancam risadas genuínas, aqueles dividem cafés, almoços e jantares comigo saibam que todos os momentos que tivemos juntos me fizeram chegar até aqui.

Ao Neto Cavalcante, literalmente meu vizinho, hoje colega de curso, talvez eu seja responsável por isso, e acima de tudo um grande amigo, me ouviu falar sobre como Agrimensura é difícil, mas maravilhosa, e sempre me da uma dose de positividade e motivação, e conselhos que eu ignoro como teimoso que sou, estendo essas palavras a toda a nossa tripulação, Pedro, Marcos e Thiago, os verdadeiros nakamas, começou como algo pequeno a qual nos reuníamos às quartas-feiras e se tornaram os irmãos que a vida me deu.

A Bianca Lima, a pessoa que dividiu dois anos sendo minha colega de estágio, me viu nos piores e nos melhores humores que eu poderia ter diariamente e permaneceu sempre sendo essa pessoa como uma bala Fini, azeda, porém, quando pegamos gosto se torna a coisa mais doce e maravilhosa do mundo. A você confiaria totalmente minha vida profissional porque sei que nunca faria nada medíocre, obrigado pela sua amizade, competência e por todas as xicaras de cafés e cigarros (que eu não fumei) ao seu lado.

Ao agora Eng. Eduardo Melo, a pessoa que mora comigo e divide as contas, conhecido pelos cantos do curso como meu marido, sempre tem aquela dica para dar, seja de lugares para ir, dates para ter, roupas para usar etc., sempre estar lá para me ouvir dizendo o quanto foi massa colocar uma roda gigante no lugar e milhões de outras coisas, imagino que estar casado não é isso porque todo mundo reclama e nós só temos coisas boas, um dia seguiremos nossas vidas e nossos relacionamentos, casaremos e teremos lindas famílias mas sempre vou pegar minha cadeira de praia e te encontrar pra tomar uma dose na beira da praia.

Para minha patotinha aqui do curso, Aguinaldo José, Kaio Belo e Matheus Lima, tenho certeza de que seremos colegas profissionais incríveis, nossa amizade sempre será levada para a vida, nossos papos por aí pelo campus me ensinaram mais que muitas coisas vistas em sala de aula, além de que não teria feito metade daqueles trabalhos sozinhos.

Agradecer claro a minha orientadora Drª Rafaela Faciola, como ela mesmo diz orientadora não uma prefeita, puxou nas minhas orelhas, mas sempre acreditou no meu potencial, nem só para esse TCC como para o PIBIC que fizemos anteriormente, e contribui infinitamente com a conclusão curso.

Aos professores do Curso: Michelle Cerqueira uma mãe, sempre gentil e compreensiva, mas suas disciplinas foram uma das que eu mais lembro, além disso fizemos um PIBIC juntos e ele foi a base para o meu TCC; Ao Ayrton que já chegava na segunda feira de manhã botando pra lascar na turma com seus TPs, adorei sua visão mais pratica sobre o curso e sempre de forma aleatória me pedia favores para tirar fotos de terrenos em São Miguel (até hoje não entendo porque), e é a melhor pessoa para se assistir uma palestra ou apresentação do lado, comentários muito ácidos e engraçados; A Juciela que parece sempre ser a voz da razão e que de certa forma foi uma das professoras mais exigentes mas que mais deixou gravado seus ensinamentos, sou muito orgulhoso do meu trabalho de parcelamento 1, minha vila da folha; Ravi o professor mais tranquilo de todos, a paz em pessoa, adorava as provas em duplas e seus trabalhos práticos; Luciana me ensinou a dor que é desenhar na mão, e como detalhistas temos que ser; Jhonathan um dos professores que eu tive menos contato mas pelas breves conversas que tivemos e pelo o que me contam uma pessoa muito parecida comigo, sempre está muito acelerado mas querendo levar sua nerdice em Agrimensura para outras pessoas; Rosilene que me ensinou a sempre organizar minhas ideias de forma logica e clara nas provas, lição duramente aprendida; Fabiane que foi a primeira professora da minha vida universitária e que perguntou “o que é um algoritmo”, hoje todo mundo sabe o que é mas em 2017 eu fazia uma mínima ideia errada; Ao Cicero que eu não sei como passei naquele tanto de disciplina, e a todos os demais professores que passaram que construíram imensamente para minha formação.

Para os meus chefes atuais e todo o pessoal da KM ENGENHARIA, que sempre acreditaram no meu potencial e convivem comigo diariamente Kleyton Vieira, Marcos Santiago, Bruno Gustavo, Eduardo Gustavo, Handel Rodrigues, Marcelo Luna e ao saudoso Vandoir Luiz.

Para o pessoal da antiga SEDET, que vou sentir saudades especialmente para meu colega de profissão Alysson Luiz, o chefe, e a minha mentora lá e colega no PIBIC, Celia Caroline.

E finalmente, mas não menos importante a mim, investi lagrimas, suor, sangue e muito tempo da vida para esse curso, acordando às 4h da manhã e começando o dia logo cedo como pessoa do interior que sou, mas que aprendi o valor de ser um Engenheiro Agrimensor espero nunca decepcionar todos vocês citados e nunca decepcionar a mim mesmo como profissional.

Regrets I've had a few,

But then again too few to mention.

I did what I had to do,

And saw it through without exemption.

I planned each chartered course,

Each careful step along the by way.

And more, much more than this,

I did it my way

My Way - Frank Sinatra

RESUMO

Este trabalho realiza uma avaliação abrangente dos impactos na paisagem provocados pela duplicação da Rodovia BR-101 no trecho entre os municípios de Jequiá da Praia e São Sebastião, no estado de Alagoas. A aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, a aplicação permitiu realizar um estudo espaço-temporal entre os anos de 2011 e 2024, identificando e quantificando as transformações ambientais e territoriais decorrentes da obra. Para as análises, utilizaram-se como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que mede a quantidade e condição da vegetação, e o Índice de Área Construída por Diferença Normalizada (NDBI), que permite áreas urbanas e construídas e caso houver suas expansões. Além disso, a classificação supervisionada auxiliou na determinação dos tipos de uso e ocupação do solo. Os resultados evidenciam um crescimento urbano significativo, com incremento superior a 370% nas áreas urbanizadas e aumento das áreas de solo exposto, refletindo a expansão das áreas construídas em detrimento da cobertura vegetal. Observou-se ainda uma redução das áreas de vegetação rala e corpos d'água, o que indica processos de erosão e modificação no regime hídrico que podem comprometer a sustentabilidade ambiental. A duplicação da rodovia, enquanto avanço importante para a infraestrutura e mobilidade regional, associou-se ao aumento da fragmentação dos habitats naturais, mudanças nos cursos d'água e à intensificação dos processos erosivos, destacando os desafios de conciliar desenvolvimento econômico e proteção ambiental. O trabalho demonstra a importância do monitoramento contínuo das áreas em transição, por meio de ferramentas de analise geoespacial para fornecer subsídios à tomada de decisão e à elaboração de políticas públicas eficazes voltadas à restauração de áreas degradadas e uso racional do solo. Por fim, ressalta que o equilíbrio entre crescimento urbano e preservação ambiental é fundamental para garantir a sustentabilidade e a qualidade ambiental da região, especialmente em áreas que passam por intensas transformações devido a projetos de infraestrutura viária.

Palavras Chave: duplicação de rodovias; geoprocessamento; sensoriamento remoto; uso e ocupação do solo; análise espaço-temporal;

ABSTRACT

This study presents a comprehensive evaluation of the landscape impacts caused by the duplication of the BR-101 highway between the municipalities of Jequiá da Praia and São Sebastião, in the state of Alagoas, Brazil. Utilizing advanced geoprocessing and remote sensing techniques, a spatio-temporal analysis was conducted covering the period from 2011 to 2024. Key indicators employed included the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess vegetation quantity and condition, and the Normalized Difference Built-up Index (NDBI) to identify urban expansion. Supervised classification methods were applied to accurately determine land use and land cover changes. The results revealed significant urban growth exceeding 370% in built-up areas and an increase in exposed soil, indicating an expansion of constructed areas at the expense of natural and regenerating vegetation cover. Reductions in sparse vegetation and water bodies were also observed, suggesting erosion processes and alterations in hydrological regimes that may threaten environmental sustainability. While the highway duplication improved regional infrastructure and mobility, it was associated with increased habitat fragmentation, modifications of watercourses, and intensified erosion processes, underscoring the challenges of balancing economic development with environmental protection. The study highlights the importance of continuous monitoring of transitional areas through geospatial analysis tools to support decision-making and inform public policies aimed at restoring degraded areas and promoting sustainable land use. Achieving a balance between urban growth and environmental preservation is essential to ensure the sustainability and environmental quality of regions experiencing significant infrastructure-driven transformations.

