



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

GABRIEL CARVALHO GRECA

ÍNDICES ESPECTRAIS COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA VEGETAÇÃO
NAS RESERVAS LEGAIS EM ASSENTAMENTOS DO CEARÁ

FORTALEZA

2025

GABRIEL CARVALHO GRECA

Índices espectrais como ferramenta de análise da vegetação nas reservas legais em
assentamentos do Ceará

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Agronomia da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da
Silva.

Coorientador: Dr^a. Sharon Gomes Ribeiro.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G826Í Greca, Gabriel Carvalho.
Índices espectrais como ferramenta de análise da vegetação nas reservas legais em assentamentos do Ceará / Gabriel Carvalho Greca. – 2025.
63 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva.
Coorientação: Profa. Dra. Sharon Gomes Ribeiro.

1. Sensoriamento remoto. 2. Reserva legal. 3. Semiárido. I. Título.

CDD 630

GABRIEL CARVALHO GRECA

ÍNDICES ESPECTRAIS COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA VEGETAÇÃO NAS
RESERVAS LEGAIS EM ASSENTAMENTOS DO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Agronomia da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica.

Aprovada em: 25/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr^a. Sharon Gomes Ribeiro (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Filipe Augusto Xavier Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Mse. José Lucas Pereira da Silva
Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE)

A Deus.

Aos meus pais, Juliano Greca, Jane Roze e
irmãos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará (UFC), onde estou me formando como Engenheiro Agrônomo. Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e à Universidade Federal do Maranhão (UFMA), pela oportunidade de participar de projetos sobre assentamentos rurais e pelo apoio financeiro com a bolsa disponibilizada, além de terem me fornecido os dados necessários para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo fomento da bolsa ao longo do curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre Oliveira da Silva, pela excelente orientação dada no projeto que culminou neste trabalho, além do suporte no Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água e Solo – Semiárido (GPEAS), gerando conhecimento e novas oportunidades. À Dra. Sharon Gomes pela coorientação, e por ser é um exemplo dentro da universidade, me ensinando desde o básico ao mais avançado de forma simples e dinâmica, mesmo à distância.

À Profa. Dra. Isabel, do Departamento de Engenharia Agrícola, que me deu a primeira oportunidade de aprendizagem. Ao Prof. Dr. Adunias Teixeira, por me estimular em todas as tarefas que realizava.

Gostaria de agradecer também aqueles que estiveram comigo antes mesmo de entrar na universidade, que foram os professores que me educaram e me incentivaram. Aos meus amigos e familiares que sempre me apoiaram, me alegraram nos momentos mais cansativos.

Gostaria de agradecer aos amigos que fiz durante o curso: Lesly, Matheus, Erika, Renan, Ivo, Italo e Ivan, que até hoje carrego no coração. São pessoas que viveram os mesmos desafios que os meus.

Ao meu pai, que além de sustentar a família, seguiu me apoiando e influenciando da melhor forma possível. A minha mãe, que renunciou ao seu sonho para criar eu e meus irmãos, com força e garra, torcendo e pedindo pelo nosso sucesso.

“Você pode encontrar as coisas que perdeu,
mas nunca as que abandonou” (Gandalf).

RESUMO

O monitoramento da vegetação em assentamentos rurais no Semiárido Brasileiro é crucial para a conservação ecológica e o desenvolvimento sustentável, especialmente na Caatinga, que possui difícil regeneração. No semiárido Cearense, o sensoriamento remoto é uma ferramenta para realizar esse monitoramento. Índices espectrais como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), SAVI Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Variação da Taxa de Queima Normalizada 2 (NBR2) são amplamente empregados para avaliar a vegetação e as condições do solo. Este estudo analisou as Reservas Legais (RLs) nos Projetos de Assentamento do Ceará (PA) Patos, Caranã e Guanabara, utilizando esses índices em diferentes períodos temporais. As imagens multiespectrais utilizadas foram obtidas da série Landsat. A série temporal para cada assentamento considerou três momentos: próximo à criação, intermediário e o período mais recente, aplicando os índices espectrais NDVI, SAVI e NBR2, com processamento realizado no software QGIS, utilizando novos limites específicos (NDVI: 0 a 0,30; SAVI: 0 a 0,25; NBR2: 0 a 0,18) para a classificação de solo exposto. Os resultados demonstraram comportamentos distintos entre os assentamentos. No PA Patos, observou-se uma tendência contínua de incremento na biomassa ao longo dos anos, com redução progressiva da área de solo exposto identificada pelos três índices. No PA Caranã, houve uma redução na biomassa entre 2011 e 2017, seguida por sinais de recuperação em 2024 no índice NDVI. O NBR2 registrou um pico de áreas descobertas em 2017, com posterior redução, enquanto o SAVI não identificou áreas de solo exposto. No PA Guanabara, o NDVI inicialmente indicou vegetação esparsa, com um incremento de biomassa em 2010 e posterior homogeneização em 2023. A discrepância entre NDVI e SAVI para solo exposto em 1991 destaca a maior eficácia do SAVI em áreas semiáridas, devido à correção da influência do solo. O NBR2 no PA Guanabara também mostrou incremento expressivo na cobertura vegetal em 2023. As técnicas de sensoriamento remoto, com índices, mostraram-se eficazes na análise da dinâmica da vegetação em Reservas Legais de assentamentos rurais. O PA Patos exibiu aumento de biomassa, o PA Caranã teve perda e regeneração, e o PA Guanabara apresentou padrões heterogêneos com a recuperação. Recomenda-se validação em campo para maior precisão, especialmente em áreas com desmatamento e mudanças no uso do solo.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Reserva Legal; Semiárido.

ABSTRACT

Monitoring vegetation in rural settlements in the Brazilian Semi-arid region is crucial for ecological conservation and sustainable development, especially in the Caatinga biome, which exhibits low regenerative capacity. In the semi-arid region of Ceará, remote sensing has proven to be an effective tool for such monitoring. Spectral indices such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), and Normalized Burn Ratio 2 (NBR2) are widely used to assess vegetation and soil conditions. This study analyzed the Legal Reserves (RLs) of the Patos, Caranã, and Guanabara Settlement Projects (PAs) in Ceará using these indices across different time periods. Multispectral images were obtained from the Landsat series. The temporal series for each settlement considered three stages: near the time of establishment, an intermediate point, and the most recent period. NDVI, SAVI, and NBR2 were applied using QGIS software with specific thresholds (NDVI: 0 to 0.30; SAVI: 0 to 0.25; NBR2: 0 to 0.18) for classifying exposed soil. The results revealed distinct behaviors among the settlements. In PA Patos, there was a continuous increase in biomass over the years and a progressive reduction in exposed soil areas identified by all three indices. PA Caranã experienced biomass loss between 2011 and 2017, followed by signs of recovery in 2024, as indicated by the NDVI. The NBR2 recorded a peak in exposed areas in 2017 with a subsequent decline, while SAVI did not detect exposed soil areas. In PA Guanabara, the NDVI initially indicated sparse vegetation, with biomass increasing in 2010 and becoming more homogeneous by 2023. A discrepancy between NDVI and SAVI for exposed soil in 1991 highlighted SAVI's greater reliability in semi-arid conditions due to its soil-adjustment factor. The NBR2 also revealed a significant increase in vegetation cover in 2023 for PA Guanabara. Remote sensing techniques and spectral indices proved effective for analyzing vegetation dynamics in Legal Reserves of rural settlements. While PA Patos showed biomass gains, PA Caranã exhibited both degradation and recovery, and PA Guanabara displayed heterogeneous patterns followed by regeneration. Field validation is recommended to improve accuracy, particularly in areas with deforestation and land-use changes.

Keywords: Remote Sensing; Legal Reserves; Semi-arid.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de preservação permanente
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
NBR2	Variação da Taxa de Queima Normalizada
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
OLI	Operational Land Imager
PRODES	Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
RL	Reserva Legal
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
SICAR	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
TIRS	Thermal InfraRed Sensor
USGS	United States Geological Survey
VANTS	Veículos Aéreos Não Tripulados

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivo específico	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	A evolução histórica do sensoriamento remoto	18
3.1.1	<i>Energia eletromagnética e seu comportamento</i>	19
3.1.2	<i>Sensores remotos e suas funcionalidades</i>	21
3.1.3	<i>Satélites</i>	21
3.1.4	<i>Índices espectrais</i>	22
3.2	Código Florestal Brasileiro	23
3.3	Semiárido Brasileiro	25
3.4	Caatinga	27
3.5	Contexto dos assentamentos	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	Áreas de estudo	30
4.2	Aquisição de imagens multiespectrais	31
4.3	Dados vetoriais	32
4.4	Índices espectrais	33
4.5	Processamento	34
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	35

5.1	Assentamento PA Patos	35
5.2	Assentamento PA Caranã	41
5.3	Assentamento PA Guanabara	45
5.4	Comparação comportamental dos índices NDVI, SAVI e NBR2 dentro das Reservas Legais	51
5.4.1	<i>Influência do ecossistema no resultado dos índices.....</i>	55
6	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

No contexto da região Nordeste do Brasil, a convivência com o ambiente semiárido constitui um desafio persistente para as populações que ali se estabeleceram historicamente. O clima é predominantemente seco, com precipitação anual média em torno de 800 mm, distribuída de maneira irregular ao longo do ano (Sousa; Barbosa; Costa, 2015). No estado do Ceará, essa realidade é evidente, uma vez que 86,8% de seu território se encontrava situado no denominado "sertão nordestino" (Ribeiro; Silva, 2010). Dados mais recentes indicam que, atualmente, 94% dos municípios cearenses apresentam características típicas do clima semiárido, conforme informações da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Letras ambientais, 2024).

O clima predominante nos municípios cearenses desempenha um papel fundamental na formação e na dinâmica ambiental da região (Alves, 2007). Além da baixa pluviosidade, há também uma alta taxa de evapotranspiração, que varia conforme a região (FUNCEME, 2023). O período chuvoso é concentrado nos três a cinco primeiros meses do ano, enquanto o segundo semestre é marcado por precipitações esporádicas (Farias *et al.*, 2012). Contudo, o desenvolvimento social da região ocorreu em meio à essas condições climáticas do sertão, levando a formação de comunidades que se adaptaram à essa situação adversa, imposta pelo ecossistema local, principalmente no meio agrário brasileiro (DINIZ, 2023).

Com o crescimento das comunidades rurais, o uso da terra tornou-se ainda mais necessário para garantir a produção e subsistência local. Nesse sentido, conforme destacado por Figueredo *et al.* (2019), o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) atuou na integração desses grupos ao ordenamento jurídico, promovendo sua organização e viabilizando o acesso à posse de terras.

O monitoramento ambiental em comunidades rurais, principalmente em áreas de semiárido com o bioma Caatinga, possui grande importância, uma vez que a degradação desse ecossistema é um processo de difícil reversão devido ação antrópica (Chaves, 2015). Isso ocorre devido à baixa capacidade de regeneração natural da vegetação e dos altos índices de erosão dos solos, o que causa uma rápida desertificação (Souza *et al.*, 2012). Essa dinâmica se torna uma ameaça à biodiversidade da região, uma vez que as ações antrópicas, especialmente no meio rural, como a prática de queimadas, intensificam a degradação do ecossistema (Campos *et al.*, 2015).

Nesse cenário, o monitoramento ambiental tem a função de promover a coexistência entre o desenvolvimento social rural e a conservação do ecossistema. Embora essas áreas sejam destinadas a populações em situações de vulnerabilidade social, a preservação ambiental do território é de extrema importância, especialmente devido ao processo de deterioração ambiental observado na região Nordeste do Brasil (Oliveira; Silva; Moura, 2019).

Entretanto, devido à quantidade de assentamentos rurais existentes e da complexidade para realizar o monitoramento e o planejamento, a realização desses processos demanda tempo considerável (Campos *et al.*, 2020). Além disso, principalmente dentro das áreas de Reserva Legal, as quais são protegidas por lei, qualquer intervenção requer autorização e planejamento prévio (Oliveira; Silva; Moura, 2019).

Assim, uma das ferramentas usadas e com potencial de crescimento para auxiliar nesses processos é o sensoriamento remoto (Leal, 2021). As tecnologias disponíveis, caracterizadas por custos iniciais relativamente baixo, possibilitam a realização de monitoramento em áreas de preservação de biomas. Segundo Weber e Hasenack (1999), o uso de sensoriamento remoto melhora a qualidade do planejamento realizado pelos agentes de campo.

Entre as ferramentas com potencial para gerar bons resultados no monitoramento ambiental, destacam-se os índices espectrais (Becker, 2020). Ao longo do tempo, uma grande variedade desses índices foi desenvolvida, como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Variação da Taxa de Queima Normalizada (NBR2) (Caetano *et al.*, 2022). Embora possuam diferentes finalidades, esses índices são amplamente utilizados, principalmente para monitorar a vegetação e a exposição do solo. Além disso, o baixo custo desses métodos viabiliza a aplicação em diversos contextos.

Os índices espectrais destacam-se no contexto das análises remotas por serem ferramentas desenvolvidas para analisar a qualidade da vegetação e as condições do solo, considerando as características ambientais locais (USGS, 2021). Sua utilização possibilita a geração de dados espaciais, conforme as necessidades específicas de cada estudo.

Com base nessas ferramentas, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as mudanças ocorridas nas áreas de Reservas Legais em três assentamentos rurais: Patos, Caraná e Guanabara, localizados no Ceará, utilizando os índices espectrais NDVI, SAVI e NBR2, considerando três momentos distintos ao longo do tempo: o período inicial, o intermediário e a situação atual.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar as mudanças ocorridas nos recursos naturais em assentamentos rurais do estado do Ceará, com ênfase nas áreas de Reservas Legais (RLs), utilizando técnicas de sensoriamento remoto.

2.2 Objetivos específico

1 – Caracterizar a cobertura vegetal atual nas áreas de Reserva legal dos assentamentos estudados, através de técnicas de sensoriamento remoto e imagens da série Landsat;

2 - Analisar as alterações temporais na cobertura vegetal e nas condições de solo, utilizando séries históricas dos índices NDVI, SAVI e NBR2.

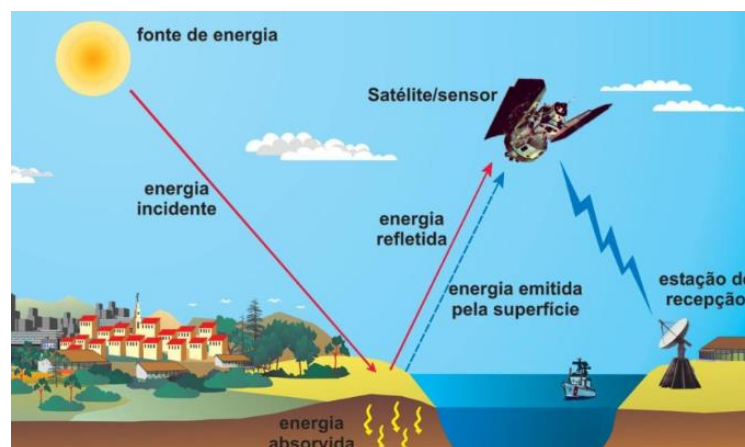
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A evolução histórica do sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto (SR) consiste em uma gama de tecnologias e conhecimentos que permitem obter informações sobre a superfície terrestre, sem a necessidade de presença física no local de estudo para a coleta de dados (Jensen, 2011). Utilizam-se ferramentas como satélites artificiais, Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), entre outros, além de tecnologias que podem contribuir também para o pós-processamento (Florenzano, 2011).

Para a obtenção de informações, alguma fonte de energia é requisitada, sendo fornecida de maneira natural, como o calor superficial da crosta terrestre e a radiação solar, que incide sobre a superfície e, ao ser refletida, é captada por instrumentos com sensores (Figura 1). Exemplos incluem os satélites da série Landsat, com o sensor Operational Land Imager (OLI), ou MSI do Sentinel, que captam frequências do visível, vermelho e infravermelho próximo (Zhu *et al.*, 2015). No entanto, as fontes de energia para obtenção de informações espectrais de um determinado alvo podem ser de origem artificial, como flashes, sinais de radar, lâmpadas etc. (Florenzano, 2011; Jensen, 2011).

Figura 1. Demonstração da captação de informação no sensoriamento remoto



Fonte: Florenzano (2011).

As práticas que se utilizaram do SR tiveram início no período de guerras do século XIX, com o uso de balões a gás mais a utilização de câmeras fotográficas, para reconhecimento de tropas inimigas, assim proporcionando vantagem na montagem de estratégias. Essa

tecnologia foi avançando com o decorrer dos anos. Na Primeira Guerra Mundial, os aviões foram usados como veículos aéreos para obtenção de fotografias. Na Segunda Guerra Mundial, a tecnologia evoluiu com o desenvolvimento do filme de câmera infravermelho, destinado a detectar a camuflagem utilizada pelos soldados (Florenzano, 2011).

A tecnologia chegou ao Brasil em meados da década de 1970, através do Programa Radar na Amazônia (RADAMBRASIL), organizado pelo Ministério de Minas e Energias (com o nome anterior de Departamento Nacional de Produção Mineral), a fim de mapear os recursos naturais da mata amazônica e mata atlântica, incluindo a vegetação presente, solo e minerais e como utilizar as terras (Ministério De Minas e Energia, 2024).

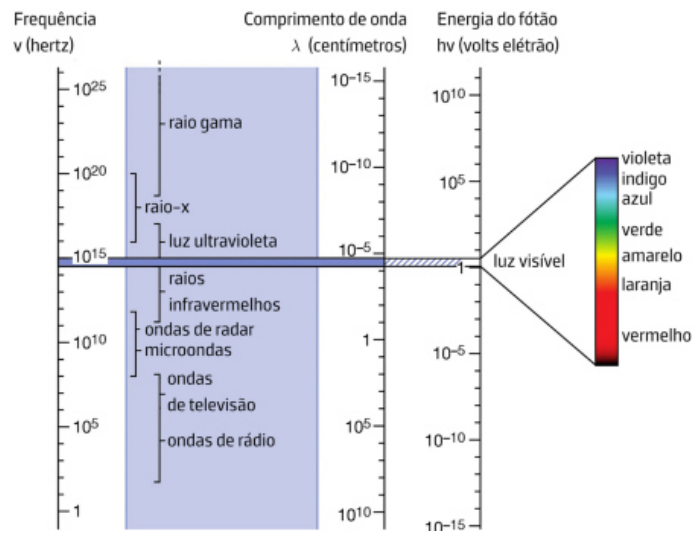
A introdução dessa tecnologia se deve à extensa faixa territorial que existe no Brasil, além do custo para a caracterização das informações requisitadas no projeto, que é acessível ao país, induzindo o uso da tecnologia em diversas áreas (Rosa; Brito, 2013). Na área da Agronomia, se desenvolveu em diversos ramos, como a Agronomia de precisão, monitoramento vegetal e florestal, entre outros.