Keywords: highway duplication; geoprocessing; remote sensing; land use and land cover; spatio-temporal analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de NDVI para os anos de 2003 e 2018 22
Figura 2:Mapa de Localização da Área de Estudo 25
Figura 3: Fluxograma da Metodologia 26
Figura 4: Área de Interferência da Br. 29
Figura 5: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para o trecho Teotônio Vilela – São Sebastião. 32
Figura 6: Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas para o trecho Teotônio Vilela – São Sebastião. 34
Figura 7: Variação da paisagem entre os anos de 2011 e 2024 para o trecho Teotônio Vilela – São Sebastião. 36

LISTA DE TABELAS

tabela 1: Classificação Do Ndvi 21
Tabela 2: Especificações Sensor Tm.....27
Tabela 3: Especificações Sensor Oli 28
Tabela 4: Variação Geral De Área De Cada Classe Entre 2011 E 2024. 37
Tabela 5: Área Das Classes No Ano De 2011.....38
Tabela 6: Área Das Classes No Ano De 2024.....39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variação Dos Valores Para O Ndvi 2011 E 2024.....334
Gráfico 2: Variação Percentual Da Cobertura De Solo Entre 2011 E 2024.....338

Sumário

1. INTRODUÇÃO 15
1.1 Justificativa e Relevância do Estudo 16
1.2 Objetivos 17
2. REFERENCIAL TEORICO 18
2.1 Duplicação de Rodovias 18
2.1.1 Impactos Positivos 18
2.1.2 Impactos Negativos 18
2.2 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto 19
2.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) 20
2.2.2 Índice de Área Construída Por Diferença Normalizada (NDBI) 22
2.2.3 Classificação Supervisionada 23
3. ÁREA DE ESTUDOS 25
4. METODOLOGIA 26
4.1 Obtenção dos Dados Vetoriais e Rasters 26
4.1.1 Pré-Processamento 28
4.1.2 Processamento 28
4.1.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) 29
4.1.4 Índice de Área Construída por Diferença Normalizada (NDBI) 29
4.1.5 Classificação Supervisionada 29
5. RESULTADOS 31
5.1 Alterações na Cobertura Vegetal 31
5.2 Expansão de Áreas Urbanas e Construídas 33
5.3 Análise Geral da Variação do Uso e Ocupação do Solo entre 2011 e 2024 35
5.4 A análise espaço-temporal realizada para a área de influência da BR 38
6. CONCLUSÃO 41
REFERENCIAS 42

1. INTRODUÇÃO

A implantação de rodovias tem origem remota, remontando aos tempos antigos, quando tribos e aldeias construíam pontes de madeira, cordas e trilhas de ligação entre diferentes regiões com o objetivo de facilitar o deslocamento, o transporte de alimentos e estabelecer conexões entre comunidades. Atualmente, esse processo evoluiu consideravelmente, contando com soluções de engenharia mais sofisticadas e eficientes. A expansão das redes rodoviárias desempenha papel fundamental na economia, permitindo o escoamento da produção, facilitando o deslocamento de pessoas e bens, além de impulsionar o desenvolvimento social e econômico das áreas conectadas (Salomão *et. al*, 2019).

A necessidade de maior velocidade, praticidade e economia no transporte de cargas e indivíduos impulsionou a realização de obras de engenharia de grande porte que interligam diferentes regiões. A pavimentação dessas vias, além de proporcionar maior comodidade na circulação, desempenha papel na redução de custos logísticos e na ampliação do acesso a localidades anteriormente isoladas. Contudo, esse processo também apresenta desafios ambientais e sociais, exigindo um planejamento criterioso para minimizar os impactos negativos, como desmatamento, poluição e conflitos sociais (Lopes, 2015).

O impacto das rodovias é multifacetado, envolvendo efeitos ambientais, sociais e econômicos. As obras de construção e ampliação de rodovias tendem a gerar passivos ambientais, como destruição de habitats, degradação de recursos naturais, poluição do ar e da água, além de alterações paisagísticas. Essas intervenções também podem afetar o patrimônio histórico, cultural e arqueológico da região, demandando a realização de estudos específicos para identificar e mitigar esses impactos (Warzocha Neto, 2015).

Dessa forma, a criação de rodovias, enquanto ferramenta de progresso econômico, requer uma abordagem equilibrada que considere tanto os benefícios quanto os efeitos adversos ao meio ambiente e à sociedade, promovendo uma infraestrutura que atenda às necessidades de mobilidade de forma sustentável e responsável (Salomão *et. al*, 2019).

A rodovia BR-101 é uma rodovia federal que atravessa o litoral Leste brasileiro no sentido Norte-Sul. Inicia na cidade de Touros no Rio Grande do Norte, e finaliza em São José do Norte no Rio Grande do Sul, cruzando doze Estados no Brasil. Na porção Nordeste, esta rodovia está pavimentada há mais de 30 anos e tem um papel importante não somente em relação ao transporte de pessoas, cargas ou bens envolvem estratégias voltadas ao desenvolvimento de indústrias, serviços e turismo na região.

Há mais de duas décadas, o Governo Federal trabalha para entregar a duplicação da rodovia BR-101 Nordeste em um eixo que integra 1047 km, percorrendo desde a cidade de Natal no Rio Grande do Norte, à Feira de Santana na Bahia. O Estado de Alagoas compõe essa duplicação com aproximadamente 250 km de obra ligando o Estado à Pernambuco e Sergipe.

Dentre os quilômetros entregues da duplicação pelo governo em Alagoas, têm-se os km 166 a km 228 de obra entre os municípios de Teotônio Vilela São Sebastião. A implantação desse trecho possibilita analisar as interferências e os impactos causados na região pela construção da segunda faixa para o tráfego de veículos. Independente dos benefícios trazidos para o Estado, uma obra rodoviária pode causar diversos impactos ao seu entorno, seja positivo ou negativo.

Neste sentido, este trabalho analisa as interferências através do uso de ferramentas do geoprocessamento a fim de avaliar no espaço e no tempo as transformações ocorridas na paisagem pela implantação da nova via no Trecho entre Teotônio Vilela e São Sebastião. Essas análises permitem verificar o que ocorreu tanto em áreas urbanas como em áreas rurais. Além disso, é possível fazer um levantamento dos atributos físicos e ambientais que permitem calcular vários aspectos em relação à área da nova faixa duplicada.

Para tanto, as análises consideraram imagens com idades temporais do ano de 2011 e 2024, em que foram trabalhadas através do Índice de Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI) e a classificação supervisionada com o objetivo de analisar mudança no uso e ocupação do solo que a duplicação da rodovia proporcionou.

1.1 Justificativa e Relevância do Estudo

A duplicação da rodovia BR-101 no Estado de Alagoas, especialmente entre os municípios de Jequiá da Praia e São Sebastião, é um projeto de infraestrutura que visa melhorar a mobilidade e o escoamento de mercadorias na região. No entanto, a execução desse projeto pode gerar impactos ambientais, sociais e econômicos significativos, tornando necessária uma análise integrada e precisa dos impactos.

A duplicação da rodovia pode gerar diversos impactos negativos tanto no meio ambiente quanto na sociedade e na economia local. No âmbito ambiental, essa intervenção pode resultar na perda de habitats naturais e na fragmentação de ecossistemas, o que compromete a biodiversidade da região. Além disso, há alterações nos padrões de escoamento de água e sedimentação, além do aumento da poluição do ar e da água, fatores que podem afetar a saúde dos recursos naturais e a qualidade de vida das comunidades próximas.

No aspecto social e econômico, a duplicação da rodovia pode ocasionar o deslocamento de comunidades tradicionais e a perda de terras, além de contribuir para o aumento do tráfego e da poluição sonora, o que impacta a rotina e o bem-estar da população local. Ademais, essa obra pode promover mudanças nos padrões de uso do solo, influenciando a economia regional de forma significativa.

Diante desses desafios, é fundamental realizar uma análise integrada e precisa dos impactos da duplicação da Rodovia BR-101 entre Teotônio Vilela e São Sebastião. O uso de ferramentas de

geoprocessamento pode ser uma abordagem eficaz para avaliar os impactos ambientais, sociais e econômicos da obra, considerando a complexidade e a diversidade da região.

1.2 Objetivos

Gerais:

Este trabalho propõe analisar as transformações ocorridas na paisagem com a duplicação de um trecho da rodovia BR-101 no Estado de Alagoas e sua interferência no meio físico, através de uma análise espaço-temporal utilizando técnicas de geoprocessamento.

Específicos:

• Coletar dados espaciais e ambientais sobre a área afetada pela duplicação da BR-101, utilizando documentos oficiais e informações geográficas.

• Analisar as modificações ambientais através de mapas de uso e ocupação do solo das modificações ambientais após a implantação da duplicação da rodovia BR-101 trecho Alagoas-Pernambuco.

• Quantificar os impactos físicos desta obra, incluindo área ocupada, vegetação, cursos d’água afetados e interferência urbana.

2. REFERENCIAL TEORICO

Nesse tópico foi abordado os conceitos essenciais sobre duplicação de rodovias, impactos ambientais e as técnicas de geoprocessamento utilizadas para avaliação.

2.1 Duplicação de Rodovias

A duplicação de rodovia refere-se ao processo de expansão de uma via existente, criando uma segunda pista em cada sentido, com o objetivo de aumentar a capacidade de tráfego e melhorar a segurança. Essa intervenção é frequentemente realizada em rodovias que apresentam altos volumes de tráfego e congestionamentos frequentes, visando facilitar o fluxo de veículos, reduzir tempos de viagem e aumentar a eficiência do transporte. Contudo, a implementação de projetos como a duplicação de rodovias gera uma série de impactos ambientais, que podem ser tanto positivos quanto negativos (Warzocha Neto, 2015).

Os impactos ambientais são entendidos como alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causadas por atividades humanas. Esses impactos podem resultar de ações intencionais, como a construção de infraestrutura, ou ações não intencionais, como acidentes. De acordo com a legislação brasileira, o impacto ambiental deve ser avaliado em termos de suas consequências sobre a saúde da população, as atividades socioeconômicas, a biota, e a qualidade dos recursos ambientais. Portanto, na avaliação de um projeto de duplicação de rodovia, deve-se considerar não apenas os benefícios esperados, como a redução de congestionamentos e o aumento da segurança viária, mas também possíveis negativos, como a alteração de habitats, aumento da poluição e impactos sociais (Warzocha Neto, 2015).

2.1.1 Impactos Positivos

A criação de rodovias geralmente melhora o acesso a áreas remotas, facilitando o transporte de pessoas e mercadorias. Isso impulsiona o desenvolvimento econômico local e aumenta a disponibilidade de bens e serviços. Lopes, (2015) destaca que a necessidade de rapidez e praticidade no transporte de cargas e pessoas levou à construção de grandes obras de engenharia que conectam diversas regiões. Além disso, a construção e operação de rodovias geram empregos diretos e indiretos, contribuindo para a melhoria da renda local.