3.1.1 Energia eletromagnética e seu comportamento

A energia eletromagnética é oriunda da transformação de diferentes energias, gerando a radiação, veículo que leva a informação do material de estudo (Novo, 2010), não necessitando de um meio físico para isto, sendo o sol a principal fonte de energia (Florenzano, 2011).

O espectro da energia eletromagnética abrange todos os comprimentos de onda, desde os mais curtos, como os de raio gama, até os longos, como aqueles utilizados no rádio e televisão. É entre os comprimentos de 400 nm a 700 nm que se encontra espectro luz visível (Rossel; R.A *et al.*, 2006), como mostrado na Figura 2, começando da cor violeta e terminado na vermelha, continuando com infravermelho (não visível), no qual este é dividido em próximo, médio e distante ou termal (Quartaroli; Vicente; De Araújo, 2014).

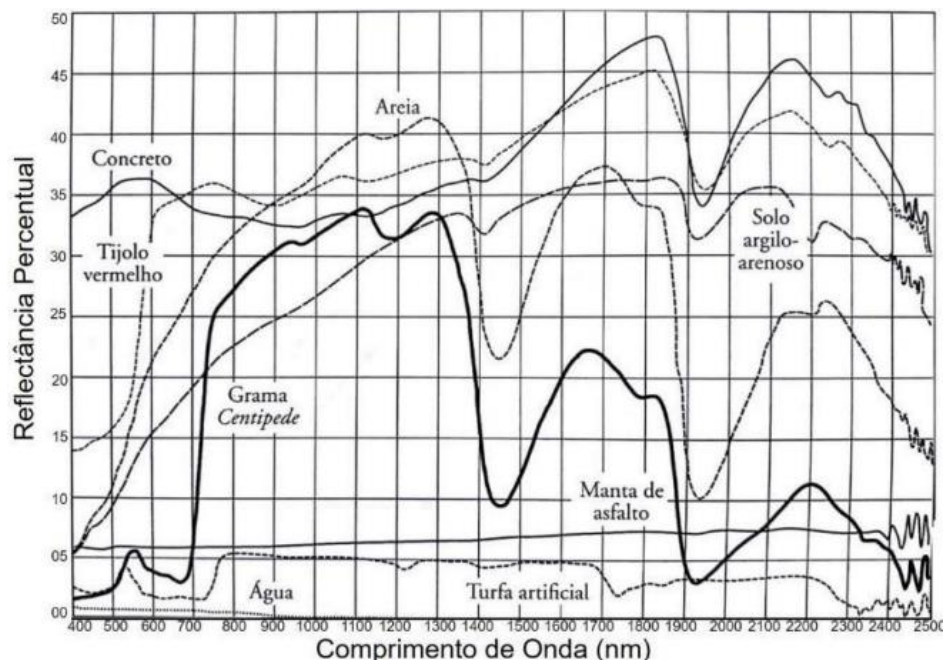
Figura 2. Espectro eletromagnético



Fonte: Encyclopedia Britannica (2019).

Segundo Florenzano (2010), o que faz com que o objeto reaja é sua composição físico-química, a condição em como se encontra, e a faixa de comprimento de onda em que o objeto esteja designado (Figura 3), pois este pode realizar mesma ação que outro quando submetido na mesma banda de comprimento, existindo então uma assinatura espectral, como também relatam Lillesand, Kiefer e Chipman (2015).

Figura 3. Gráfico de reflectância para diferentes alvos terrestres



Fonte: Jensen (2011).

3.1.2 Sensores remotos e suas funcionalidades

Para compreender a energia eletromagnética, utilizam-se sensores capazes de captar e interpretar a radiação refletida ou transmitida pelos objetos em estudo. Esses sensores obtêm diferentes comprimentos de onda dentro da faixa do espectro, sendo, por isso, denominados multiespectrais (Antunes, 2001).

3.1.3 Satélites

Os satélites são muito utilizados no sensoriamento remoto, possuindo neles sensores, como por exemplo, a série Landsat (Land Remote Sensing Satellite), lançada pela agência espacial americana, a NASA (Rosa; Ribeiro, 2013). O Landsat possui modelos mais utilizados como o Landsat 5 (Tabela 1) - operando desde 1972 -, e atualmente está em suas versões Landsat 8 – operando a partir de 2013 – e Landsat 9 – a partir de 2021 (Tabela 2) –, levando consigo os sensores TIRS e OLI (Thermal Infrared Sensor e Operational Land Imager respectivamente) (Bezerra, 2019; NASA, 2021; USGS, 2021).

Tabela 1 – Bandas espectrais referentes aos comprimentos de ondas do Landsat 5

SENSOR	Banda Espectral	Comprimento de onda (μm)
TM	B1 azul	0,45 - 0,52
	B2 verde	0,52 - 0,60
	B3 vermelho	0,63 - 0,69
	B4 infravermelho Próximo	0,76 - 0,90
	B5 infravermelho médio 1	1,55 - 1,75
	B6 infravermelho termal	10,40 - 12,50
	B7 infravermelho médio 2	2,08 - 2,35

Fonte: Adaptado de USGS (2023).

Tabela 2 – Bandas espectrais referente aos comprimentos de ondas do Landsat 8 e 9

SENSOR	Banda Espectral	Comprimento de onda (μm)
<i>OLI</i>	B1 azul costeiro	0,43 - 0,45
	B2 azul	0,45 - 0,51
	B3 verde	0,53 - 0,59
	B4 vermelho	0,64 - 0,67
	B5 infravermelho Próximo	1,57 - 1,65
	B6 infravermelho médio 1	1,57 - 1,65
	B7 infravermelho médio 2	2,11 - 2,29
	B8 pancromática	0,50 - 0,68
	B9 CIRRUS	1,36 - 1,38
<i>TIRS</i>	B10 infravermelho termal 1	10,6 - 11,19
	B11 infravermelho termal 2	11,5 - 12,51

Fonte: Adaptado de USGS (2023).

O Landsat 9 trouxe avanços técnicos que aprimoraram a captação de dados, a calibração dos sensores e a resolução radiométrica de 14 bits (em comparação aos 12 bits de seu antecessor), permitindo uma melhor detecção de variações na luz. Isso oferece maior destaque às mudanças sutis no ambiente. Além disso, houve uma redução no tempo para a coleta de imagens, operando em conjunto com o Landsat 8 (USGS, 2021).

3.1.4 Índices espectrais

Os índices espectrais podem ser definidos como algoritmo matemático, ou seja, um conjunto de operações com os valores numéricos dos pixels das bandas disponíveis em uma banda, devido a reflectância de cada objeto presente na superfície, gerando após o processamento da imagem, um valor atribuído ao pixel (Pereira *et al.*, 2016).

O índice mais conhecido, tanto por seu uso em pesquisa, quanto pelo tempo de desenvolvimento ao longo dos anos, é o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), utilizado comumente para medição da densidade de área verde, ou até mesmo para verificar a saúde vegetal de uma área, devido a reflectância do infravermelho pelas folhas saudáveis (Rouse *et al.*, 1973), no qual se aplica a Equação 1.

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

O NIR corresponde à banda infravermelho e RED ao vermelho, gerando um resultado que pode variar de -1 a 1. Quanto mais próximo da extremidade negativa, menor densidade de reflectância de plantas verdes, sendo um indicador de baixa população. A saúde debilitada das plantas ou outro fator pode gerar essa baixa reflectância.

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é utilizado para correção do NDVI (Huete, 1988), porém, leva o fator solo na equação, devido sua assinatura espectral. Sua reflectância, quando em exposição, pode alterar o resultado, sendo usado em áreas com maior exposição do solo, ou, em áreas com vegetação espaçada e em menor densidade, assim como demonstra a Equação 2.

$$SAVI = \left(\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \right) * (1 + L) \quad (2)$$

Com a adição da constante L, quanto mais próximo de 1, maior será a presença do solo. Porém, normalmente é aplicado o valor de 0,5 para se encaixar na grande maioria dos solos (USGS, 2023).

Outro índice que possui importância, para efeito de vegetação em áreas com presença de solos descobertos, é o NBR2 (Variação da Taxa de Queima Normalizada), o qual é utilizado normalmente em áreas de pós queimada, em que consiste em salientar a sensibilidade da água na vegetação (Key; Benson, 1999), mostrando a separação entre área descoberta com área verde (USGS, 2023). Assim fica a Equação 3:

$$NBR2 = \frac{(SWIR1 - SWIR2)}{(SWIR1 + SWIR2)} \quad (3)$$

3.2 Código Florestal Brasileiro

Em 1934, o Código Florestal Brasileiro foi um importante marco para o país, pois nele estava prevista a importância dos recursos naturais e a obrigação de preservá-los. Mesmo não sendo aplicado corretamente ao longo dos anos, para melhor atender aos grandes produtores

rurais, o Código sofreu alteração em 1965, mas ainda assim continuava ineficaz (Roriz; Fearnside, 2015).

Após 47 anos, em 2012, surgiu o "Novo Código Florestal", com o objetivo de reafirmar o contexto de proteção ambiental no cenário mundial, regularizar as ações cometidas sobre os recursos naturais e legalizar o uso desses recursos de maneira organizada. Nos anos posteriores, ele buscou atender à realidade e às necessidades da população, flexibilizando o uso da terra para áreas fundiárias, privadas ou públicas (Roriz; Fearnside, 2015).

Dentro do Código Florestal de 2012, encontra-se a regularização das Reservas Legais (RL), que preconiza que uma parte do território particular tenha vegetação nativa, conforme descrito no art. 12º da Lei nº 12.727. As porcentagens mínimas de vegetação nativa são mantidas conforme a Lei nº 4.771/1965: 80% para a Floresta Amazônica, 35% para a área de Cerrado, 20% para os Campos Gerais e 20% para as demais áreas (Pantanal, Cerrado, Caatinga, Pampas, Mata Atlântica), como relatam Rodrigues e Matavelli (2020) sobre o Código Florestal.

As RLs têm como função a manutenção e preservação da fauna e flora da região em que se encontram, além do uso sustentável desses recursos. No entanto, são constantemente ameaçadas pelo interesse no desenvolvimento agropecuário em propriedades rurais, devido à obrigação constitucional de sua existência. Entretanto, o problema não reside nas RLs como impedimento ao desenvolvimento de áreas agrícolas, mas sim no manejo precário, como ocorre em áreas de pastagem com uso ineficiente, que poderiam suprir a demanda por carne até 2040 (Metzger *et al.*, 2019).

Além das Reservas Legais, o Código Florestal Brasileiro contém em seus artigos a presença das áreas de preservação permanentes (APPs), com função também de preservação de fauna e flora, em específico áreas próximas a afluentes e recursos hídricos naturais, a paisagem, e a estabilidade geológica (Roriz; Fearnside, 2020).

O Código Florestal de 2012 trouxe consigo também o Cadastro Ambiental Rural (CAR), registro nacional referente às áreas ambientais de imóveis rurais, como forma de se ter informações e dados para o controle destas regiões, a fim de criar um planejamento econômico sustentável, vigilância ao desmatamento ilegal, monitoramento ambiental, entre outras atividades (De Souza Filho, 2015).

3.3 Semiárido Brasileiro

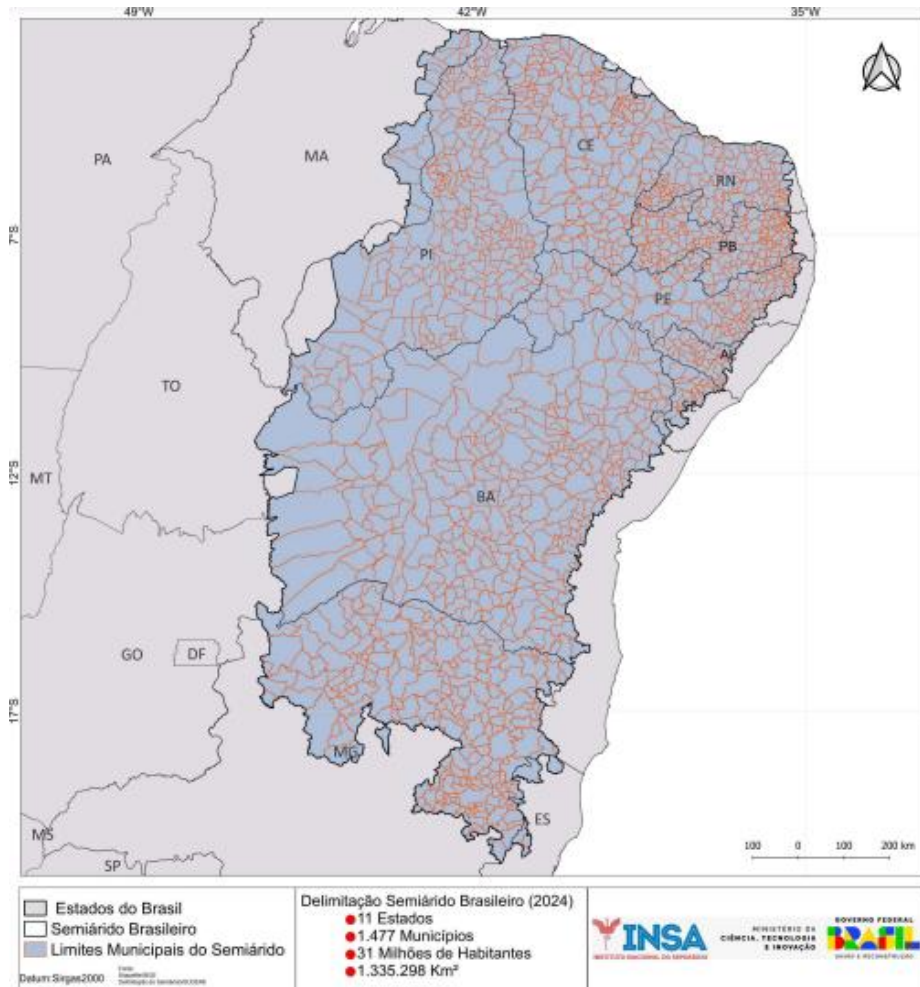
O Semiárido Brasileiro é caracterizado por condições climáticas extremas, marcadas por dois períodos distintos, conhecidos como quadra chuvosa e quadra seca. A maior parte dessa região está localizada no Nordeste do Brasil, abrangendo os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, além do norte de Minas Gerais, situado na região Sudeste (Santos *et al.*, 2017). Em 2022, os estados do Espírito Santo e Maranhão foram incluídos na delimitação do Semiárido, totalizando 1.477 municípios (IBGE, 2022).

A delimitação do Semiárido considera alguns critérios, tais como: taxas de precipitação pluviométrica média anual inferiores a 800 mm; alto índice de aridez, calculado pelo balanço hídrico que relaciona a evapotranspiração potencial e a precipitação; risco de seca superior a 60%; e continuidade territorial. Contudo, esses critérios estão sendo revistos devido aos eventos climáticos provocados pelo El Niño, bem como à expansão das áreas de desertificação (Letras Ambientais, 2024).

No total, o Semiárido ocupa 15% do território nacional, correspondendo a 1.335.298 km² e abrigando 31 milhões de habitantes (Figura 4). Considerado uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo, apresenta uma dicotomia climática marcada por períodos de seca e episódios de monções torrenciais, mesmo que ocorram por um curto período do ano. Esses eventos permitem que rios e lagos intermitentes revivam temporariamente. Além disso, devido às suas particularidades, o Semiárido é altamente suscetível às mudanças climáticas, tornando essencial o monitoramento constante da região (Instituto Nacional Do Semiárido, 2024).

O clima predominante no Semiárido Brasileiro é do tipo BSw'h', de acordo a classificação de Köppen, ou seja, caracterizado por um clima tropical seco com as taxas de evaporação excedendo a de precipitação e ocorrência de pequenos períodos de chuvas sazonais (De Medeiros; Cavalcanti; Duarte, 2020) A maior parte das chuvas se concentra entre três e quatro meses dentro da estação chuvosa, ocasionando um balanço hídrico negativo na maioria dos meses do ano e alto nível de aridez. As temperaturas médias são em torno de 28°C e sem variações estacionais significativas (Souza *et al.*, 2014).

Figura 5. Delimitação do Semiárido Brasileiro 2024



Fonte: INSA (2024).

De acordo com Coutinho *et al.* (2013), as principais atividades econômicas existentes na região são a prática da pecuária extensiva, agregada à exploração agrícola em regime de sequeiro. A pecuária é amplamente utilizada como um meio de subsistência durante o período de seca, seja para o consumo ou para a venda da carne e de seus derivados. Já a agricultura costuma ser de sequeiro ou irrigada, dependendo da área e da época de cultivo, apresentando limitações devido ao baixo grau de tecnificação e à elevada dependência da disponibilidade de recursos naturais (Lima; Araújo; De Melo, 2020).

O Semiárido Brasileiro apresenta também uma variedade significativa de solos ao longo de sua extensão, devido a diversificação do material de origem e relevo, além da influência da aridez do clima, sendo possível observar várias classes de solo, desde aqueles muito jovens e rasos aos mais profundos e evoluídos. Dentre os 15 tipos de solos verificados no Semiárido, quatro ordens são mais comuns, ocupando 66% das áreas sob caatinga, como Latossolos, Neossolos Litólicos, Argissolos e Luvisolos (Cunha *et al.*, 2010).

O relevo da região também é bastante variável, existe a presença de superfícies com menores extensões como as bacias sedimentares, superfícies cársticas e dissecadas, tabuleiros costeiros, baixadas aluviais, maciços, serras, dentre outros (Lima; Lupinacci, 2021)

A região semiárida brasileira apresenta uma alta variabilidade ambiental (solo, clima, vegetação e relevo) e forma um mosaico de ecossistemas únicos. Esses fatores ambientais são responsáveis pela presença da vegetação Caatinga, adaptada à distribuição de precipitação e em sua maioria são xerófilas e caducifólias (Drumond *et al.*, 2016).

3.4 Caatinga

O bioma Caatinga possui ocorrência exclusivamente no território brasileiro, no qual a maior parte da sua área se encontra na região Nordeste (53,49%), e um pequeno trecho na região Sudeste, onde o clima semiárido é dominante e que fica ao norte do estado de Minas Gerais. O nome Caatinga possui etimologia indígena e significa mata branca (*caa* - mata; *tinga* - branca, clara, aberta), devido ao fato de que, durante a estação seca, a maior parte das plantas de sua vegetação perdem as folhas e os troncos das árvores ficam com aparência esbranquiçada (Demartelaere *et al.*, 2022).

A Caatinga ocupa uma extensão territorial de aproximadamente 10,1% do território brasileiro e cerca de 28 milhões de pessoas residem nesse ambiente, utilizando seus serviços ecossistêmicos, como solo, água, matéria-prima, alimentação, dentre outros. O estado do Ceará é o único da região Nordeste que está 100% dentro do domínio da Caatinga, contudo, também há ocorrência de outros enclaves de vegetação (Associação Caatinga, 2024).

Por muito tempo acreditou-se que a Caatinga era um bioma com poucas variedades de espécies de animais e plantas, sendo esse um dos motivos para a elevada taxa de degradação do bioma, além do baixo investimento para a sua preservação e conservação. Esse cenário tem se modificado nas últimas décadas, pois diversos pesquisadores vêm realizando levantamentos visando revelar as riquezas encontradas na Caatinga (Garda *et al.*, 2018).

Demartelaere *et al.* (2022) afirmam que cerca de 40% da área total da Caatinga já foi degradada, e esse cenário é visualizado por conta de atividades ilegais como corte e exploração de madeira, além de outras práticas, como caça predatória, mineração, realização da agricultura de forma inadequada, através da implementação de monoculturas e uso de produtos químicos, pecuária extensiva, dentre outros.

Outro fator que contribui para a degradação da Caatinga diz respeito ao crescimento urbano desordenado, que juntamente com as problemáticas mencionadas, contribuem para a deterioração desse bioma, empobrecendo seu solo, reduzindo a biodiversidade e, conseqüentemente, impactando na população que reside nessa região (Letras Ambientais, 2021).

3.5 Contexto dos assentamentos

Como salienta o Prof. Dr. Antonio Mitidiero (2011), o surgimento de assentamentos rurais se dá pelo movimento dos povos em estado de vulnerabilidade, dentro do ambiente rural, trazendo à tona o movimento iniciado do povo ao povo, no qual a organização desses cidadãos para realizar desapropriação de terras se tornou mais eficiente para a conquista das terras do que a Constituição, lutando contra o pouco gerenciamento realizado por esta.

A desigualdade existente no Brasil em relação a distribuição de terra é notória, e até os dias atuais ainda se necessita de grupos organizados pelos próprios afetados para realizar essa distribuição (Reis, 2019). A situação se agravou ainda mais após o período de crescimento e expansão do agronegócio nos anos de 1970, no qual existiu o aumento da ocupação intensiva da terra, a ênfase na produção de commodities para exportação, realizando a modernização do campo, com a utilização de fertilizantes sintéticos para promover a mudança necessária no solo, melhoramento genético para se alcançar o máximo de produtividade, entre outras tecnologias, período chamando de “Revolução Verde” (Serra, 2016). Contudo, essa revolução apenas chegou aos grandes latifundiários, forçando a saída dos moradores dos campos, causando um êxodo rural (Gosch, 2020).

O uso da terra de maneira organizada e racionalizada para produção iniciou-se no período pós ditadura, sendo restituída no ano de 1985 com o Plano Nacional de Reforma Agrária (PNRA). Contudo, anteriormente a esse momento, era muito comum haver desapropriação de terras oriundas de grandes áreas, que não cumpriam sua função social, gerando um baixo gerenciamento de recursos naturais presentes no local, bem como o comprometimento da sua preservação (Bergamasco, 1997).

A ausência de políticas públicas voltadas ao meio rural intensificou os conflitos agrários, caracterizados por elevada violência e disputas por terras. A expansão do agronegócio e de empreendimentos energéticos, como usinas eólicas, agravou esses embates, com impactos

crescentes. Patrícia Binkowski (2018) ilustra essa realidade ao mencionar o assassinato de Chico Mendes, exemplo emblemático de impunidade nesse contexto.

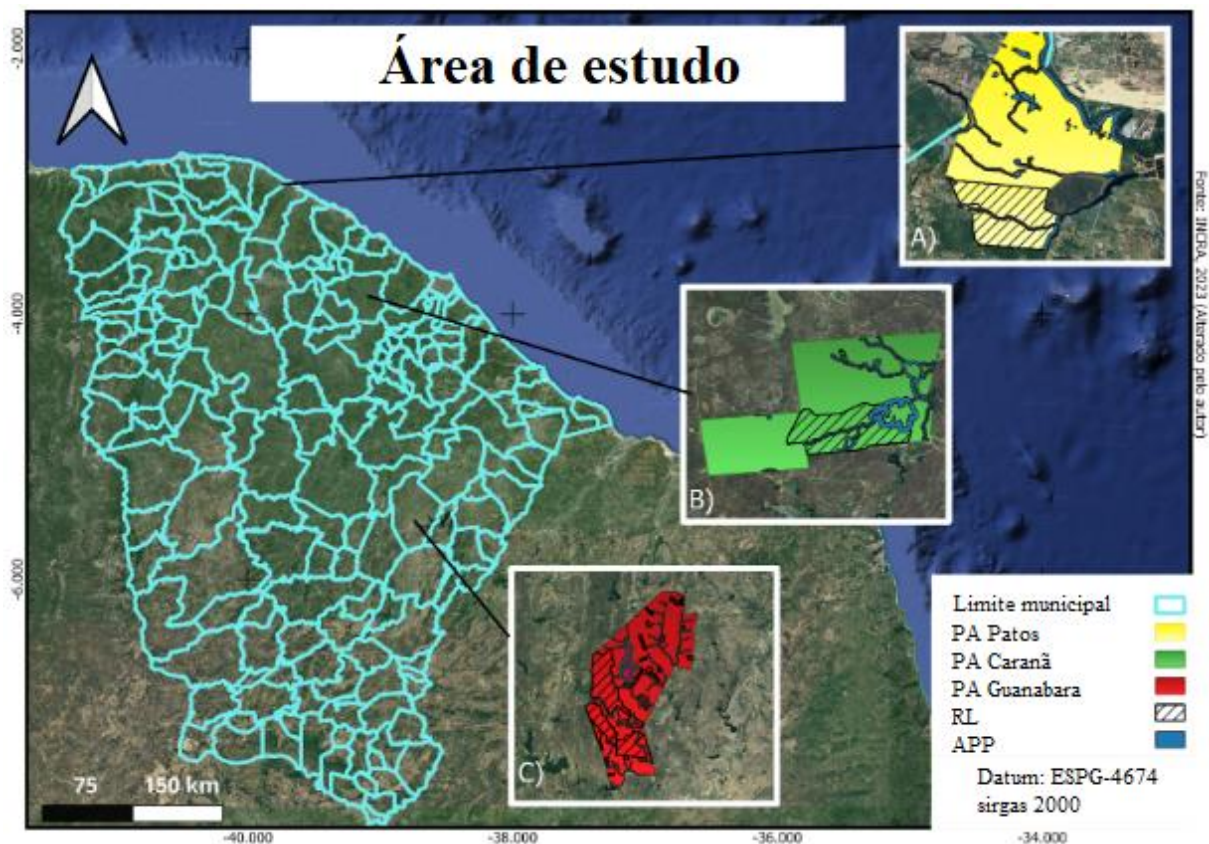
Desde 2004, o número de assentamentos e famílias aumentou significativamente, promovendo sua dispersão pelo território brasileiro. Entretanto, a distribuição é desigual, com maior concentração nas regiões Norte e Nordeste, fenômeno associado ao deslocamento populacional para áreas remotas e à expansão do agronegócio (Gosch, 2020).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Áreas de estudo

O estado do Ceará, localizado entre as coordenadas 4°46'30" Sul e 37°14'44" Oeste, possui uma área territorial de 149.325 km². Para esta pesquisa, foram selecionados quatro desses assentamentos como áreas de estudo, todos regularizados pelo INCRA/CE. Sendo eles: *i*) Assentamento PA (Projeto de Assentamento) Patos (Figura 6a); *ii*) Assentamento PA Caraná São José (Figura 6b); *iii*) Assentamento PA Guanabara (Figura 6c).

Figura 6. Mapa referente a área de estudo



Fonte: Autor (2024)

O assentamento PA Patos está localizado no município de Amontada (figura 6a), que apresenta clima tropical quente semiárido, com área de 1.179,59 km², altitude média de 40 metros e precipitação pluviométrica média de 667 mm anual (FUNCEME,2025). O assentamento foi constituído em 26 de dezembro de 1994, com a criação formalizada em 12 de dezembro de 1995, possuindo uma área de 1.598,64 hectares, localizado nas coordenadas 3°1'59" Sul e 39°42'51" Oeste (Datum SIRGAS 2000). Atualmente, o PA Patos abriga 31 famílias, embora tenha capacidade para apenas 30, configurando uma situação de lotação. O assentamento encontra-se na fase 5 (assentamento em estruturação). As principais culturas

desenvolvidas localmente são feijão (156 ha), caju (80 ha), coco (20 ha) e mandioca (156 ha), sendo esta última destinada à fabricação de farinha (INCRA, 2024).

O assentamento PA Caranã localiza-se no município de Pentecoste (figura 6b), que apresenta clima semiárido, altitude média de 71 metros e precipitação pluviométrica média de 721 mm anual (FUNCEME,2025). A ocupação do assentamento ocorreu em 23 de dezembro de 2011, com sua criação formal pelo INCRA/CE em 29 de novembro de 2013 (INCRA, 2024). A área total do PA Caranã é de 1.018,25 hectares, situado nas coordenadas 3°47'49" Sul e 39°6'57" Oeste (Datum SIRGAS 2000). Atualmente, conta com a ocupação de 16 famílias, que correspondem à sua capacidade máxima, encontrando-se na fase 3 (assentamento criado) perante o INCRA (INCRA, 2024). A produção local é de subsistência, baseada principalmente nas culturas de milho e feijão, com o uso de cultivo rotativo (INCRA, 2024).

O assentamento PA Guanabara está situado no município de Jaguaratama (figura 6c), que possui clima semiárido, altitude média de 115 metros e precipitação pluviométrica média de 796 mm anual (FUNCEME,2025). Sua formação ocorreu em 21 de fevereiro de 1989, e a criação após 6 meses, em 16 de agosto de 1989 (INCRA, 2024). Ocupa uma área de 3789,82 ha, localizada nas coordenadas 5°32'49" Sul e 38°49'11" Oeste (Datum SIRGAS 2000). Atualmente, existe 113 famílias ocupantes, se encontrando na fase 6 (assentamento consolidado) (INCRA, 2024). Sua produção se concentra principalmente em grãos forrageiros, destacando-se o sorgo forrageiro (INCRA, 2024).

A escolha dos assentamentos se deu de forma aleatória, procurando abranger diferentes regiões do semiárido cearense: litoral (Amontada), região central (Pentecoste) e oeste do estado (Jaguaratama).

4.2 Aquisição de imagens multiespectrais

As imagens utilizadas neste estudo foram obtidas por meio do sistema de acesso online gratuito da *United States Geological Survey* (usgs) (<https://www.usgs.gov/>; acesso em: 06/11/2024), que fornece acesso aos dados da missão espacial Landsat. A escolha dessas imagens considerou o período do ano com maior cobertura vegetal na região, correspondente ao período chuvoso. Outro critério importante para escolha das imagens foi a nebulosidade presente na área de interesse, sendo admitido 25% de nuvens presentes na cena. Esse aspecto é relevante pois influencia negativamente no processamento e qualidade das imagens, reduz a informação útil pela à formação de sombras e sobreposições na cena.

Para a composição da série temporal, foram utilizados diferentes sensores da série Landsat. Imagens mais antigas foram adquiridas a partir do satélite Landsat 5, equipado com o sensor Thematic Mapper (TM). Para as cenas obtidas a partir de 2013, foram utilizados os satélites Landsat 8 e Landsat 9, ambos equipados com os sensores OLI e TIRS.

Tabela 3 - Informações sobre as imagens

Assentamentos	Data	satélite
Patos	19/06/1991	landsat-5
	15/06/2007	landsat-5
	13/06/2024	landsat-8
Caraná	07/04/2011	landsat-5
	26/06/2017	landsat-8
	13/06/2024	landsat-8
Guanabara	19/06/1991	landsat-5
	22/05/2010	landsat-5
	26/05/2023	landsat-8

Fonte: Próprio autor

Para a análise temporal, foram selecionadas séries históricas de imagens correspondentes a três momentos distintos: (i) período próximo à criação de cada assentamento; (ii) um momento intermediário entre a criação e o período atual; e (iii) o período mais recente, próximo à data de realização desta pesquisa. Essa abordagem permitiu avaliar a evolução das características ambientais ao longo do tempo.

4.3 Dados vetoriais

Os perímetros dos assentamentos, em formato *shapefile* (dados vetoriais), foram provenientes do INCRA (www.gov.com.br; acesso em: 06/03/2024); os vetores dos municípios foram obtidos através da plataforma online do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (www.ibge.gov.br; acesso em: 22/06/2024); APP's e RL's foram obtidos através do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) (consultapublica.car.gov.br; acesso em: 22/06/2024). Por fim, os dados de desmatamento foram adquiridos através do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), disponíveis na plataforma digital do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) (terrabrasilis.dpi.inpe.br; acesso em: 23/06/2024).

4.4 Índices espectrais

Com obtenção dos dados de caráter vetoriais e raster (imagens), estes foram gerenciados através do software gratuito QGIS, na versão 3.28.12. As imagens coletadas através dos satélites na data conferida como mostra a tabela 3, foram então processadas por meio da calculadora raster, usufruindo apenas das bandas espectrais necessárias para as equações dos índices 1, 2 e 3.

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

$$SAVI = \left(\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \right) * (1 + L) \quad (2)$$

$$NBR2 = \frac{(SWIR1 - SWIR2)}{(SWIR1 + SWIR2)} \quad (3)$$

Para o NDVI utilizou-se as bandas do infravermelho e vermelho (bandas 3 e 4 no Landsat-5; bandas 4 e 5 no Landsat-8) aplicando, para SAVI as mesmas bandas anteriores mais o fator de reajuste do solo em 0,5, abrangendo diferentes tipos de solo (USGS, 2025), e no NBR2 a bandas do infravermelho médio 1 e 2 (bandas 5 e 7 no Landsat-5; bandas 6 e 7 no Landsat-8).

4.5 Processamento

Após a coleta e o processamento das imagens para obtenção dos índices espectrais selecionados, as imagens resultantes foram recortadas com base na camada vetoriais das áreas de Reserva Legal (RL), de modo a restringir as análises à área de interesse.

Para a identificação e separação de solos descobertos em relação a outros elementos da cena, foram aplicados intervalos específicos para cada índice espectral. No caso do NDVI, adotou-se o intervalo de 0 a 0,30 para a classificação de solos desnudos (Silveira, 2022); no SAVI, utilizou-se o intervalo de 0 a 0,25 (Caetano et al., 2022); e para o NBR2, considerou-se

o intervalo de 0 a 0,18 (Poppiel et al., 2019). A aplicação desses limiares permitiu a geração de dados, nos quais os pixels correspondentes a solos desnudos foram destacados. A partir desses mapas, foi realizado o cálculo da área total de solo exposto em cada RL, possibilitando a comparação com a área total da respectiva Reserva Legal.

Com os novos limites aplicados na RL's, foram analisadas apenas as imagens cujos índices se mantiveram dentro do intervalo estabelecido de SAVI (0,25), NDVI (0,30) e NBR2 (0,18).