2.1.2 Impactos Negativos

Por outro lado, a construção de rodovias pode aumentar o volume de tráfego nas comunidades, resultando em poluição sonora, da água e do ar, o que impacta a saúde e o bem-estar dos residentes. Meneses, (2001) aponta que o aumento do tráfego pode trazer consequências negativas, como a degradação da infraestrutura urbana. Além disso, em cidades pequenas que não estão preparadas para suportar o aumento do tráfego de veículos pesados, a deterioração das vias pode aumentar custos de manutenção e afetar a segurança. Também é importante considerar os problemas sociais, já que o

aumento do trânsito pode elevar a criminalidade e resultar em ocupações irregulares nas margens das rodovias, conforme mencionado por Battistelli (2007).

2.2 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto

O geoprocessamento é um conjunto de técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados com a coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados, com o objetivo de gerar novos dados ou informações espaciais ou georreferenciadas. Ele envolve a manipulação de informações que possuem uma característica principal de localização, ou seja, estão ligadas a uma posição específica do globo terrestre por meio de coordenada. (Zaidan, 2017).

Essas atividades típicas implicam o uso de métodos como a análise espacial, manipulação de banco de dados geográficos, processamento de imagens (sensoriamento remoto), automação cartográfica e análise de redes, embora o texto não detalhe esses métodos de forma específica. Assim, o foco está mais na descrição geral das operações envolvidas no geoprocessamento do que numa enumeração de métodos particulares. (Zaidan, 2017).

Segundo Melo, 2022. As ferramentas de geoprocessamento, especialmente o sensoriamento remoto, desempenham um papel importante na análise dos impactos ambientais relacionados à duplicação de rodovias. Essas tecnologias contribuem de diversas maneiras para a coleta de dados e a tomada de decisões mais embasadas. Entre as principais influências do sensoriamento remoto nesse contexto, destacam-se: a eficiência na coleta de dados e na obtenção de informações em tempo real; a integração de dados multidimensionais, permitindo uma análise mais completa do ambiente; o monitoramento contínuo das áreas afetadas, facilitando a detecção de mudanças ao longo do tempo; a modelagem e simulação de cenários futuros, auxiliando na previsão de impactos; o apoio à tomada de decisões baseadas em evidências concretas; a promoção de maior transparência e participação pública nos processos de planejamento e gestão; e a identificação precoce de impactos negativos, possibilitando ações mitigadoras mais eficazes. Assim, essas ferramentas garantem uma gestão ambiental mais eficiente e sustentável durante projetos de duplicação de rodovias.

O sensoriamento remoto é um conjunto de técnicas que permitem a obtenção de informações sobre um objeto ou área sem a necessidade de contato direto, utilizando dispositivos conhecidos como sensores remotos. Esses sensores capturam a radiação eletromagnética refletida ou emitida por superfícies da Terra, permitindo a análise de fenômenos ambientais como desmatamento, erosão e mudanças na cobertura do solo (Quartaroli et al., 2014; Novo & Ponzoni, 2001).

Essa tecnologia tem se mostrado extremamente eficaz no monitoramento de ambientes, proporcionando dados cruciais para a tomada de decisões em planejamento urbano e gestão de recursos naturais (Tanajura, Antunes & Uberti, 2005).

Os índices espectrais, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), são utilizados para identificar a presença e a distribuição espacial da vegetação, permitindo o monitoramento de sua evolução ao longo do tempo. Eles auxiliam na avaliação da qualidade ambiental e do vigor das plantas, indicando condições de crescimento e possíveis impactos ambientais. Além disso, facilitam a detecção de mudanças na cobertura vegetal resultantes de ações naturais ou humanas, como desmatamento, queimadas e expansão urbana. Esses índices são aplicados em diversas áreas, como o manejo racional na agricultura de precisão, o monitoramento da saúde pública, por exemplo, no estudo da relação entre vegetação e doenças e a gestão de áreas urbanas e de conservação ambiental. Dessa forma, o índice de vegetação torna-se uma ferramenta essencial para estudos ambientais, planejamento territorial e tomado de decisões governamentais, por oferecerem dados precisos, confiáveis e de baixo custo operacional. (ALVES *et. al,* 2009).

O Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI) apresenta grande importância no mapeamento e monitoramento da expansão urbana, pois é um índice espectral especificamente desenvolvido para identificar áreas construídas a partir de imagens de satélite. Sua principal utilidade reside na capacidade de destacar as áreas urbanizadas por meio da diferença normalizada entre as bandas do infravermelho médio e infravermelho próximo, o que facilita a detecção do crescimento das cidades ao longo do tempo.

Ainda que apresente limitações, como a confusão espectral com áreas de solo exposto, que podem ser erroneamente classificadas como áreas urbanizadas, o NDBI é considerado uma ferramenta valiosa para o planejamento urbano e a gestão ambiental, já que possibilita monitorar as mudanças territoriais e subsidiar decisões relacionadas ao desenvolvimento sustentável (Da Luz et al.,2019).

2.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI é um indicador amplamente utilizado em sensoriamento remoto para medir a vegetação em uma determinada área, sendo calculado pela diferença entre os valores de reflectância no infravermelho próximo (NIR) e no vermelho (RED). (Rouse, *et. al*, 1974).

$$EQUAÇÃO\ 1: \frac{\#\text{NIR}\# - \#\text{RED}\#}{\#\text{NIR}\# + \#\text{RED}\#}$$

Onde:

NIR – Banda infravermelho próximo;

RED – Banda vermelha.

Ele varia de -1 a +1, onde valores próximos de +1 indicam áreas com densa vegetação, enquanto valores próximos de 0 podem representar solo exposto ou superfícies não vegetais, e valores negativos geralmente correspondem a água ou áreas com pouca vegetação. Sua eficácia na separação

de áreas agrícolas e verdes de outros tipos de uso da terra é bem documentada, embora possa apresentar limitações ao diferenciar áreas verdes urbanas, resultando em uma possível subestimação da expansão urbana (Leal, 2024).

De acordo com Dos Santos (2016), a classificação do NDVI pode ser segmentada em seis classes temáticas: corpos d'água, solo exposto, vegetação herbácea rala, pastagem, vegetação arbustiva de porte médio e vegetação densa. Essas classes são definidas por intervalos de valores de NDVI, conforme detalhado na Tabela 01.

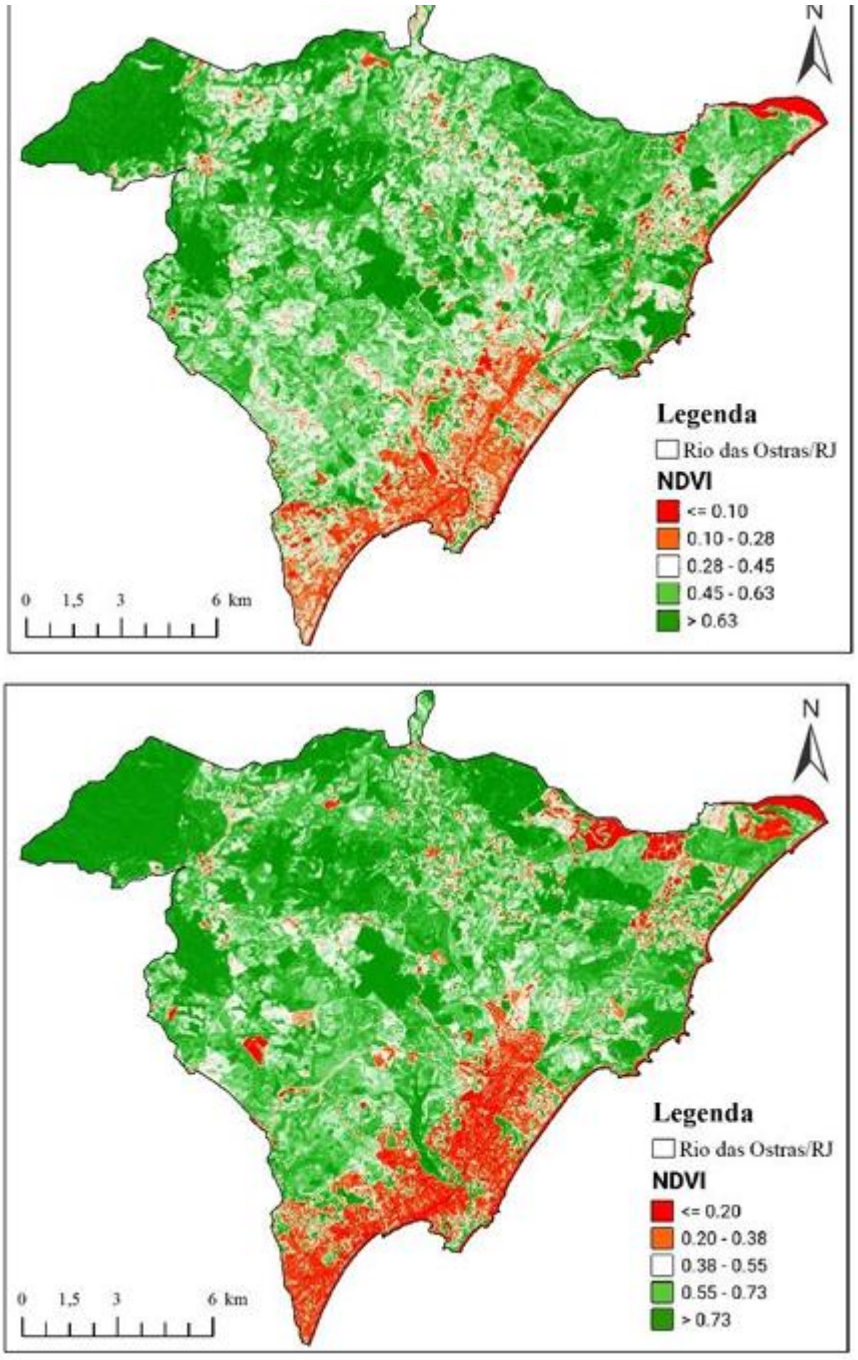
Tabela 1: Classificação do NDVI

CLASSE	DESCRIÇÃO	INTERVALO
I	Corpo d'água	-1,00 a 0,00
II	Solo exposto	0,00 a 0,122
III	Vegetação rala	0,122 a 0,244
IV	Pastagem	0,244 a 0,366
V	Vegetação de médio porte	0,366 a 0,488
VI	Vegetação densa	0,488 a 1,00

Fonte: Dos Santos (2016) adaptada.

Segundo da Da Luz *et. al.* (2019) O NDVI foi utilizado para dividir as terras agrícolas e verdes de outros usos do solo, permitindo a identificação e mapeamento das áreas vegetadas no município de Rio das Ostras. Essa distinção é importante para diferenciar as áreas verdes urbanas das áreas construídas e do solo exposto. O NDVI auxilia na avaliação da expansão urbana ao indicar variações na cobertura vegetal ao longo do tempo, embora possa apresentar limitações por mapear também áreas verdes urbanas, o que pode levar a uma subestimação das áreas de expansão urbana.

Figura 1: Mapa de NDVI para os anos de 2003 e 2018.



Fonte: Da Luz et. al. (2019)

2.2.2 Índice de Área Construída Por Diferença Normalizada (NDBI)

Segundo Zha *et. al*, (2003) o Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI) é um método de estudo desenvolvido a partir do Sensoriamento Remoto para identificação de áreas urbanas. Sua utilização associada a uma escala temporal pode contribuir para uma boa análise sobre as mudanças, bem como para determinação da extensão dos espaços urbanos.

$$EQUAÇÃO\ 2: \frac{\#SWIR1\# - \#NIR\#}{\#SWIR1\# + \#NIR\#}$$

Onde:

SWIR1 – Banda infravermelho médio;

NIR – Banda infravermelho próximo.

Os valores obtidos variam de -1 à 1, representando os valores negativos as áreas não construídas e os valores positivos as áreas construídas (Da Luz *et. al*., 2019).

2.2.3 Classificação Supervisionada

A classificação supervisionada consiste na identificação de diferentes classes com comportamentos espectrais distintos, utilizando algoritmos específicos para extrair as feições de interesse em um espaço multidimensional. Entre os algoritmos empregados estão a Distância Mínima, Distância Mahalanobis, Distância de Bhattacharya, Máxima Verossimilhança, Método Paralelepípedo e o Método *Spectral Angle Mapper* (Amaral *et al*., 2009).

De acordo com Campbell (1996), o método de classificação supervisionada de imagens apresenta tanto benefícios quanto limitações. Uma das principais vantagens é que o analista tem maior autonomia no controle do processo, podendo definir previamente as classes de interesse e detectar possíveis erros significativos ao examinar as áreas de treinamento. Por outro lado, uma das principais desvantagens é que o próprio analista acaba impondo uma estrutura de classificação aos dados, por meio da definição antecipada das categorias, o que pode não refletir as classes reais presentes na cena ou dificultar sua separação no espaço de atributos.

O método de Máxima Verossimilhança (MaxVer) constitui uma técnica de classificação supervisionada amplamente empregada em análises de imagens de satélite e sensoriamento remoto. Essa abordagem realiza a atribuição de cada pixel a uma classe de cobertura do solo com base na probabilidade de pertencimento, calculando a verossimilhança de cada pixel em relação às características espectrais previamente definidas para as classes de interesse (Vale *et.al,* 2018).

Conforme descrito por Crósta (2002), o MaxVer assume que as distribuições espectrais das classes seguem uma distribuição normal, ou seja, que os valores dos pixels de cada classe obedecem a uma distribuição gaussiana. Para a implementação desse método, é necessário um conjunto de dados de treinamento, que fornece pixels de referência conhecidos, permitindo a estimação da média e da matriz de covariância de cada classe (INPE, 2008).

Dentre as vantagens do método de Máxima Verossimilhança, destacam-se a sua facilidade de implementação e o maior grau de controle sobre as classes, fatores que podem contribuir para uma maior precisão na classificação. Entretanto, uma limitação relevante refere-se à dependência da

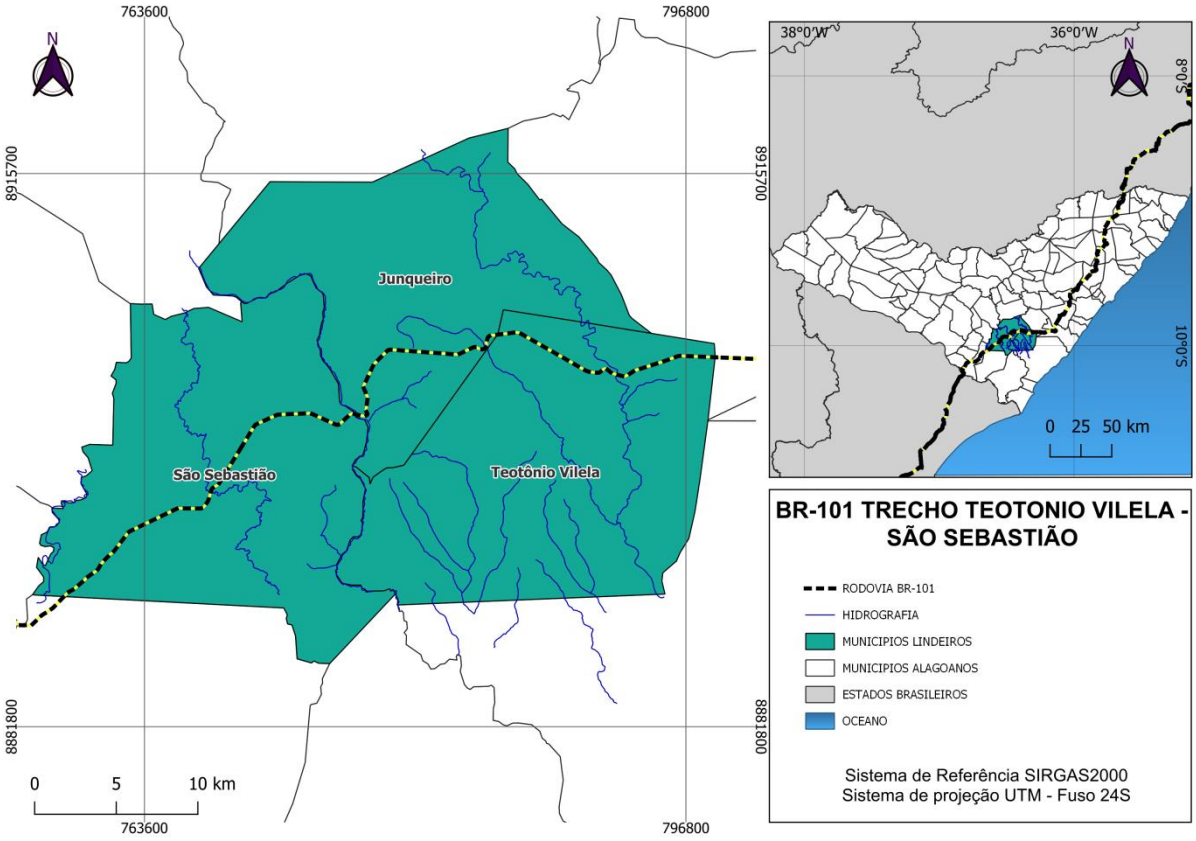
qualidade dos dados de treinamento, uma vez que imprecisões nesses dados podem comprometer a acurácia dos resultados obtidos (Vale *et al.,* 2018).

Esse método encontra ampla aplicação em mapeamentos de cobertura do solo, na identificação de áreas urbanas e no monitoramento de desmatamento, demonstrando sua versatilidade e efetividade em diversas áreas do sensoriamento remoto (Vale *et.al,* 2018).

3. ÁREA DE ESTUDOS

O estudo foi realizado no km 166 até km 228, da duplicação da Rodovia BR-101 e localiza-se no estado de Alagoas, região nordeste do país, entre os municípios de Teotônio Vilela e São Sebastião (Figura 2).