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

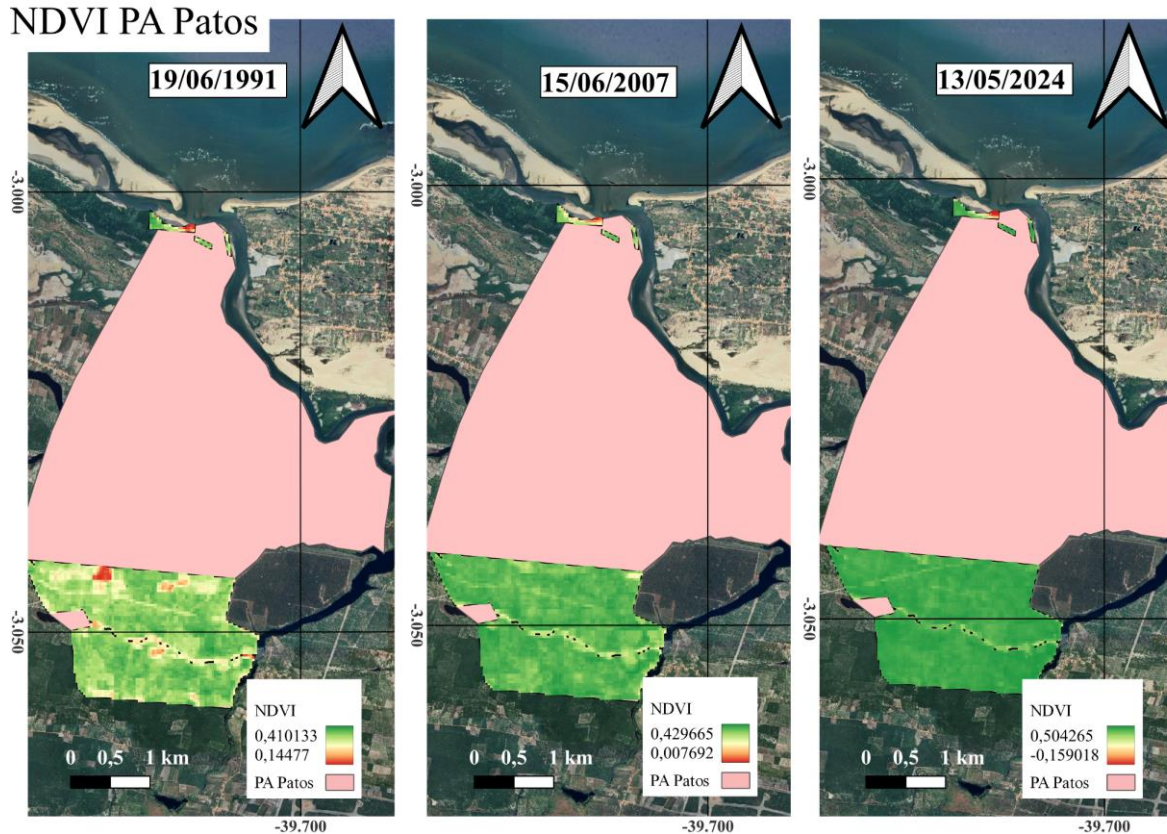
A variação dos valores obtidos por meio dos índices de vegetação ocorre em uma escala padronizada entre -1 e 1, sendo válida para o NDVI, SAVI e NBR2. Valores próximos

de 1 indicam alta densidade de vegetação, sugerindo uma significativa presença de biomassa na área analisada. Em contrapartida, valores próximos de -1 ou negativos estão geralmente associados à presença de corpos d'água, áreas urbanizadas ou solo exposto, representando, portanto, baixa ou inexistente cobertura vegetal (USGS.,2025).

5.1 Assentamento PA Patos

A Figura 7 apresenta a evolução temporal do NDVI no assentamento Patos, localizado no município de Amontada-CE. Em 1991, os valores de NDVI variaram de 0,14 a 0,41, caracterizando o ano com a menor amplitude de variação e, conseqüentemente, menor densidade de vegetação aparente. Em 2007, observou-se uma alteração na distribuição dos valores, com uma amplitude variando entre 0,00 e 0,42. Esta distribuição, visualmente, sugere uma maior homogeneidade da cobertura vegetal em comparação com o período anterior. No ano de 2024, a variação do NDVI estendeu-se de -0,15 a 0,50. Verifique-se um aumento nos valores máximos do índice, indicando um incremento na área vegetada, a presença de pixels com os menores valores registrados entre os três períodos (-0,15) pode ser um indicativo de áreas com degradação da vegetação ou corpos d'água. (Bayma; Sano, 2015)

Figura 7. Análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na RL do assentamento PA Patos

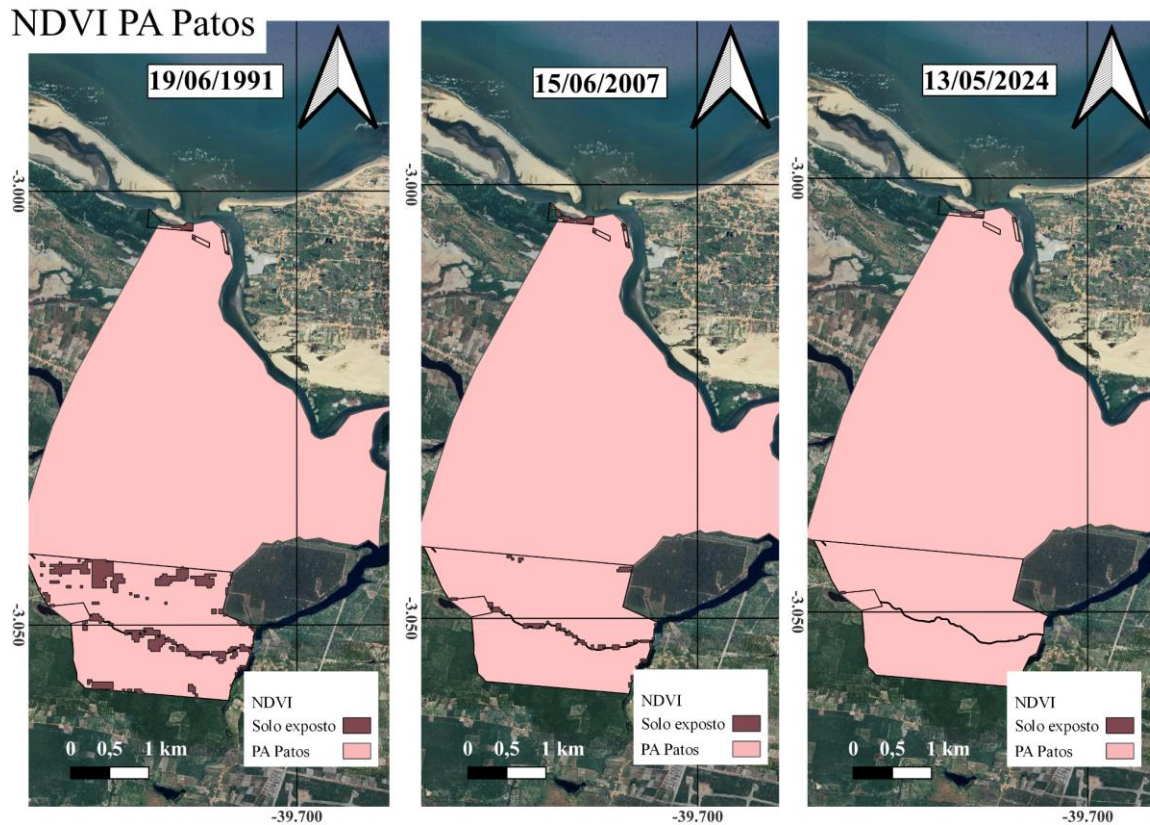


Fonte: Próprio autor

Na figura 8 é apresentado os pixels referentes como solo exposto utilizando nova classificação imposta no NDVI (0 a 0,30) no Assentamento Patos nos anos de 1991, 2007 e 2024, considerando uma Reserva Legal (RL) com 377 ha. No primeiro ano analisado (1991), foi observada uma área de solo exposto de 53,04 ha, o que corresponde a aproximadamente 14,07% da área total da RL. Nos anos subsequentes, verificou-se uma redução progressiva dessa exposição, atingindo 12,78 ha (3,39%) em 2007 e 1,62 ha (0,43%) em 2024.

Uma parte da concentração destes pixels se dá na região próxima as matas ciliares, por onde passa corpos hídricos, podendo também indicar a forte presença de corpos de água na proximidade

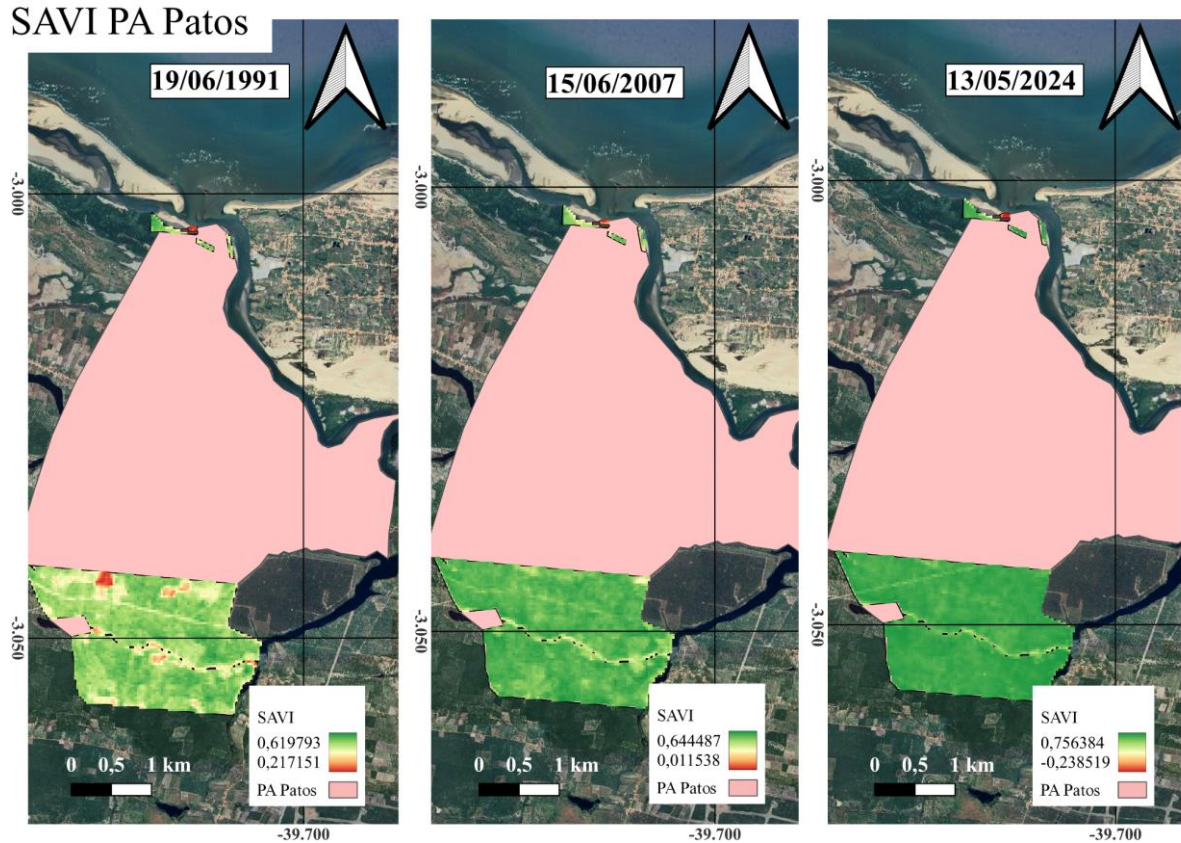
Figura 8. Pontuações de solo exposto referente ao NDVI aplicado na RL do assentamento PA Patos



Fonte: Próprio autor

Na Figura 9, são apresentados os resultados do índice SAVI para o mesmo recorte temporal aplicado anteriormente. Para o ano de 1991 a variação dos valores fica entre 0,21 a 0,61. Para o ano de 2007 o índice varia de 0,01 a 0,64, sugerindo uma variação na umidade do solo ou na sua biomassa ali presente naquela época como mostra Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2015). Essa variação prossegue em 2024, oscilando entre -0,2 e 0,75, estes valores mais altos podem indicar maior distribuição vegetal, porém os mais baixos sugerem presença de corpos d'água ou desmatamento severo neste pontos.

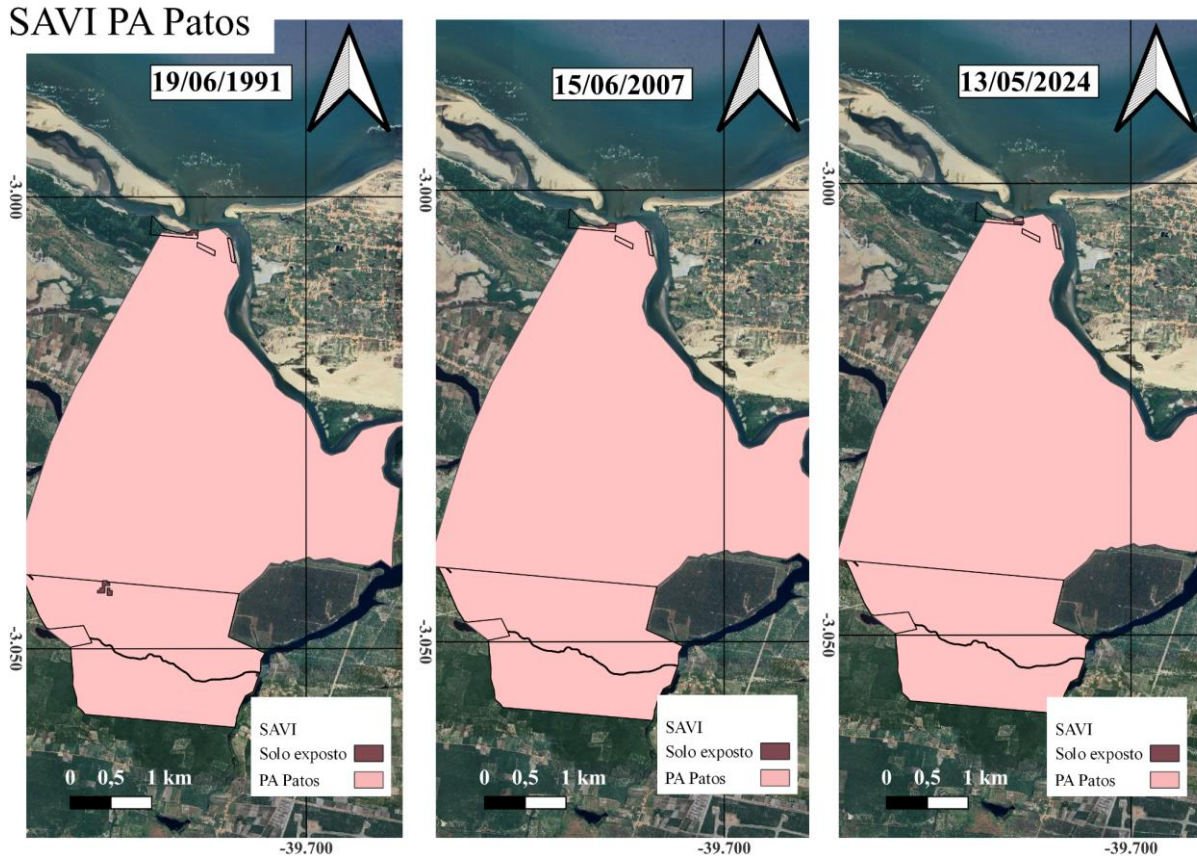
Figura 9. Análise temporal do índice de vegetação ajustado pelo solo (SAVI) na RL do assentamento PA Patos



Fonte: Próprio autor

Na Figura 10, são apresentados os pixels representantes de solo exposto utilizando a nova classificação imposta no SAVI (0 a 0,25). Embora os pixels representantes de solo descobertos tenham sido menos representativos (ou menos aparentes) se comparado aos do NDVI, a tendência de redução da área de solo exposto manteve-se consistente ao longo dos anos analisados. Em 1991, a área exposta foi de 2,16 ha (0,57% da RL); em 2007, esse valor reduziu-se para 0,99 ha (0,26%); e, em 2024, atingiu 0,63 ha (0,17%).

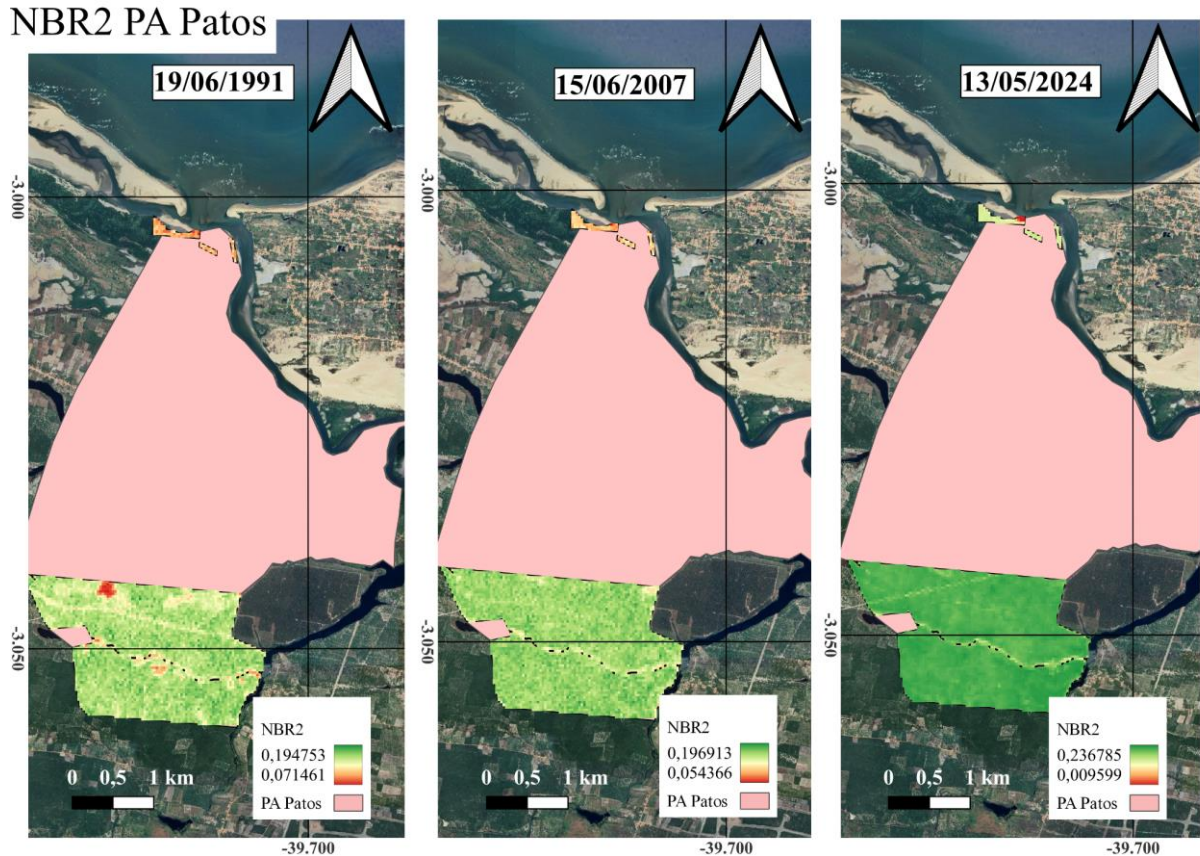
Figura 10. Pontuações de solo exposto referente ao SAVI aplicado na RL do assentamento PA Patos



Fonte: Próprio autor

A Figura 11 apresenta a evolução espacial do índice NBR2 no assentamento Patos, considerando o mesmo recorte temporal aplicado aos demais índices analisados. Em 1991, os valores do NBR2 variaram entre 0,07 e 0,19, evidenciando que grande parte da área estudada apresentava valores próximos ao limite inferior de 0,18, o que pode indicar baixa densidade de cobertura vegetal. No ano de 2007, observa-se uma distribuição mais homogênea da biomassa na RL, embora os valores do índice tenham permanecido relativamente constantes, oscilando entre 0,05 e 0,19, semelhante ao período anterior. Já em 2024, os valores variaram entre 0,009 e 0,23. O valor mínimo pode estar associado à presença de cicatrizes de queimadas ou pequenos distúrbios ambientais que afetaram a reflectância do solo, característicos do índice NBR2 (Key; Benson, 2006). Por outro lado, o valor máximo observado sugere um aumento na densidade de biomassa na área analisada.