Figura 2:Mapa de Localização da Área de Estudo



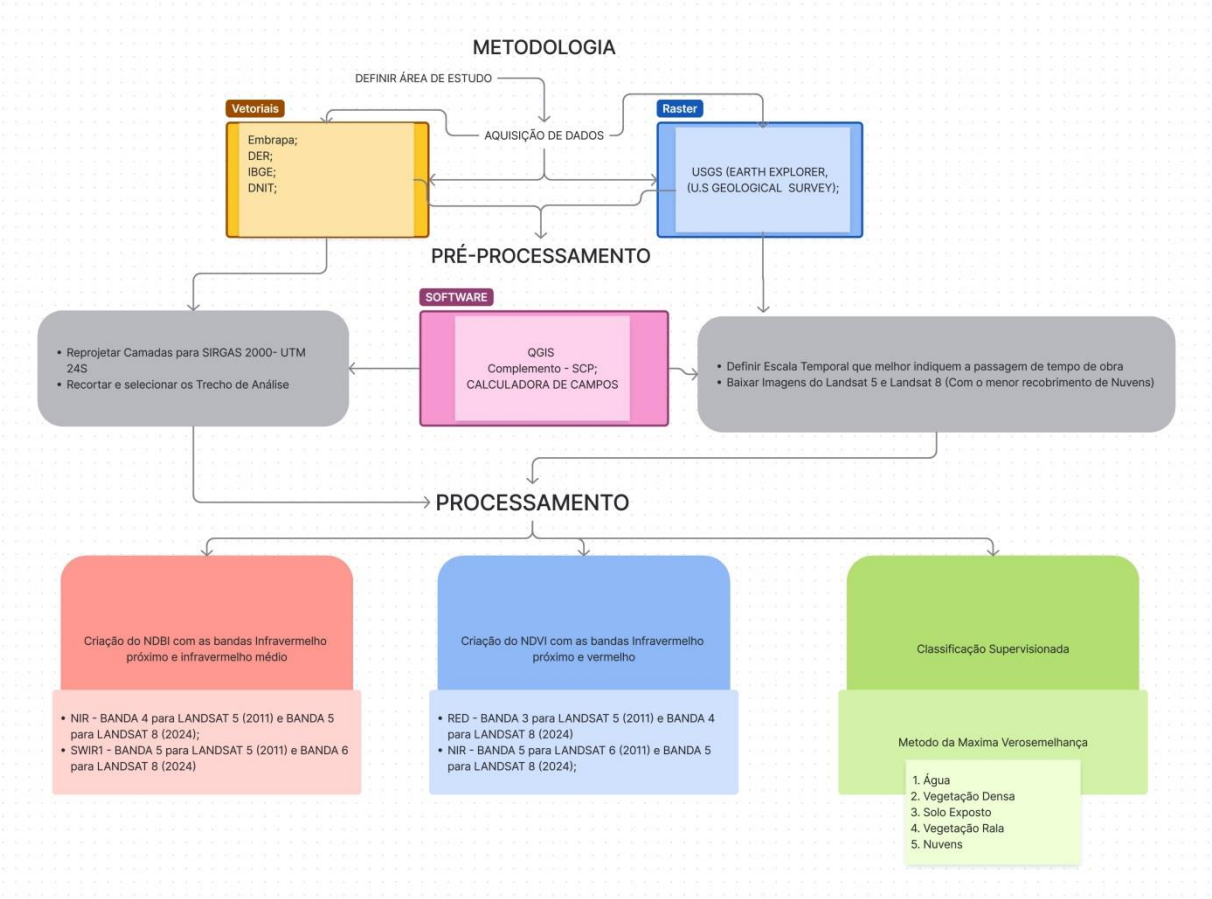
Fonte: Autor, 2025

Como mostra a Figura 2, a Rodovia BR-101 é uma via central de deslocamento das cidades. No caso de Junqueiro e Teotônio Vilela, esta rodovia está diretamente ligada à maior parte da porção urbana dos municípios. Em São Sebastião, a rodovia permite o acesso tanto em áreas urbanas, como nas demais áreas rurais da cidade.

4. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos e compreender as transformações ambientais e urbanas resultantes da duplicação da BR-101, como visto na figura 3, que apresenta um fluxograma com as etapas de trabalho.

Figura 3: Fluxograma da Metodologia.



Fonte: Autor, 2025

4.1 Obtenção dos Dados Vetoriais e Rasters

Para a realização do estudo, foi conduzida uma análise preliminar do histórico da obra, na qual foram coletadas informações relativas às datas de início, períodos de interrupção das atividades e data de conclusão. Essa análise visou estabelecer a escala temporal da pesquisa, que abrange os anos de 2011 a 2024.

O levantamento dos dados cartográficos do estado de Alagoas foi realizado por meio de consultas de acervos *online* disponibilizados nas plataformas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Departamento de

Estradas de Rodagem – Principal (DER), além da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

As imagens de satélite foram obtidas em consultas na plataforma do *Unitad States Geological Survey* – USGS. Foram utilizadas séries históricas de imagens orbitais geradas pelos sensores TM e OLI, a bordo dos satélites LANDSAT 5 e LANDSAT 8. Essas imagens cobrem diferentes períodos do estudo, especialmente entre 2011 e 2024, garantindo uma análise abrangente e atualizada, considerando as resoluções espaciais de 30 metros do LANDSAT e a disponibilidade de dados para esses anos como visto nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Especificações Sensor TM

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
TM (Thematic Mapper)	(B1) AZUL	0.45 - 0.52 µm	30 m	16 dias	185 km	8 bits
	(B2) VERDE	0.52 - 0.60 µm				
	(B3) VERMELHO	0.63 - 069 µm				
	(B4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.76 - 0.90 µm				
	(B5) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.55 - 1.75 µm				
	(B6) INFRAVERMELHO TERMAL	10.4 - 12.5 µm	120 m			
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.08 - 2.35 µm	30 m			

Fonte: Embrapa, 2025

Tabela 3: Especificações Sensor OLI

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) COSTAL	0.433 - 0.453 µm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B2) AZUL	0.450 - 0.515 µm				
	(B3) VERDE	0.525 - 0.600 µm				
	(B4) VERMELHO	0.630 - 0.680 µm				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.845 - 0.885 µm				
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.560 - 1.660 µm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.100 - 2.300 µm				
	(B8) PANCROMÁTICO	0.500 - 0.680 µm	15 m			
	(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 µm	30 m			

Fonte: Embrapa, 2025

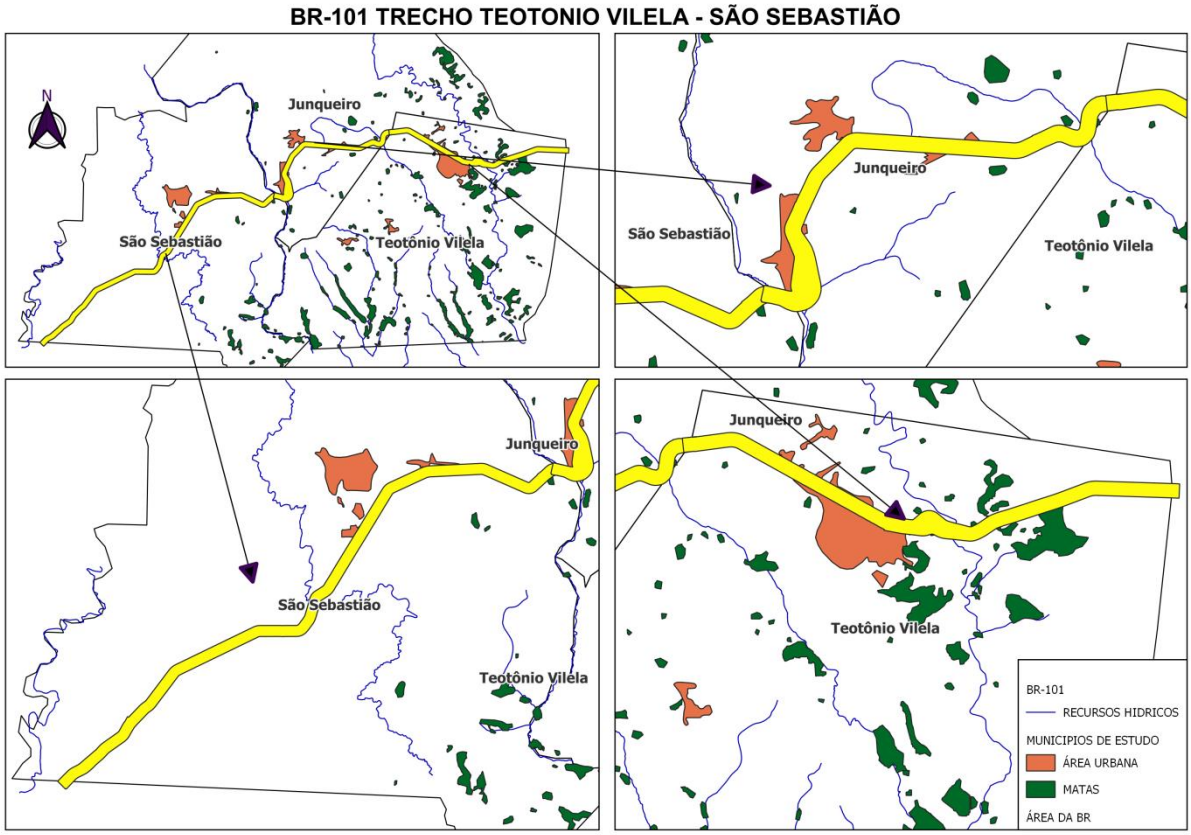
4.1.1 Pré-Processamento

Após a aquisição das imagens orbitais, foi realizado o pré-processamento usando o *software* QGIS e o Complemento SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*). Nessa etapa, foi feita a correção atmosférica das imagens utilizando o método DOS (*Dark Object Subtraction*). Esse procedimento ajudou a minimizar os efeitos da atmosfera terrestre nas imagens, melhorando a precisão das análises. O processo foi automatizado pelo software, que exige apenas a inserção dos metadados da imagem.

4.1.2 Processamento

Com as imagens corrigidas e os arquivos vetoriais inseridos no *software*, foi traçado um polígono para recobrimento da área de estudo, bem como de parte do seu entorno, a fim de reduzir o tempo de processamento. A partir disso, foram realizados recortes nos arquivos vetoriais, criando *shapefiles* que continham apenas os dados referentes à área de estudo. Para a elaboração dos dados quantitativos foi criado um *buffer* onde foi definida através de um deslocamento de 200 m do eixo da via, tanto para a via original quanto para a duplicação, para que possa abranger no geral os impactos não só da faixa de domínio da Rodovia, como dos possíveis acessos e vias vicinais criadas posteriormente, além de identificar se nesse espaçamento existem áreas de vegetação nativas e cursos d’aguas, conforme Figura 4.

Figura 4: Área de Interferência da rodovia BR-101.



Fonte: Autor, 2025

4.1.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O cálculo do NDVI foi realizado no *software* QGIS versão 3.26 (*Buenos Aires*) por meio do Complemento SCP *(Semi-Automatic Classification Plugin),* utilizando a Equação 1.

A análise gerou uma imagem de NDVI em escala de cinza. Para aprimorar a interpretação visual dos resultados, foi aplicada uma composição falsa de cores.