Figura 11. Análise temporal do índice razão de queimada 2 (NBR2) no assentamento PA Patos



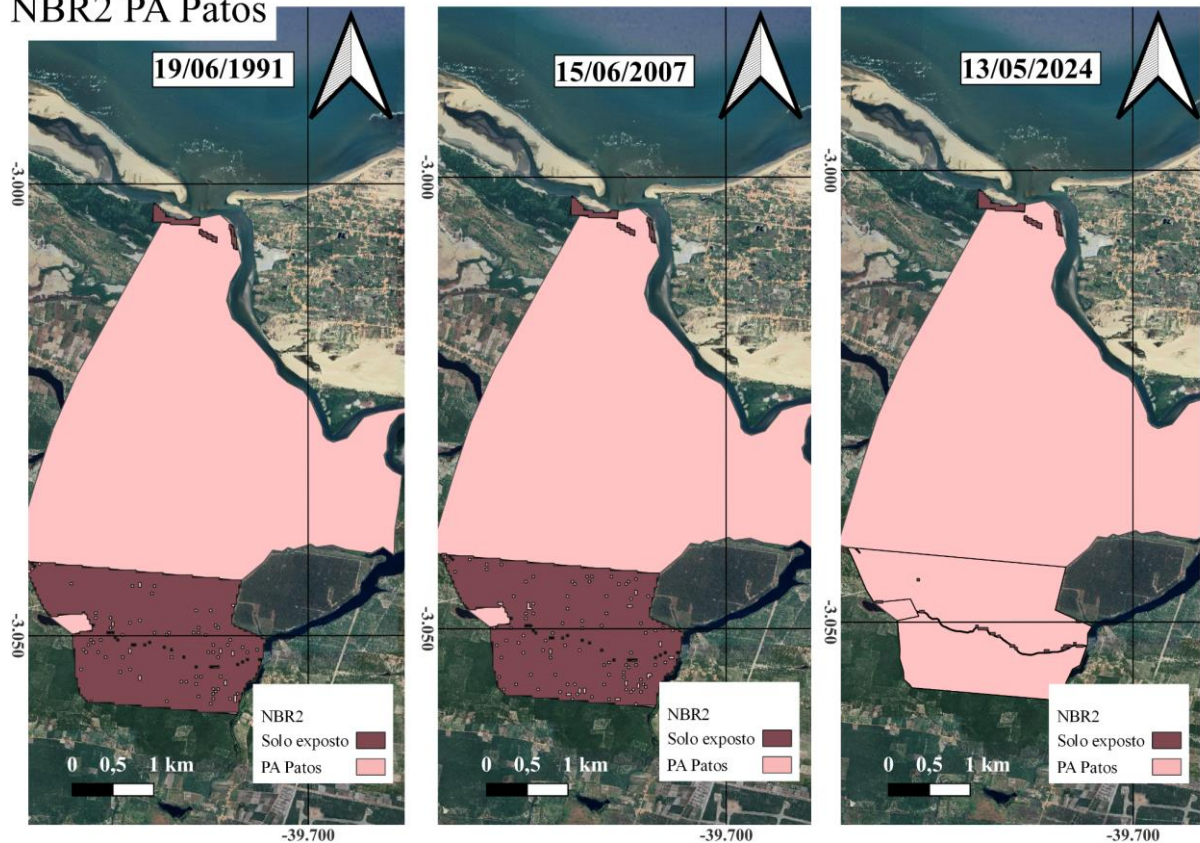
Fonte: Próprio autor

Na Figura 12, é apresentado os pixels referentes como solo exposto utilizando a nova classificação imposta no índice NBR2(0 a 0,18), aplicado na RL do assentamento PA Patos. No primeiro ano analisado, foi identificado uma área de 369,32 ha, correspondente a 97,96% da área da RL. Em 2007, esse valor foi para 366,15 ha (97,15%). Em 2024, a área foi de 10,98 ha (2,91%).

Nos dois primeiros anos a concentração de pixels considerados como solos expostos estão distribuídos de forma homogênea em toda RL, o que difere do último ano, no qual estes pontos estão sobre o possível corpo d'água que por ali passa, assim tornando os valores mais baixos.

Figura 12. Pontuações de solo exposto referente ao NBR2 aplicado no assentamento PA Patos

NBR2 PA Patos



Fonte: Próprio autor

O comportamento espectral observado nos três índices (NDVI, SAVI e NBR2), demonstrou concordância nos resultados, indicando uma tendência quanto à evolução da vegetação dentro da Reserva Legal, demonstrados nos valores superiores, porém os valores inferiores tiveram uma tendência a diminuir a cada imagem.

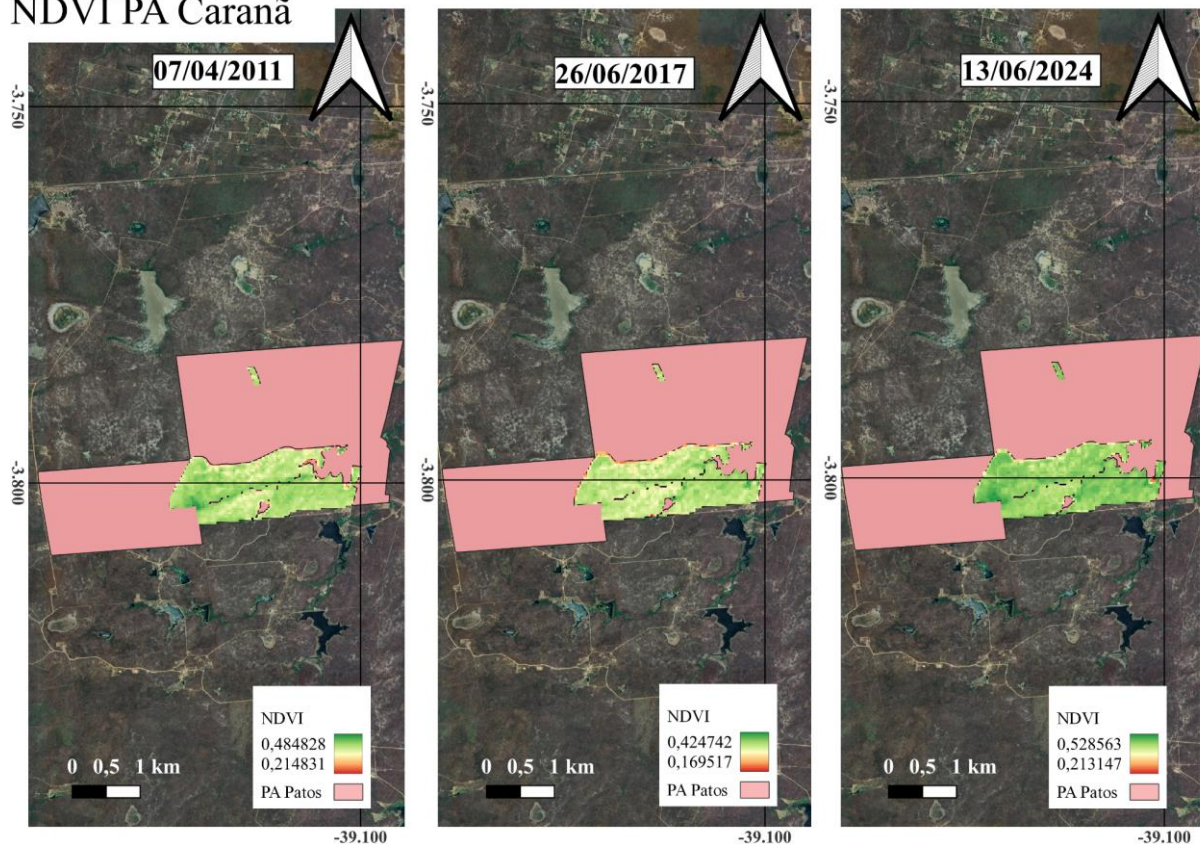
Essa concordância entre os índices nos valores superiores indica uma possível preservação ambiental na área de estudo, possivelmente favorecida pela baixa ocupação do solo e está localizada no litoral, próxima a corpos hídricos, que podem contribuir para o abastecimento hídrico da vegetação da RL, entretanto valores mais baixos mostram uma tendência no aumento progressivo, podendo ser corpos d'água ou uma variação de um reflexo na mudança no uso da ocupação do solo e processos de degradação ambiental, como investigados por Maranhão *et al* (2012) ao analisar paisagens costeiras.

5.2 Assentamento PA Caranã

A Figura 13 apresenta a evolução temporal do Índice NDVI no assentamento PA Caranã, para os anos de 2011, 2017 e 2024. Em 2011, a variação dos valores de NDVI situou-se entre 0,21 e 0,48, indicando uma distribuição da cobertura vegetal relativamente homogênea na área de estudo. No entanto, em 2017, observou-se uma redução nesses valores, que passaram a variar entre 0,16 e 0,42, sugerindo uma possível diminuição da biomassa vegetal ou degradação da cobertura florestal. Em contraste, no ano de 2024, verificou-se uma recuperação da área, com valores de NDVI oscilando entre 0,21 e 0,52. Tais resultados podem ser interpretados como indicativos de práticas antrópicas de desmatamento ou perturbação ambiental no período de 2011 a 2017. Contudo, a posterior recuperação observada entre 2017 e 2024 pode refletir a eficácia de manejos conservacionistas de reflorestamento ou a ocorrência de processos naturais de regeneração da vegetação nativa.

Figura 13. Análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no assentamento PA Caranã

NDVI PA Caranã

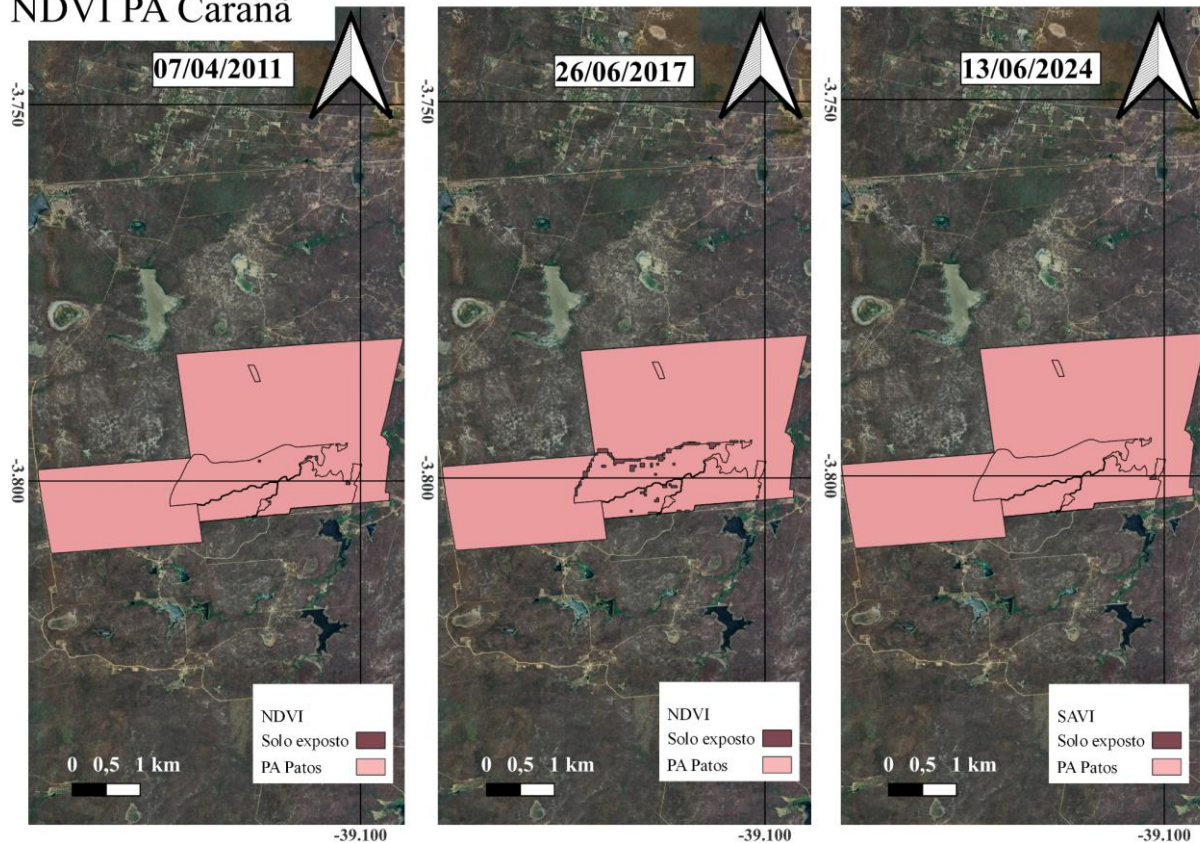


Fonte: Próprio autor

Na Figura 14, apresenta os pixels referentes como solo exposto utilizando a nova classificação imposta no NDVI para o assentamento PA Caranã, referente aos anos de 2011, 2017 e 2024. A área total da RL é de 203,75 ha. Em 2011 foi identificado uma área de 0,99 ha (0,49%) de solo exposto. Em 2017, essa área apresentou um aumento para 12,79 ha (6,28%). Contudo, no último ano analisado, o valor reduziu para 0,63 ha (0,31%).

Figura 14. Pontuações de solo exposto referente ao NDVI aplicado no assentamento PA Caranã

NDVI PA Caranã



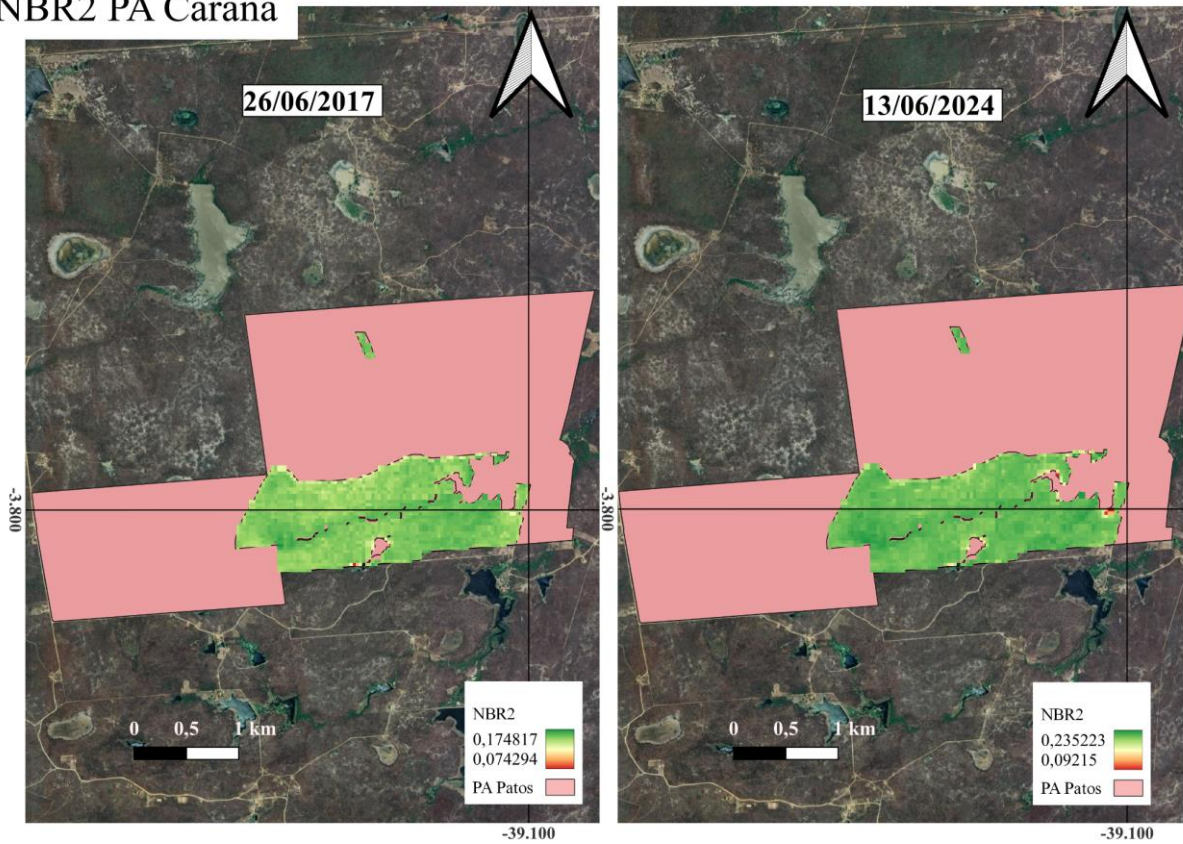
Fonte: Próprio autor

Quanto a aplicação do SAVI, que é uma variação do NDVI considerando o brilho do solo, todos os valores obtidos com esse índice ficaram fora do limite de 0 a 0,25, estabelecido como condição para ser considerado solo exposto. Diante disso, os resultados com SAVI foram desconsiderados para esta etapa da análise, por não atenderem aos critérios estabelecidos para a detecção de áreas desnudas.