4.1.4 Índice de Área Construída por Diferença Normalizada (NDBI)

O cálculo do NDBI foi realizado no software QGIS por meio do plugin SCP *(Semi-Automatic Classification Plugin).*

A análise gerou uma imagem de NDBI em escala de cinza.

4.1.5 Classificação Supervisionada

O método de classificação supervisionada utilizado neste trabalho foi o de máxima verossimilhança, onde a identificação do objeto é feita pelas características pontuais. Ou seja, o *pixel* é atribuído para a classe mais provável. Para esta análise, foram definidas cinco classes principais conforme as características da região de estudo: Solo Exposto, Nuvens, Vegetações Densas,

Vegetação Rala, Águas. Cada uma dessas classes foi identificada a partir de padrões espectrais distintos, permitindo a extração de dados quantitativos sobre as alterações no uso e ocupação do solo da qual é possível analisar cada inferência da rodovia BR-101 nas classes citadas, obtendo valores percentuais e comparativos.

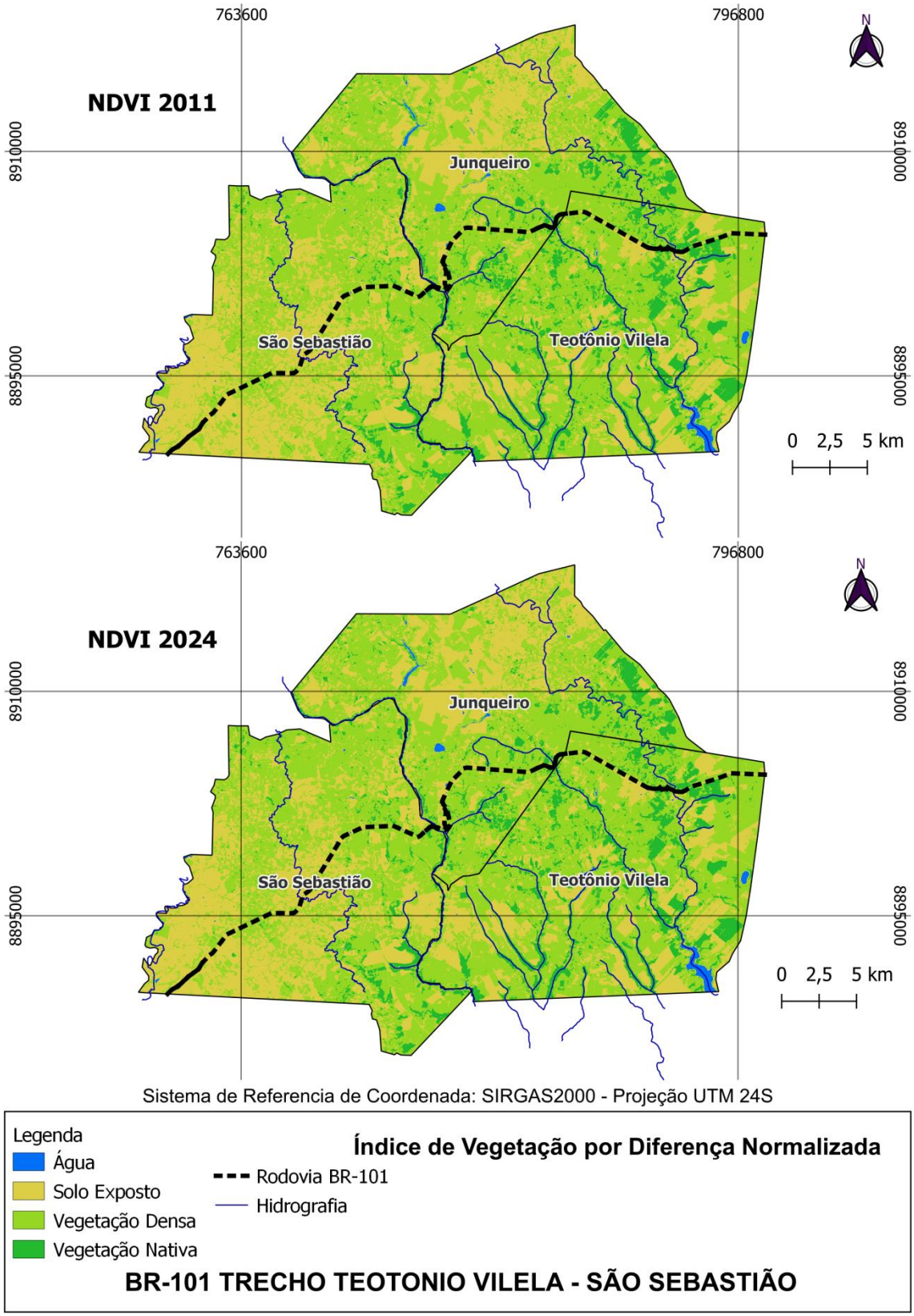
5. RESULTADOS

A partir da metodologia aplicada, foram obtidos resultados que evidenciam as mudanças ocorridas na paisagem ao longo do período analisado, entre 2011 e 2024.

5.1 Alterações na Cobertura Vegetal

A análise espaço-temporal realizada entre os anos de 2011 e 2024 revelou diversas transformações na paisagem ao redor do trecho da duplicação da BR-101 entre os municípios de Teotônio Vilela e São Sebastião, como visto na Figura 5. Os índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) indicaram uma redução significativa nas áreas de vegetação rala e um aumento nas áreas de solo exposto.

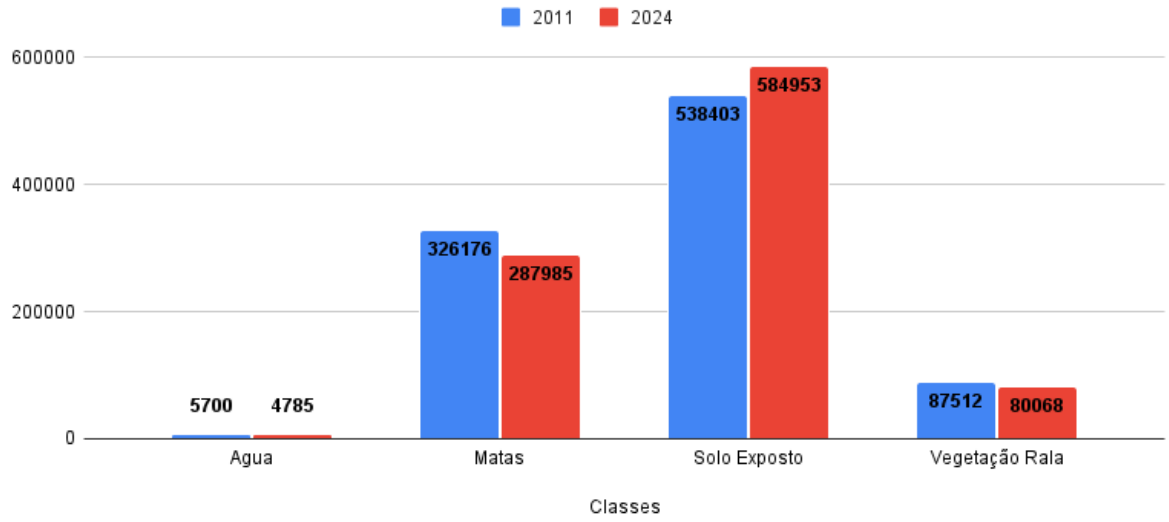
Figura 5: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para o trecho Teotônio Vilela – São Sebastião.



Fonte: Autor, 2025

As áreas previamente cobertas por vegetação rala, da qual está inclusa a agricultura, apresentaram aumento nos valores, diminuindo na mesma proporção para o Solo Exposto, visto no Gráfico 1. Essa alteração nos valores sugere uma mudança comum na região visto que os meses das imagens foram diferentes indicando assim a mudança da região de acordo com a exploração da agricultura.

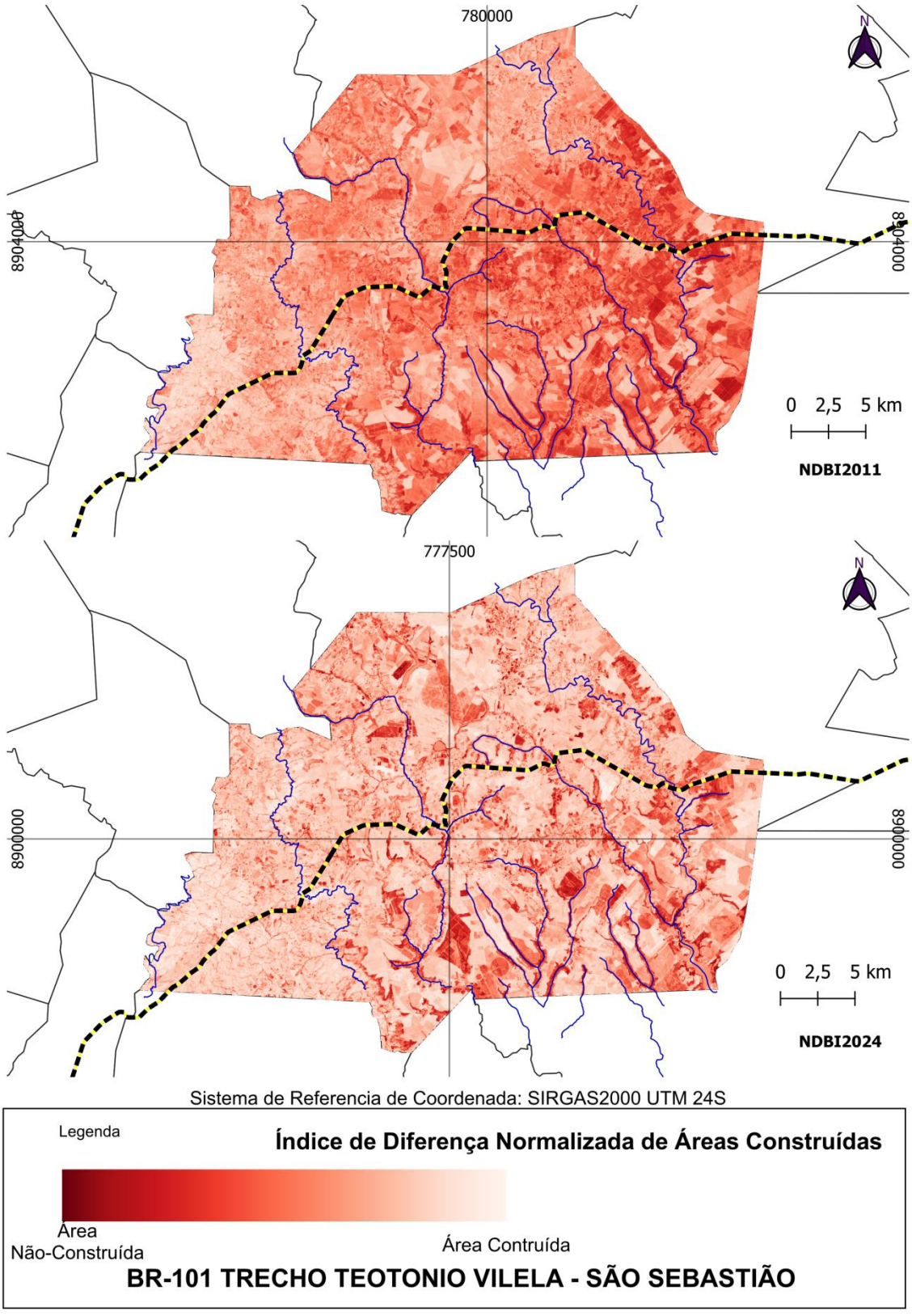
Gráfico 1: Variação dos Valores para o NDVI 2011 e 2024