Na figura 15, o ano de 2011 acabou por ser desconsiderado devido ao novo intervalo delimitado, seguindo os padrões de intervalo de 0 a 0,18 (Poppiel et al., 2019). no ano de 2017 os valores variam de 0,07 a 0,17, sugerindo assim uma área com pouca biomassa. o ano de 2024 os valores voltam subir, oscilando entre 0,09 e 0,23, indicando diminuição nas áreas perturbadas, ao entender pelo índice, áreas com solo menos sensível, com menor exposição do mesmo. A análise comparativa reforça o potencial do NBR2 para monitorar de forma eficaz a saúde ambiental em áreas de reforma agrária, especialmente em ecossistemas semiáridos como o do nordeste brasileiro, onde a vegetação responde rapidamente a mudanças climáticas e antrópicas (Gonzaga et al., 2022)

Figura 15. Análise temporal do índice razão de queimada 2 (NBR2) no assentamento PA Caranã

NBR2 PA Caranã



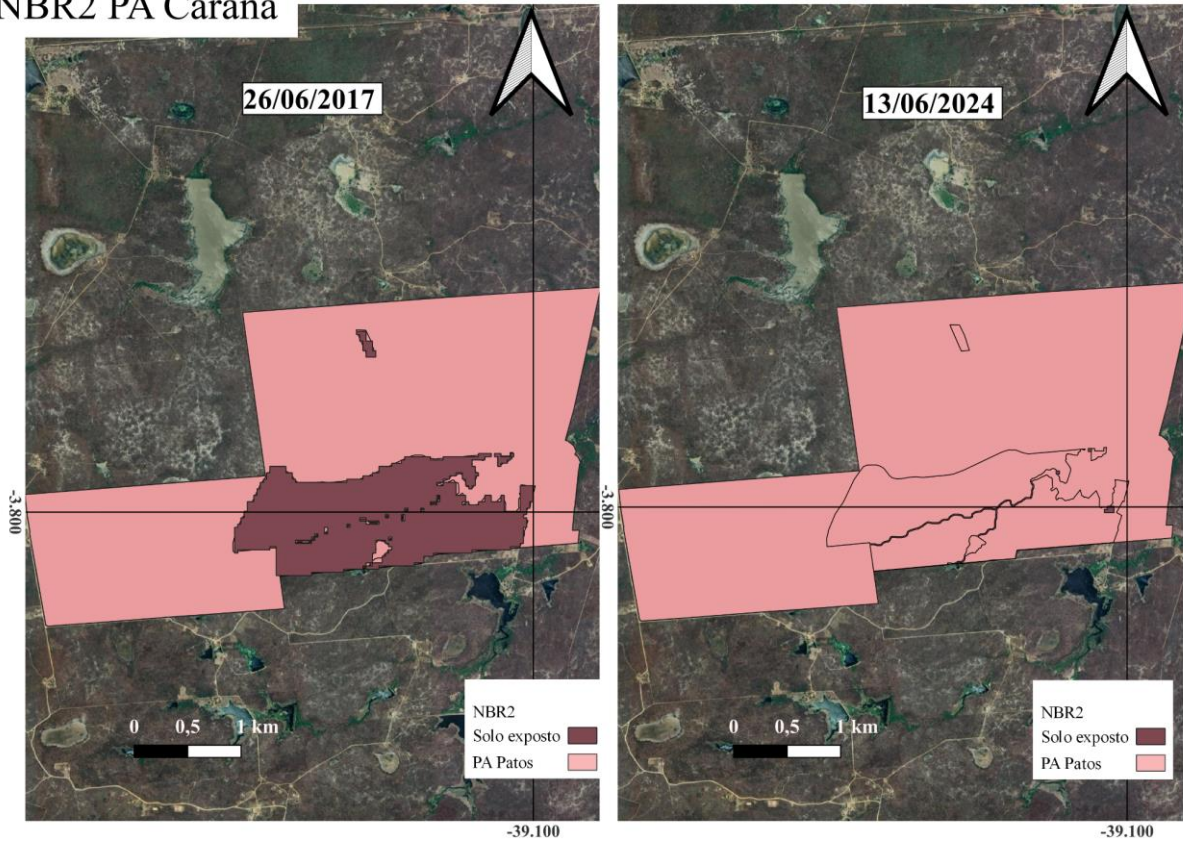
Fonte: Próprio autor

Na figura 16, apresenta os pixels referentes como solo exposto utilizando a nova classificação imposta no NBR2 para a RL do Assentamento PA Caranã. A imagem do ano de 2011 foi descartada da análise devido à ausência de pixels dentro do limite de 0 a 0,18, estabelecido como referência para identificação de solo exposto. Em 2017, o número de hectares para solos expostos ultrapassou a área total da RL, atingindo 204,19 ha (100,22%). Já no ano de 2024, essa área reduziu para 2,52 ha (1,24%).

Neste assentamento, a comparação entre os anos de 2011 e 2017 revela um aumento na exposição do solo. Esse fenômeno pode ser decorrente de fatores como a presença de grandes corpos hídricos na área protegida ou à baixa efetividade das práticas de manejo e conservação da RL pelos assentados. Essa instabilidade nos dados ressalta a vulnerabilidade do bioma Caatinga, onde sua degradação tem se intensificado ao longo dos anos (SILVA; JUVANHOL; MIRANDA, 2023).

Figura 16. Pontuações de solo exposto referente ao NBR2 aplicado no assentamento PA Caranã

NBR2 PA Caranã

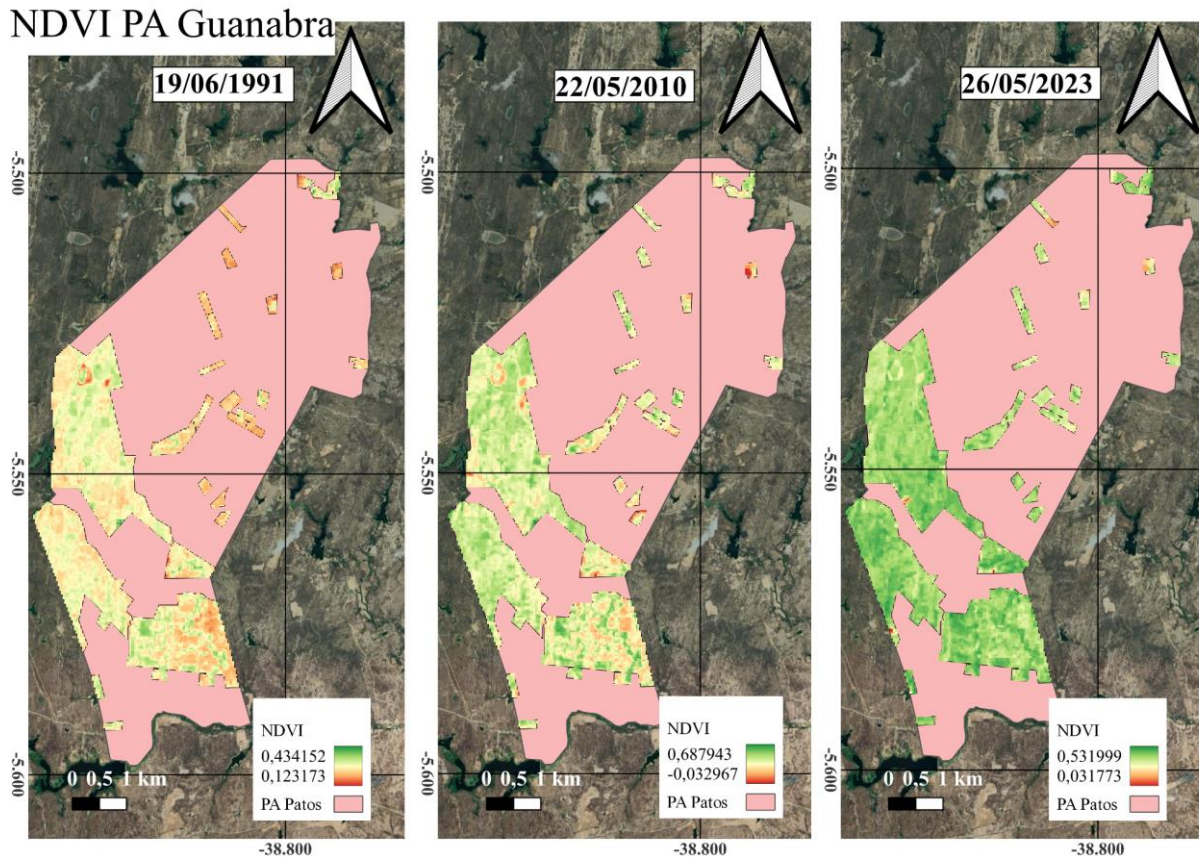


Fonte: Próprio autor

5.3 Assentamento PA Guanabara

A Figura 17 ilustra a variação temporal do NDVI no Projeto de Assentamento PA Guanabara. No ano de 1991, os valores do NDVI variaram entre 0,12 e 0,43, sugerindo a presença de vegetação esparsa em grande parte da área, especialmente ao sul da RL, onde se observa maior concentração de pixels com tonalidade avermelhada, indicando baixa densidade de biomassa. Em 2010, embora tenham sido identificados pixels com valores mínimos de até -0,03, os valores máximos aumentaram para 0,68, o que pode representar um incremento significativo na biomassa e, possivelmente, uma intensificação no uso da terra ou regeneração da vegetação. Já em 2023, os valores variaram entre 0,03 e 0,53. Apesar da redução do valor máximo em relação a 2010, observa-se maior predominância de tonalidades verdes, o que pode indicar uma homogeneização da cobertura vegetal e uma distribuição mais uniforme da biomassa no assentamento (Bilar; De Mendonça Pimentel, 2018)

Figura 17. Análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no assentamento PA Guanabara

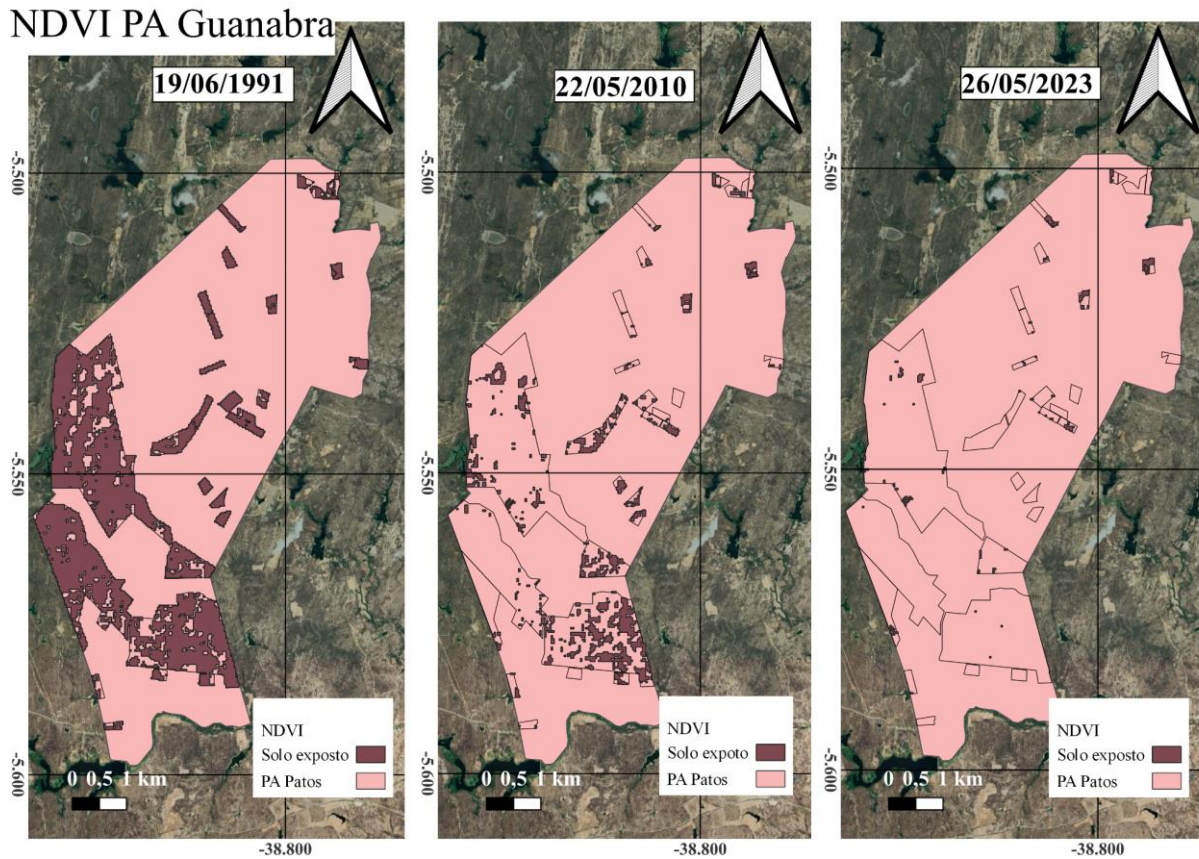


Fonte: Próprio autor

A Figura 18 apresenta os pixels referentes como solo exposto utilizando a nova classificação imposta no NDVI para o assentamento PA Guanabara nos anos de 1991, 2010 e 2023. A RL possui uma área de 1036 hectares, distribuída de forma ampla pelo território. No ano de 1991, observa-se uma grande área que possivelmente não apresenta vegetação, correspondendo a 836 ha (80,69%). Contudo, nos anos subsequentes, verifica-se uma redução para 175,45 ha (16,94%) em 2010 e 21,97 ha (2,12%) em 2023.

A redução entre o primeiro e o segundo ano analisado foi de 63,75%, evidenciando um processo relevante de recuperação ou preservação ambiental ao longo de 19 anos. Posteriormente, observou-se uma redução adicional de 14,82% em mais 13 anos, entre 2010 e 2023. Ao analisar a consolidação do assentamento ao longo do tempo, observa-se sua eficácia, possivelmente devido à implementação de um plano de manejo dentro e fora da área de preservação, trazendo benefícios socioambientais para a comunidade de assentados (Leonel; Silva, 2011).

Figura 18. Pontuações de solo exposto referente ao NDVI aplicado no assentamento PA Guanabara

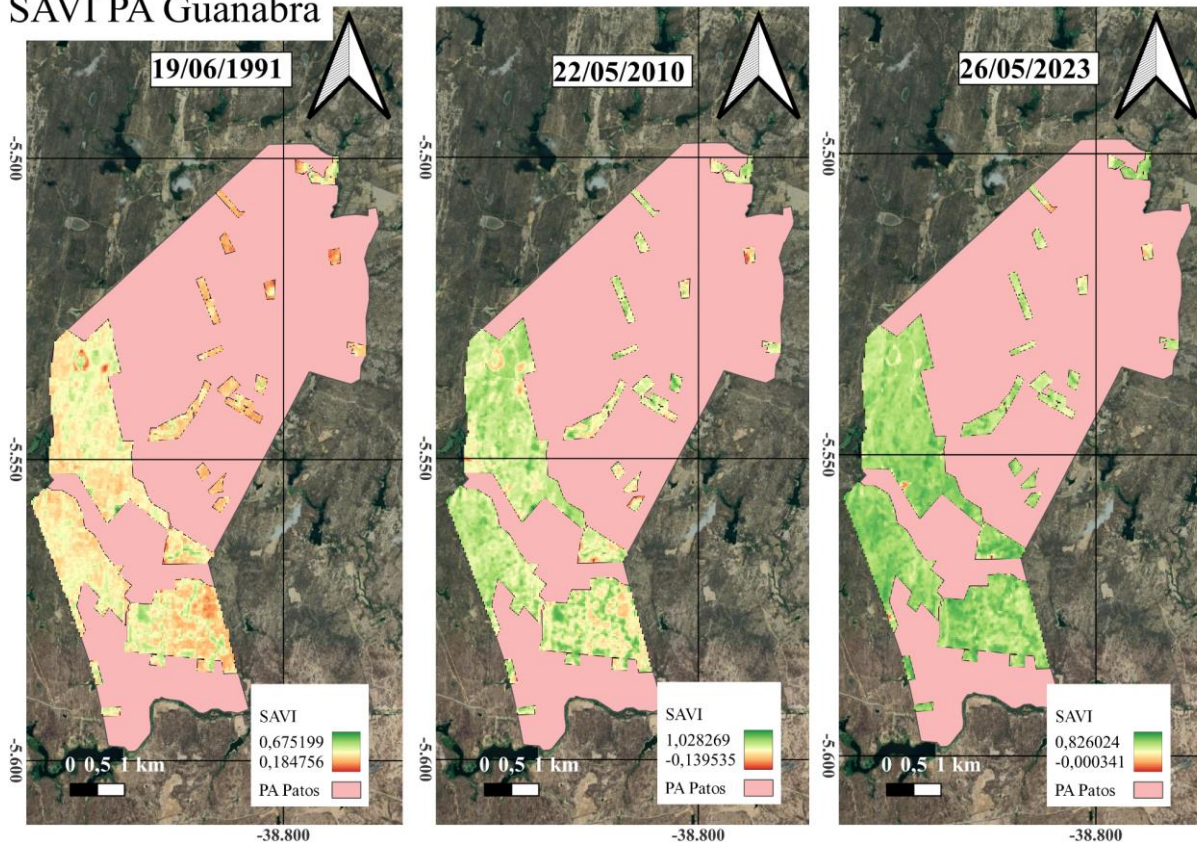


Fonte: Próprio autor

Na figura 19 apresenta o mesmo recorte de tempo anterior, porém aplicado ao SAVI. No ano de 1991 os valores de 0,18 e 0,67, indicando baixa população vegetal ou ecossistema espaçado, no ano de 2010 observou-se uma ampliação na variabilidade, de -0,13 a 1,0, indicando tanto pontos com baixa vegetação, possíveis corpos hídricos ou agravamento no desmatamento. no ano de 2023 os valores mínimos tiveram a tendência a subir para -0,00, e para o máximo de 0,82, visivelmente mostra-se mais homogêneo no mapa, com tons de verde bem distribuídos e mais adensados, indicando um possível manejo de recuperação do reflorestamento ou reentrada da mata natural da área.

Figura 19. Análise temporal do índice de vegetação ajustado pelo solo (SAVI) no assentamento PA Guanabara

SAVI PA Guanabara



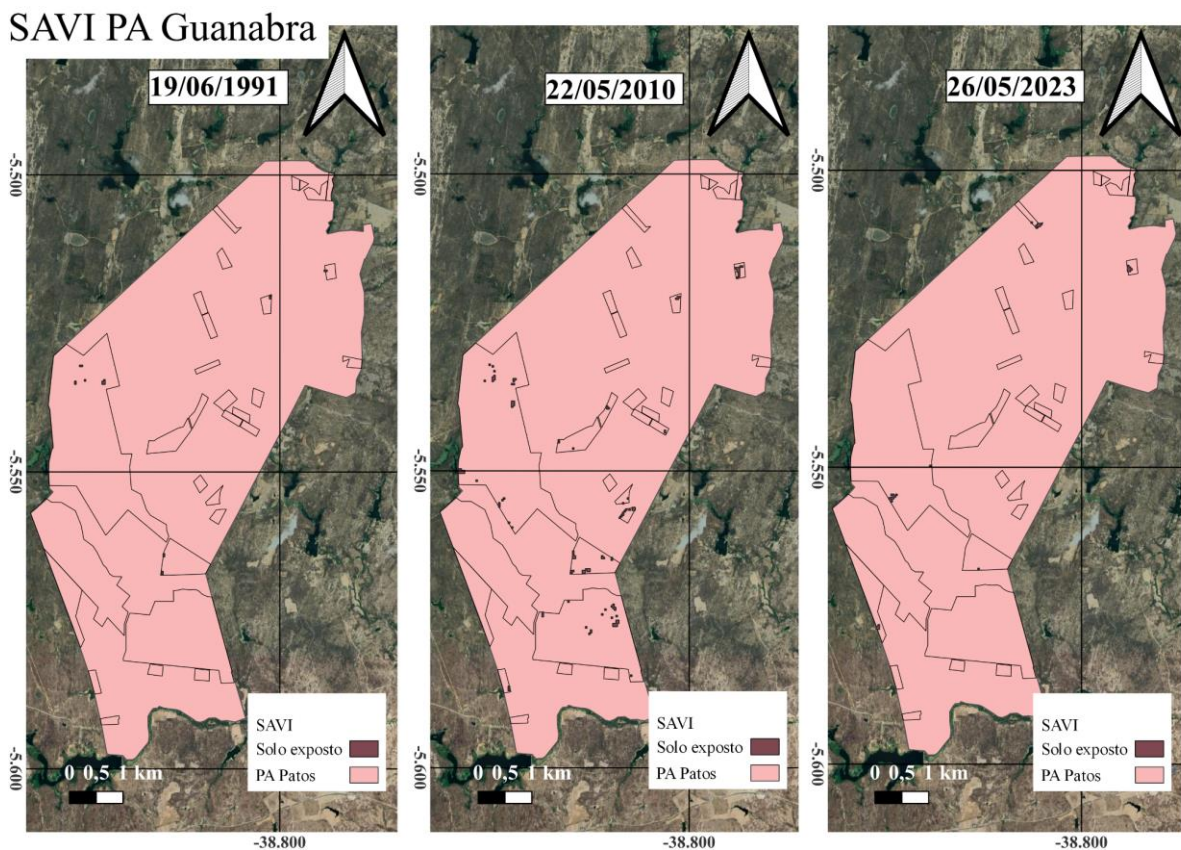
Fonte: Próprio autor

A figura 20 apresenta os pixels referentes como solo exposto utilizando o nova classificação imposta no SAVI para RL do Assentamento PA Guanabara. Em 1991, a área estimada de solo exposto foi de 1,62 ha (0,16%). No entanto, em 2010, observou-se um aumento do solo exposto, totalizando 12,06 ha (1,16%). Em 2023, observa-se uma redução para 2,97 ha (0,29%), indicando uma tendência na recuperação da cobertura vegetal na área analisada.

Ao analisar o comportamento das Figuras 19 (solo exposto no NDVI) e 21 (solo exposto no SAVI), ambas referentes ao recorte temporal do ano de 1991, observa-se uma discrepância significativa entre os dois índices. O NDVI apresenta grande parte da área da RL classificada como solo exposto, enquanto o SAVI indica apenas uma pequena porção com essa característica. Tal diferença pode ser atribuída à influência da refletância do solo nos resultados, uma vez que diferentes índices respondem de forma distinta à presença de vegetação esparsa. Conforme destacado por Ilha e Pagotto (2017), o índice SAVI proporciona uma discriminação mais eficiente da cobertura vegetal em áreas semiáridas, como o bioma Caatinga, mesmo que, em determinadas situações, os resultados obtidos por diferentes índices possam ser semelhantes.

Essa variação nos resultados pode ser atribuída à influência da refletância do solo, fator especialmente relevante em ambientes com baixa densidade de cobertura vegetal, como é característico do bioma Caatinga (Rondeaux; Steven; Baret, 1996). Nessas condições, índices espectrais como o NDVI podem superestimar ou subestimar a densidade de biomassa, uma vez que a interferência espectral do solo tende a distorcer os valores do índice. Essa limitação é intensificada pela heterogeneidade edáfica presente na Caatinga, onde diferentes tipos de solos contribuem para alterações na resposta espectral da vegetação. Nesse contexto, destaca-se a importância da aplicação de fatores de correção, como os incorporados ao índice SAVI, que atenuam a influência do solo e possibilitam uma estimativa mais precisa da vegetação (Chaves et al., 2013).

Figura 20. Pontuações de solo exposto referente ao SAVI aplicado no assentamento PA Guanabara



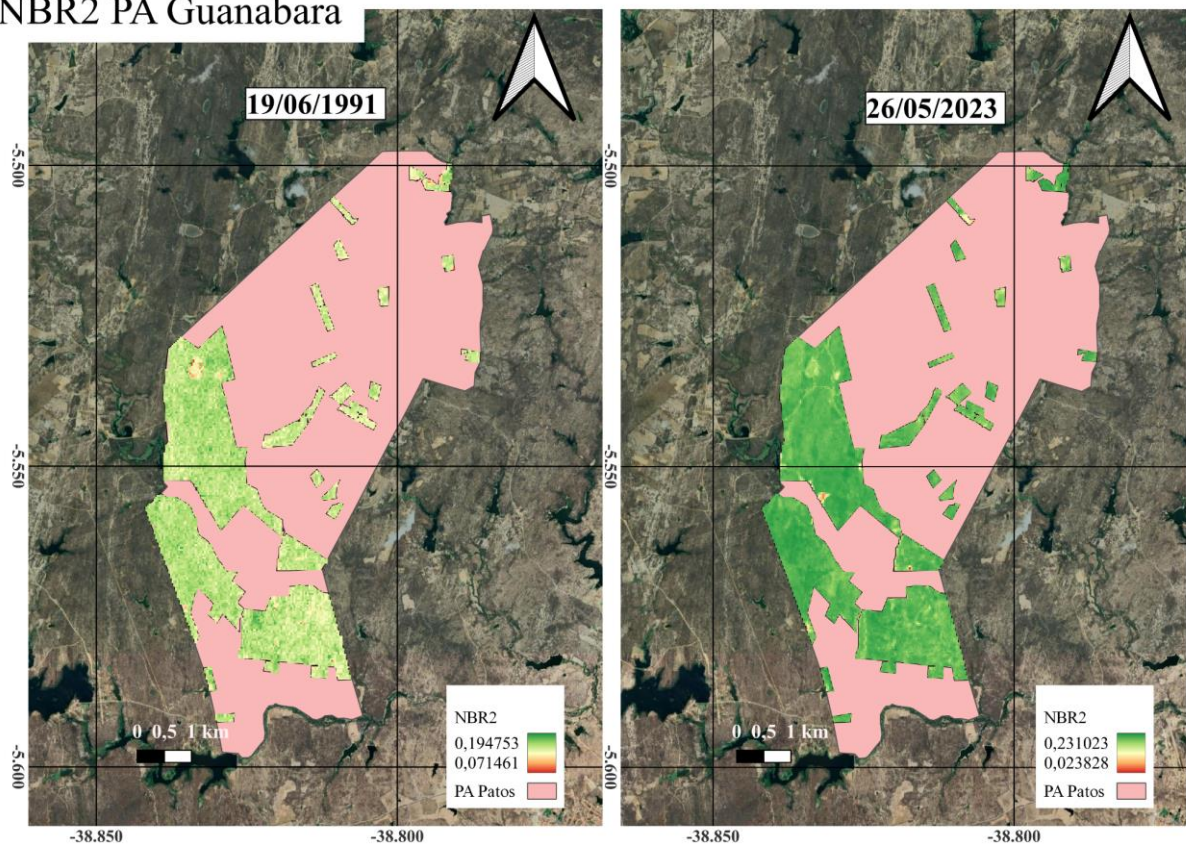
Fonte: Próprio auto

A Figura 21 apresenta a análise temporal do índice NBR2 no Projeto de Assentamento (PA) Guanabara. Devido à redefinição dos limites territoriais com base na proposta de Poppiel et al. (2019), os dados referentes ao ano de 2010 foram desconsiderados nesta análise. Em 1991, os valores do índice variaram entre 0,071 e 0,194, sugerindo uma baixa

densidade de biomassa na área analisada. Em contraste, no ano de 2023, os valores oscilaram entre 0,023 e 0,231, indicando um incremento expressivo na cobertura vegetal, especialmente na área da RL. Essa elevação nos valores do NBR2 pode estar associada à regeneração natural da vegetação ou à adoção de práticas de manejo conservacionistas ao longo do período (Key; Benson, 2006)

Figura 21. Análise temporal do índice razão de queimada 2 (NBR2) no assentamento PA Guanabara

NBR2 PA Guanabara

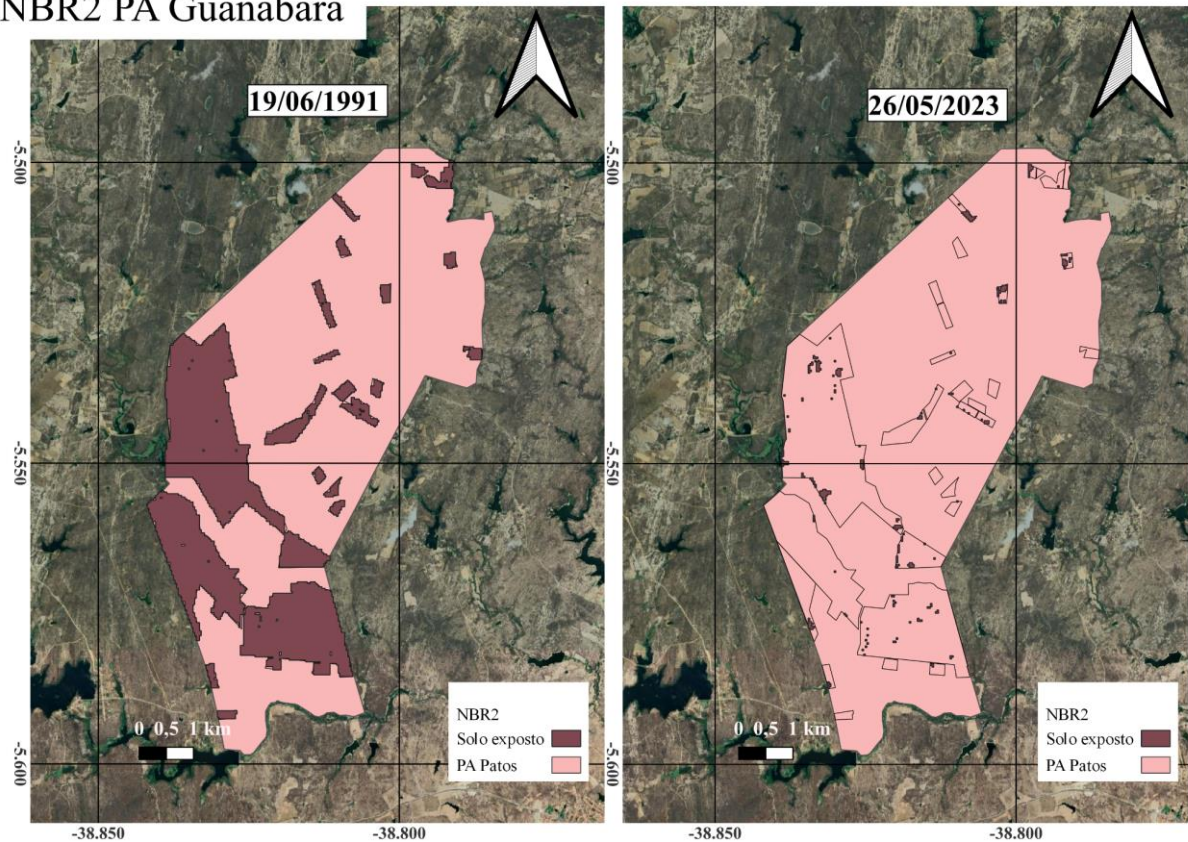


Fonte: Próprio autor

Na figura 22 apresenta os pixels referentes como solo exposto utilizando a nova classificação imposta no NBR2, a imagem referente ao ano de 2010 foi descartada por não apresentar pixels dentro dos limites mínimos estabelecidos. No entanto, no ano de 1991, observou-se uma área de aproximadamente 1.032 ha (99,61%), abrangendo praticamente toda a extensão da RL. Já no ano 2023, essa área foi reduzida para 30,26 ha (2,92%).

Figura 22. Pontuações de solo exposto referente ao NBR2 aplicado no assentamento PA Guanabara

NBR2 PA Guanabara



Fonte: Próprio autor

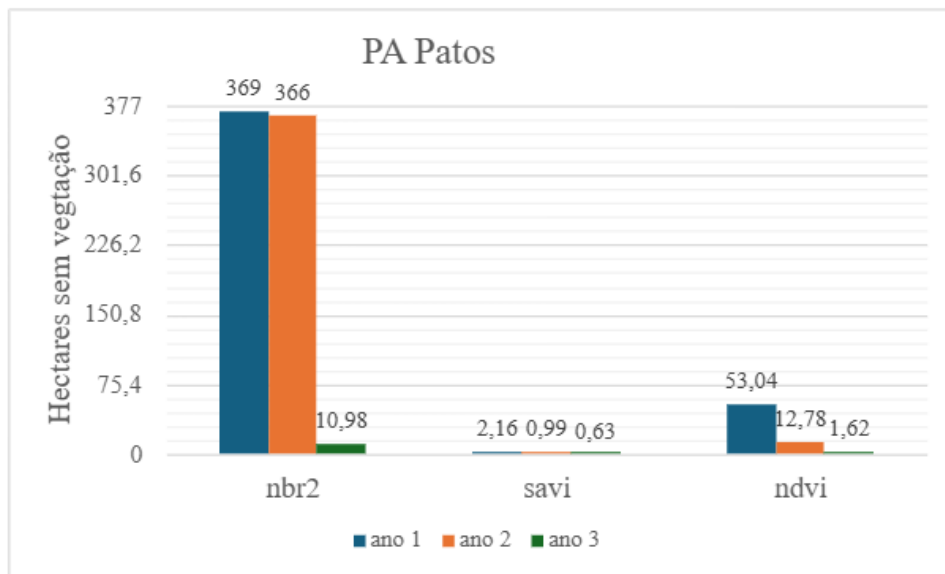
5.4 Comparação comportamental dos índices NDVI, SAVI e NBR2 dentro das Reservas Legais

Os resultados obtidos a partir das imagens dos assentamentos para os índices NDVI e SAVI apresentaram comportamentos semelhantes, como ilustrado nas figuras 16 e 17. Essa similaridade era esperada, uma vez que o SAVI consiste em uma modificação do NDVI, ajustando os valores ao considerar a influência do brilho do solo (USGS.,2024).

A Figura 23 apresenta a variação das áreas sem cobertura vegetal no Projeto de Assentamento PA Patos. Observa-se que, independentemente do índice utilizado, o primeiro ano apresenta os maiores valores de áreas com solo exposto, indicando baixa densidade de biomassa. O NBR2 registrou os maiores valores absolutos, com aproximadamente 369 hectares no ano 1, seguido de 366 no ano 2, e uma acentuada redução para 10,98 hectares no ano 3, evidenciando sua sensibilidade a áreas degradadas e cicatrizes de distúrbios (Key; Benson,

2006). O NDVI e o SAVI também demonstraram uma tendência semelhante de decréscimo, no qual o segundo índice devido a correção do solo demonstrou menores valores totais, assim demonstrando sua eficácia na vegetação caatinga como cita Chaves *et al* (2013)

Figura 23. Área sem vegetação nativa (em hectares) identificada por meio dos índices NBR2, SAVI e NDVI para os anos de 1991 (ano 1), 2007 (ano 2) e 2024 (ano 3) no assentamento PA Patos



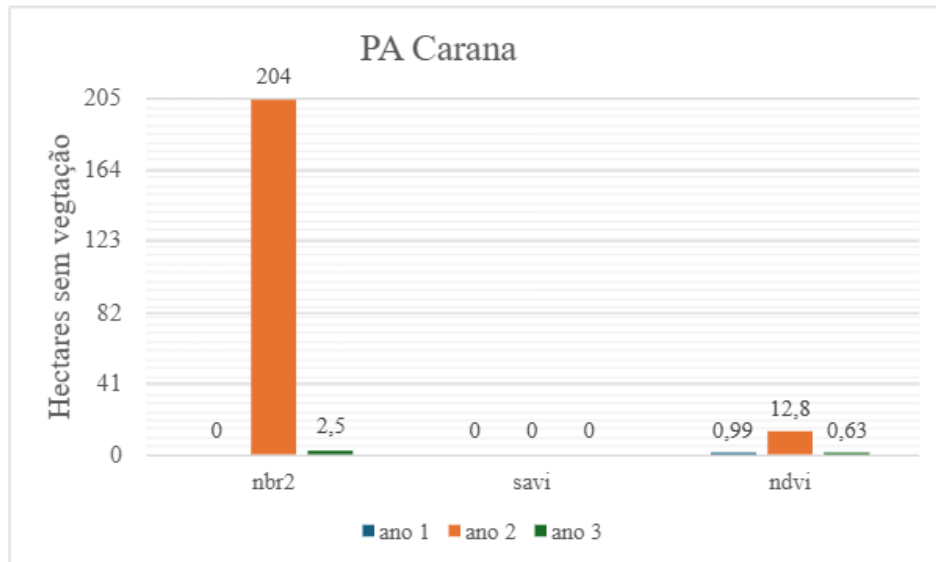
Fonte: Próprio autor

A Figura 24 apresenta a estimativa da área sem cobertura vegetal no assentamento PA Caranã, seguindo o mesmo padrão observado na figura anterior. Observa-se que o índice NBR2 registrou um pico expressivo de áreas descobertas no segundo ano analisado, totalizando 204 hectares, seguido por uma redução acentuada para 2,5 hectares no ano seguinte. Essa variação evidencia a elevada sensibilidade do índice NBR2 na detecção de distúrbios e cicatrizes na cobertura vegetal, mostrando-se eficaz na identificação de impactos ambientais recentes (Key; Benson, 2006; Resende *et al.*, 2015).