5.2 Expansão de Áreas Urbanas e Construídas

Os Índices de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI), apresentados na Figura 6, mostraram um aumento na ocupação do solo com características urbanas, especialmente nas regiões próximas às novas faixas da rodovia. A classificação supervisionada na Figura 7 confirmou a expansão de áreas urbanas através do aumento de área construída extraída do uso e ocupação do solo, A classe “Área Construída” apresentou uma concentração significativa na porção central do município, onde se localiza a sede urbana. Esta configuração reflete o padrão de crescimento do centro para a periferia, comum a cidades de pequeno porte, com expansão em direção a áreas com acesso viário e infraestrutura básica.

Figura 6: Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas para o trecho Teotônio Vilela – São Sebastião.

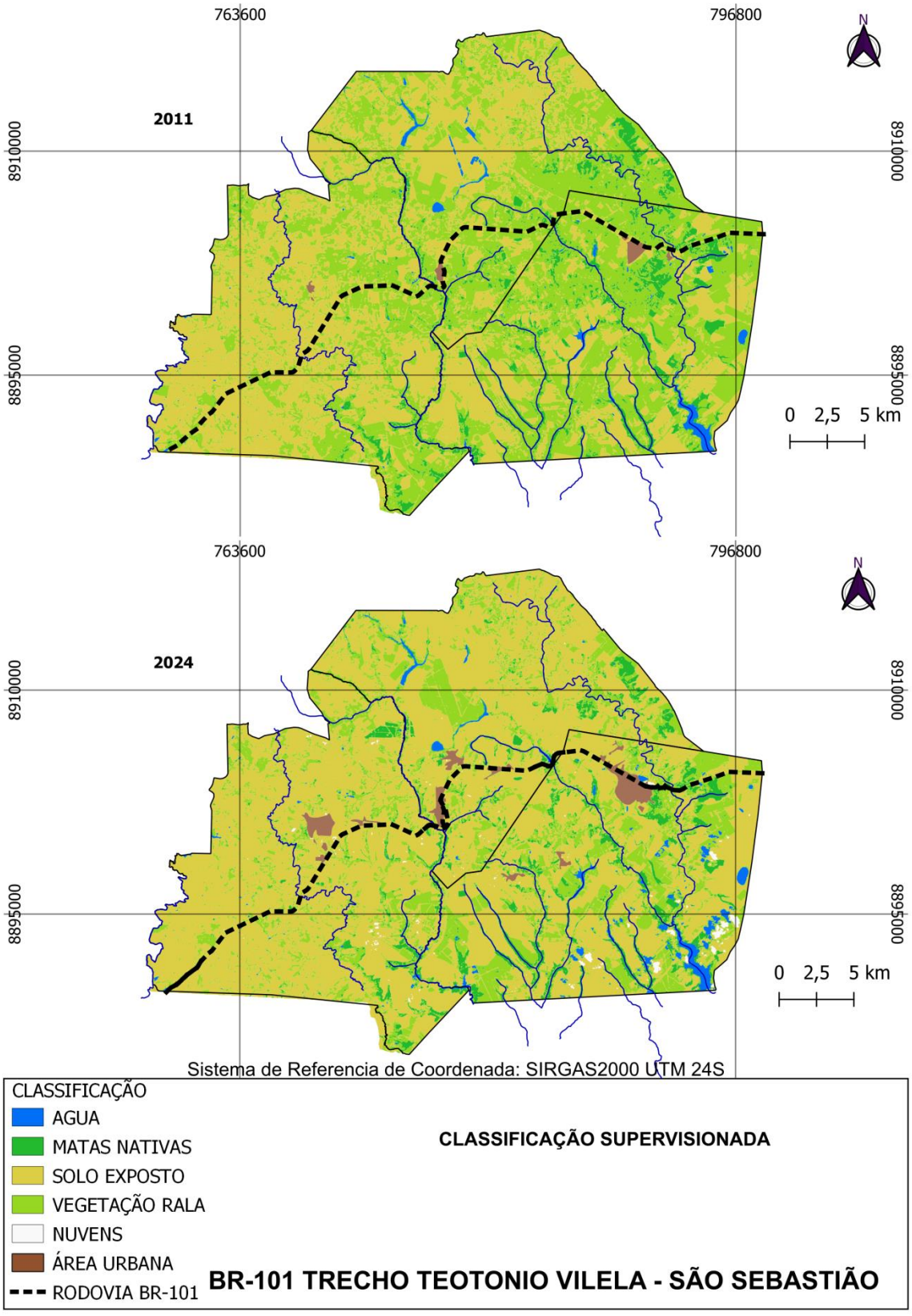


Fonte: Autor, 2025

5.3 Variação do uso e ocupação do solo

A análise dos cursos d’água não revelou possíveis assoreamentos, decorrentes da movimentação de terra. Áreas rurais também sofreram modificações, com mudanças no uso do solo e na ocupação das margens das vias. Observa-se uma expansão significativa da mancha urbana, especialmente ao longo do eixo viário principal. A rodovia coincide também com o aumento da área de solo exposto. Conforme Figura 7.

Figura 7: Variação da paisagem entre os anos de 2011 e 2024 para o trecho Teotônio Vilela – São Sebastião.



Fonte: Autor, 2025

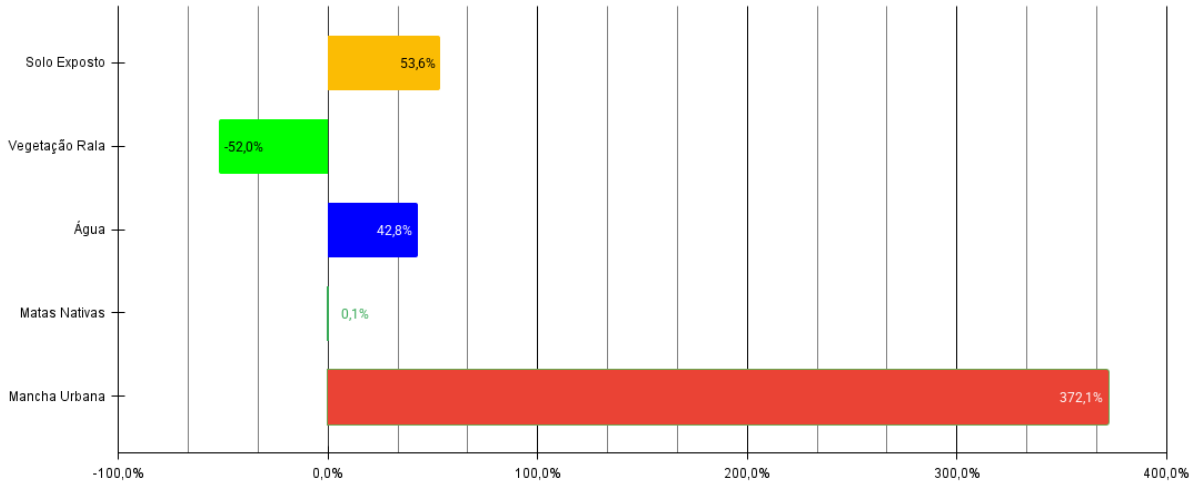
A Tabela 2 mostra os valores de área, em quilômetros quadrados, ocupada por cada classe analisada, para os anos de 2024 e de 2011.

Tabela 4: Variação Geral de área de cada classe entre 2011 e 2024.

CLASSES	2011 (área em km²)	2024 (área em km²)	COMPARATIVO (área em km²)
Matas Nativas	50,9	51,0	0,1
Área Urbana	2,6	12,3	9,7
Vegetação Rala	421,8	202,5	-219,4
Solo Exposto	377,6	580,1	202,5
Água	8,9	12,7	3,8
Nuvens	0,0	3,3	3,3

A variação percentual das classes em análise apresentada no Gráfico 2.

Gráfico 2: Variação percentual da cobertura de solo entre 2011 e 2024.



Os dados revelaram que não houve alteração na área de mata nativa. Variando positivamente 0,1%.

O Gráfico 2 mostra também que a expansão da área urbana foi significativa, aumentando 372%. Esse crescimento pode ser associado ao processo de urbanização e ao aumento da população urbana, fomentado pela expansão viária.

A vegetação rala diminuiu 52%. Esse fenômeno pode estar relacionado a processos de conversão de atividades de agropecuárias para outros tipos de cobertura do solo, como urbanização, ou pode ser um reflexo da degradação da vegetação em decorrência de práticas inadequadas de uso do solo, como pastagem intensiva, queimadas e agricultura extensiva. A redução de vegetação rala é

preocupante, pois esse tipo de vegetação tem funções importantes, como a proteção do solo contra a erosão. Essa degradação ambiental também pode causar o aumento do risco de deslizamentos de terra e comprometer a biodiversidade local.

O solo exposto aumentou 54%. A expansão urbana verificada pode ter pressionado áreas de vegetação e corpos d'água, reduzindo a cobertura vegetal, o que pode acarretar uma série de consequências ambientais, como o aumento do escoamento superficial, maior suscetibilidade à erosão do solo e elevação das temperaturas locais devido à perda de sombreamento e umidade. O aumento dessas áreas requer medidas de recuperação, como práticas de manejo sustentável do solo e reflorestamento.

A área de água aumentou consideravelmente em 42%. Esse aumento pode estar associado à estação do ano analisada para cada imagem, como também as praticas de agricultura local. Ademais com o aumento de áreas urbanas, a impermeabilização do solo pode reduzir a disponibilidade de água, consequentemente diminuindo a recarga de aquíferos.

5.4 A análise espaço-temporal realizada para a área de influência da BR

A Tabela 3 mostra os valores de área, em quilômetros quadrados, ocupada por cada classe analisada, na área de influência da Rodovia BR 101, para o ano de 2011 em cada município.

Tabela 5: Área das classes no ano de 2011.

CLASSES	ÁREA EM km²		
	TEOTONIO VILELA	JUNQUEIRO	SÃO SEBASTIÃO
Matas Nativas	0,7	0,3	0,2
Área Urbana	0,4	0,3	0,0
Vegetação Rala	3,1	2,8	6,3
Solo Exposto	1,6	1,6	2,7
Água	0,0	0,2	0,2
BR-101	5,8	5,0	9,3
Nuvens	0,0	0,0	0,0

Em seguida a tabela 4 mostra os valores de área, em quilômetros quadrados, ocupada por cada classe analisada, na área de influência da Rodovia, para o ano de 2024 em cada município.

Tabela 6: Área das classes no ano de 2024.

CLASSES	ÁREA EM km²		
	TEOTONIO VILELA	JUNQUEIRO	SÃO SEBASTIÃO
Matas Nativas	1,1	1,3	3,1
Área Urbana	1,4	1,3	0,2
Vegetação Rala	17,4	15,0	27,0
Solo Exposto	3,2	3,0	5,8
Água	0,0	0,0	0,1
BR-101	6,1	5,8	9,5
Nuvens	0,2	0,0	0,1

A área total ocupada pela faixa duplicada foi estimada em 21,3 km², incluindo áreas de mata nativa, zonas urbanas e cursos d'água. Essas informações quantitativas reforçam o impacto espacial da obra na paisagem regional.

Notou-se um grande aumento na área urbana afetada pela Rodovia BR-101, uma diminuição das vegetações ralas e aumento do solo exposto.

A mancha urbana aumentou expressivamente em Teotônio Vilela, de 2011 para 2024, com 211%, e 318% em Junqueiro. São Sebastião, que não possuía área urbana em 2011, apresentou 0,222km² em 2024, ainda assim apresentando um estágio de urbanização pouco avançado, com relação aos outros municípios, apesar da grande área presente no município de solo exposto e da rodovia. Esse fato indica que a área é de transição, demandando atenção ao planejamento territorial.

A classe de vegetação rala teve redução considerável em todos os municípios (acima de 94%), indicando transição para outras classes de uso. A vegetação pode ter sido removida para implantação de áreas urbanas após a duplicação. Também pode ter havido regeneração florestal da mata nativa após encerramento de atividades agropecuárias.

A classe de solo exposto apresentou uma duplicação em área em todos os municípios, com São Sebastião atingindo um crescimento de 117%. A conversão de vegetação rala para solo exposto poderia ser justificada por processos erosivos causados após remoção da vegetação na margem da duplicação. Sem a cobertura vegetal, as águas pluviais carreiam o solo, arrastando as partículas e resultando em erosão laminar.

A área de água sofreu redução significativa em São Sebastião (de 231 km²). O valor 0 ocorre devido à resolução espacial das imagens de satélite utilizadas, que é de 30 metros, portanto os cursos d'água com comprimento inferior a 30 metros não são detectados.

Em relação à classe de nuvens, embora existente, não foi significativa a ponto de atrapalhar o estudo.

Essas mudanças indicam uma transformação no uso do solo, possivelmente impulsionada pelo crescimento urbano e pela remoção de vegetação para dar lugar às novas estruturas.

6. CONCLUSÃO

A avaliação espaço-temporal do trecho da duplicação da Rodovia BR-101 em Alagoas, por meio de técnicas de geoprocessamento, evidenciou transformações relevantes na paisagem entre 2011 e 2024. Os resultados indicam que a obra de duplicação provocou um aumento das áreas urbanas e de uso do solo construído na região, também indicando que a Rodovia está abrangendo mais áreas de matas nativas.

O aumento do solo exposto e da área urbana, aliado à redução de vegetação rala, caracteriza um avanço da urbanização em áreas anteriormente naturais ou em regeneração. A recuperação de matas em alguns municípios pode indicar esforços de compensação ambiental ou transição de usos. A correlação espacial entre a duplicação da rodovia e a intensificação do solo exposto sugere que as obras de infraestrutura viária, associadas ao crescimento urbano adjacente, foram vetores determinantes na remoção da cobertura vegetal e na exposição do solo.

Verificou-se também a importância de monitorar áreas em transição, a fim de orientar ações de ordenamento territorial, controle da expansão urbana e proteção ambiental. Os dados revelaram um padrão de crescimento urbano contínuo, favorável às ocupações irregulares.

De modo geral, as transformações observadas refletem o desequilíbrio entre o crescimento urbano e a preservação ambiental. A utilização de ferramentas de sensoriamento remoto e análise espacial mostraram-se fundamentais para monitorar e quantificar impactos, fornecendo subsídios importantes para a tomada de decisões e para o planejamento de ações mitigadoras, como a restauração de áreas degradadas e uso racional do solo.

REFERENCIAS

ALVES, et al. Índices espectrais e sua aplicação no monitoramento ambiental: uso do NDVI e NDBI. São Paulo, 2009.

BARBOSA, R. M.; CARVALHO, J. G.; CAMACHO, R. P. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) aplicado ao sensoriamento remoto. Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto, v. 25, p. xx-xx, 2017.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measurement, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, v. 37, n. 1, p. 35-46, 1991.

CRÓSTA, A. P. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São José dos Campos: INPE, 2002.

DA LUZ, L. B.; et al. Utilização do NDVI e NDBI para avaliação da expansão urbana no município do Rio das Ostras - RJ, utilizando a plataforma Google Earth Engine. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIX, 2019, Santos. Anais eletrônicos... São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/utilizacao-do-ndvi-e-ndbi-para-avaliacao-da-expansao-urbana-no-municipio-do-rio-das-ostras---rj--utilizando-a-plataforma. Acesso em: 20 jun. 2024

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Satélites de Monitoramento: Missões Landsat. Disponível em: https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat. Acesso em: Acesso em: 20 jun. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Downloads Geociências. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acesso em: 20 jun. 2024.

IMA - INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DE ALAGOAS. Serviços e downloads: dados vetoriais. Disponível em: https://www.ima.al.gov.br/servicos/downloads/download-de-dados-vetoriais/. Acesso em: 20 jun. 2024.

LANDSAT. United States Geological Survey - USGS. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 20 jun. 2024.

LOPES, Y. C. Transporte de produtos agrícolas e a otimização de seus resultados. Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA – Assis, 2015. Disponível em: https://cepein.femanet.com.br/bdigital/arqtccs/1211390278.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

MARTINS, S. L.; et al. Análise multitemporal por imagem TM do uso e ocupação do solo na região nordeste da rodovia BR-319. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XVI, 2013, João Pessoa. Anais [...], p. 1782-1789, 2013.

MELO, Celia Caroline Maria Silva de. O uso do geoprocessamento como ferramenta de avaliação de impactos da obra de duplicação da rodovia BR-101: um estudo de caso no Estado de Alagoas. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura) – Centro de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2022.

NETELER, M.; MITASOVA, H. Open source GIS: a GRASS GIS approach. Springer Science & Business Media, 2013.

PAUL MACAROF; FLORIAN STATESCU. Comparison of NDBI and NDVI as indicators of surface urban heat island effect in Landsat 8 imagery: A case study of Iasi. PESD, v. 11, n. 2, 2017.

SANTOS, J. M. A. dos. Detecção de áreas degradadas no município de Mata Grande – AL com uso de geotecnologias. 2016. Tese (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, 2016.

SALOMÃO, H. R. G. et al. Impactos ambientais causados pela implantação e operação de rodovias: uma revisão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. xx, n. x, 2019.

TANAJURA, J. B.; ANTUNES, M.; UBERTI, L. Curso de sensoriamento remoto aplicado à agricultura: fundamentos e aplicações. Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005.

VALE, J. R. B.; COSTA, J. A. da; SANTOS, J. F. dos; SILVA, E. L. da; FAVACHO, A. T. Análise comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de Medicilândia, Pará. InterEspaço Grajaú, v. 4, n. 13, p. 26-44, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.v4n13p26-44.

Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. International Journal of Remote Sensing, 24(3), 583-594.

ZOGAIB, L. V. S.; MUCIDA, D. M. Manual de sensoriamento remoto. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.