Para índice SAVI, os valores impostos como novo limite para solo exposto não foram suficientes, não registrou áreas sem cobertura em nenhum dos períodos avaliados, o que pode estar relacionado à sua maior estabilidade em ambientes semiáridos, ao considerar a influência da reflectância do solo (Chaves *et al.*, 2013; Rondeaux; Steven; Baret, 1996).

O índice NDVI indicou valores mais baixos e com variação gradual, com uma redução da área sem vegetação de 12,8 hectares no segundo ano para 0,63 hectare no terceiro, sugerindo um possível processo de regeneração da cobertura vegetal (Silva *et al.*, 2019).

Figura 24. Área sem vegetação nativa (em hectares) identificada por meio dos índices NBR2, SAVI e NDVI para os anos de 2011 (ano 1), 2017 (ano 2) e 2024 (ano 3) no assentamento PA Caraná



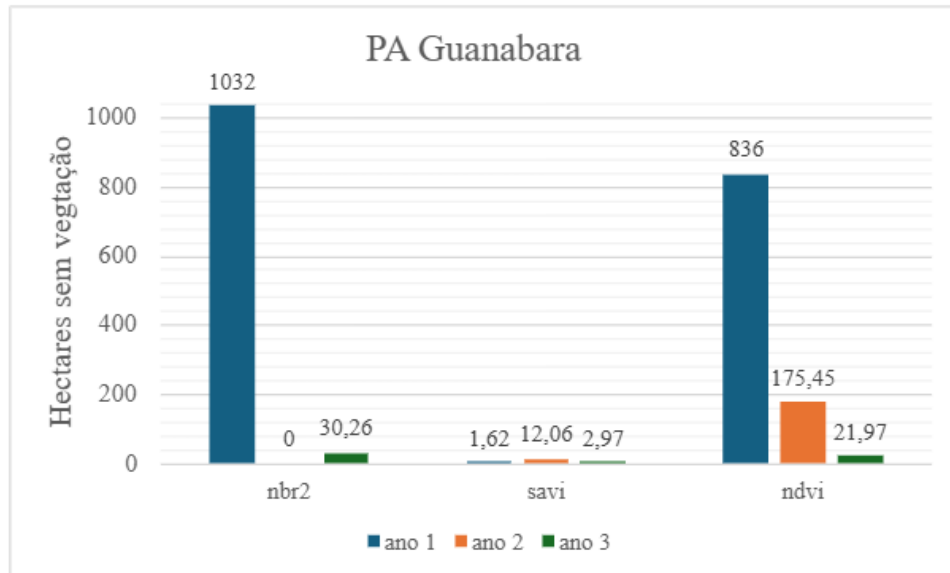
Fonte: Próprio autor

O aumento de pixels associados a vegetação ao decorrer dos anos analisados se deve à maior presença de biomassa foliar viva, favorecida pela maior umidade tanto nas plantas quanto possível aumento de umidade da região, o que reduz os valores dos índices espectrais associados ao solo exposto (Bandeira; Da Cruz, 2021)

No entanto, os dados podem apresentar conflitos, como observado na Figura 25, referente ao assentamento PA Guanabara no ano de 1991. Nesse caso, os resultados podem ter sido influenciados pelo espaçamento natural da vegetação arbórea característica do bioma Caatinga (Maia, 2019).

Assim, dependendo do ciclo de chuvas do ano em questão, um possível início de estiagem no período da imagem pode ter contribuído para uma vegetação mais espaçada e maior exposição do solo. Esse fator influenciou uma maior reflexão da radiação, o que, em conjunto com os demais aspectos, pode ter impactado os valores obtidos pelo NDVI. Com a aplicação do SAVI, que incorpora o fator de correção para o brilho do solo, os resultados sofreram alterações (Huete, 1988)

Figura 25. Área sem vegetação nativa (em hectares) identificada por meio dos índices NBR2, SAVI e NDVI para os anos de 1991 (ano 1), 2010 (ano 2) e 2023 (ano 3) no assentamento PA Guanabara



Fonte: Próprio autor

Embora o NDVI seja amplamente difundido no meio científico, a utilização do SAVI em áreas de Caatinga tem se mostrado mais eficaz para a realidade da região, dada a influência do fator solo na resposta espectral da vegetação da região. Nesse contexto, Azevedo e Alves (2015) identificaram, em estudo no alto curso do Rio Paraíba, a relação entre o clima com o desenvolvimento da cobertura vegetal.

Ribeiro, Silva e Silva (2016) reforçam que na escolha do índice deve-se considerar o período analisado, para fornecer resultados mais precisos. O NDVI é mais indicado para períodos chuvosos, devido à maior interação com o volume de massa foliar, enquanto o SAVI é mais adequado para períodos de estiagem, quando há uma maior exposição do solo.

De acordo com a NBR 2, a utilização das bandas SWIR 1 (banda 5 no Landsat 5 e banda 6 no Landsat 8) e SWIR 2 (banda 7 em ambos os satélites), pertencentes ao infravermelho médio, pode ter reagido ao possível solo parcialmente exposto (Pereira et al., 2016), em função do espaçamento característico que ocorre na região da Caatinga. Esse comportamento espectral reflete as condições do bioma e contribui para o cenário observado.

A adoção do limite de 0 e 0,18 para o NBR2 (Poppiel et al., 2019), com o mascaramento dos pixels fora dessa faixa, permite reduzir a interferência de fatores como áreas de queimadas, solos úmidos e vegetação densa. No entanto, é importante destacar que a

adaptação da vegetação influencia diretamente o período mais adequado para a aplicação do índice.

Azevedo e Alves (2015) reforçam o uso de índices no monitoramento de Reservas Legais (RLs), porém destacam que a detecção das espécies presentes não é possível por meio somente desses índices. Assim, umas das maneiras de identificações e o reconhecimento de forma mais assertiva da vegetação existente, é através da visita em campo.

5.4.1 Influência do ecossistema no resultado dos índices

Segundo Drummond (2016), o bioma Caatinga pode ser classificado em alguns domínios, sendo um deles a Caatinga hiperxerófila, caracterizada por uma predominância de vegetação composta por plantas de baixo e médio porte, classificadas como caducifólias, ou seja, que perdem suas folhas durante o período de estiagem, além de serem uma flora mais espaçada mesmo em período chuvoso. Essa vegetação ocorre geralmente em solos relativamente rasos. Dessa forma, essa característica pode ter contribuído para os baixos valores observados no índice NBR2 e para os resultados contraditórios obtidos com o SAVI.

Essa influência está diretamente ligada ao clima semiárido presente no bioma, além dos fatores sazonais relacionados à estação do ano. Ribeiro, Oliveira e Anjos (2019) relatam que as diferentes estações do ano geram distintas respostas espectrais nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho, principalmente devido à distribuição das chuvas no Ceará, que ocorre de forma mais intensa no verão.

Com a redução do conteúdo hídrico do solo, devido as melhores imagens se encontrarem possivelmente ao final da quadra chuvosa, corre uma diminuição do potencial hídrico das folhas, resultando na perda de turgidez da estrutura celular e comprometendo o funcionamento dos estômatos e de outros componentes foliares. Esse processo, associado ao aumento do déficit hídrico, induz a abscisão foliar (Tatagiba; Pezzopane; Dos Reis, 2007), o que impacta diretamente os valores dos índices espectrais utilizados no monitoramento da vegetação.

Outro fator ambiental que possivelmente influenciou o resultado é o tipo de solo presente nos assentamentos, uma vez que cada solo possui características específicas em sua composição, que reagem de maneira distinta à reflectância (Nanni; Demattê.,2006). Além disso, a topografia do terreno também pode influenciar na resposta espectral, assim como a incidência

da luminosidade sobre a região. A presença de outros elementos, como afloramentos rochosos, igualmente pode contribuir para alterações nos valores dos índices (Xue; Su.,2017).

Por fim, o desenvolvimento desses assentamentos em regiões semiáridas, como o Ceará, promove o fortalecimento das famílias e a construção de um espaço socioambiental mais sustentável. Isso ocorre por meio de práticas de manejo, planejamento e estratégias adaptadas às condições específicas do semiárido, contribuindo para a conservação dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida das comunidades locais (Leonel; Silva., 2011).

6 CONCLUSÃO

Com as técnicas de sensoriamento remoto utilizadas no presente trabalho foi possível atingir os objetivos, relatando as mudanças ocorridas nos recursos naturais dentro das Reservas Legais em diferentes anos, nos assentamentos escolhidos.

A aplicação dos índices espectrais NDVI, SAVI e NBR2 possibilitou a análise multitemporal da dinâmica da vegetação nas Reservas Legais (RLs) dos assentamentos estudados. O PA Patos apresentou uma tendência contínua de incremento na biomassa ao longo dos anos, especialmente nos períodos mais recentes avaliados. No assentamento Caranã, observou-se uma perda significativa de cobertura vegetal em determinado período, seguida por sinais de regeneração no ano mais recente, indicando um possível processo de recuperação ecológica. Por outro lado, no PA Guanabara, os padrões de resposta dos índices foram heterogêneos entre si, contudo, no último ano analisado, verificou-se uma retomada da cobertura vegetal.

Contudo, o uso somente dos índices utilizados se mostram ineficientes para o monitoramento da permanência da vegetação nativa, uma vez que esses índices não permitem a identificação das espécies vegetais presentes, apenas indicam sua existência ou ausência.

Para melhorar os resultados obtidos no índice SAVI, que possui uma constante ajustável conforme as características do solo, é possível estudar o fator de correção de luminosidade do solo (L) mais adequado para cada área, a fim de se obter maior acurácia nas cenas geradas, considerando que o solo cearense apresenta grande diversidade.

Além disso, para futuros estudos, recomenda-se a expansão da área analisada, incluindo as Áreas de Preservação Permanente (APPs), as quais também sofrem transformações ao longo dos anos e com as mudanças das estações, alinhado com as condições climáticas da data específica.

A ferramenta de sensoriamento remoto torna-se cada vez mais indispensável, visto que é uma grande aliada no monitoramento das áreas, permitindo a geração de dados preliminares sobre as regiões a serem analisadas. No entanto, esses dados não são 100% conclusivos, pois devem ser interpretados e validados. Dessa forma, é recomendado realizar visitas de campo nas regiões que apresentarem indícios de possível desmatamento, a fim de comprovar os resultados previamente apontados pelos índices. Além disso, é fundamental selecionar a época mais adequada para a aplicação desses índices, considerando as características climáticas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Jose Jakson.** Geoecologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro. *CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem*, v. 2, n. 1, 2007.
- ANTUNES, Alzir Felipe Buffara.** Fundamentos de sensoriamento remoto em ambiente de geoprocessamento. Apostila. CIEG. UFPR, 2001.
- BANDEIRA, Túlio Viana; DA CRUZ, Maria Lúcia Brito.** Estudo da cobertura vegetal do município de Guaiuba/CE com base na utilização dos índices de vegetação SAVI e NDVI. *Geosul*, v. 36, n. 78, p. 410-433, 2021.
- BAYMA, Adriana Panhol; SANO, Edson Eyji.** Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 21, n. 4, p. 797-813, 2015.
- BECKER, Thainá Sanches et al.** Efeito da implantação e dinâmica do uso do solo sobre parâmetros biofísicos da superfície no assentamento rural Roseli Nunes em Mato Grosso. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 48, p. 153-166, 2020.
- BERGAMASCO, Sonia Maria Pessoa Pereira.** A realidade dos assentamentos rurais por detrás dos números. *Estudos Avançados*, v. 11, p. 37-49, 1997.
- BEZERRA, Ulisses Alencar.** Índices espectrais utilizando os sensores OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2, na bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
- BILAR, Alexsandro Bezerra Correia; DE MENDONÇA PIMENTEL, Rejane Magalhães; CERQUEIRA, Michelle Adelino.** Monitoramento da cobertura vegetal através de índices biofísicos e gestão de áreas protegidas. *Geosul*, v. 33, n. 68, p. 236-259, 2018.
- BINKOWSKI, Patrícia.** Análise de conflitos e relações de poder em espaços rurais (DERAD600). *PLAGEDER*, 2018.

BRITANNICA, T. Editors of Encyclopaedia. Electromagnetic spectrum. *Encyclopedia Britannica*, 2024. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-spectrum>. Acesso em: 24 set. 2024.

CAETANO, Robert et al. Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 8, n. 2, p. 28-43, 2022.

CAMPOS, Ronilson Marques et al. A efetividade dos sistemas de monitoramento e de avaliação das ações de assistência técnica e extensão rural implementadas pelo INCRA no Estado do Paraná. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CAMPOS, Samuel Alex Coelho et al. Degradação ambiental agropecuária no bioma Caatinga. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 46, n. 3, p. 155-170, 2015.

CAVALCANTE, M. B. et al. Caracterização fitogeográfica em unidade de conservação como subsídio à proteção de espécies da Caatinga. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 4, p. 222–234, 2018. DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0ID16104.

CHAVES, I. et al. Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da Caatinga da bacia do rio Taperoá-PB. 2013. 53 f. Monografia (Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/45520851.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2025.

COPERNICUS. Sentinel-2 Mission. Disponível em: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission>. Acesso em: 9 dez. 2024.

COUTINHO, M. J. F. et al. A pecuária como atividade estabilizadora no semiárido brasileiro. *Veterinária e Zootecnia*, v. 20, n. 3, p. 434–441, 2022. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/1033>. Acesso em: 21 ago. 2024.

CUNHA, T. J. F. et al. Principais solos do Semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). *Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação*. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 50-87.

DE ARAÚJO RIBEIRO, Gabrielle; DE CASTRO SILVA, João Nailson; DA SILVA, Janaína Barbosa. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS): estado da arte e suas potencialidades. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 6, p. 2054–2074, 2016.

DE AZEVEDO, Pedro Vieira; ALVES, Telma Lucia Bezerra. Análise da variação espacial e temporal do índice de vegetação e sua relação com parâmetros climáticos na bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba, estado da Paraíba, Brasil. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 35, n. 3, p. 530–553, 2015.

DE BRITO CHAVES, Iêde et al. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 1, p. 183–195, 2015.

DE FREITAS SOUSA, Maria Iderlania; BARBOSA, Josafá Justino; COSTA, Celme Torres Ferreira. Uma reflexão sobre mudanças climáticas, saúde e meio ambiente no semiárido nordestino. *Saúde e Meio Ambiente: Revista Interdisciplinar*, v. 4, n. 2, p. 61–77, 2015.

DE MEDEIROS, Raimundo Mainar; CAVALCANTI, Enilson Palmeira; DE MEDEIROS DUARTE, Jaqueline Fernandes. Classificação climática de Köppen para o estado do Piauí – Brasil. *Revista Equador*, v. 9, n. 3, p. 82–99, 2020.

DE MORAES, Elisabete Caria. Capítulo 1 – Fundamentos de sensoriamento remoto. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, São José dos Campos, 2002.

DE MORAES NOVO, Evlyn M. L. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: *Editora Blucher*, 2010.

DE OLIVEIRA, Cícero Diogo Lins; DA SILVA, Ana Paula Alves; DE MOURA, Patrick Anderson Gomes. Distribuição e importância das Unidades de Conservação no Domínio Caatinga. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 42, n. 1, 2019.

DE SOUZA FILHO, Carlos Frederico Marés. Cadastro Ambiental Rural (CAR) e povos tradicionais. *Revista da Faculdade de Direito da UFG*, v. 39, n. 1, p. 77–91, 2015.

DEMARTELAERE, A. C. F. et al. Revisão bibliográfica: impactos em áreas nativas da caatinga causadas pelas atividades econômicas e as técnicas de reflorestamento. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 4, p. 25285–25306, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n4-176.

DINIZ, Aldiva Sales. Assentamentos de reforma agrária no Ceará: espaços de resistência do campesinato. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)*, v. 25, n. 2, p. 115–144, 2023.

DOS REIS, A. P. L. et al. Levantamento florístico das espécies nativas da caatinga do estado do Ceará. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 4, n. 3, p. 3060–3078, 2021. DOI: 10.34188/bjaerv4n3-023.

DRUMOND, Marcos Antonio et al. Caracterização ambiental do Semiárido Brasileiro. In: RYBKA, Ana Cecília Poloni et al. *Umbuzeiro: avanços e perspectivas*. 1ª ed. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2016. p. 18–49.

FARIAS, Juliana Felipe; DA ROCHA BORGES, Felipe; DA SILVA, Edson Vicente. Educação ambiental contextualizada no semiárido cearense: subsídios à gestão e preservação dos recursos hídricos. *GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais*, v. 3, n. 5, p. 30–36, 2012.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e Flora da Caatinga. *Ciência e Cultura*, v. 70, n. 4, São Paulo, out./dez. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400014>.

FIGUEREDO, Cléria et al. A política de assentamento rurais executada pelo INCRA: os gargalos na implantação e acompanhamento dos projetos de assentamento. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Iniciação em sensoriamento remoto. São Paulo: *Oficina de Textos*, 2007.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). Índices de aridez do Estado do Ceará. Fortaleza: FUNCEME, [s.d.]. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=5826. Acesso em: 24 jun. 2025.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – SIMIC. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2744. Acessado em: 10 set. 2023.

GOMES, Fabíola Maria et al. A educação ambiental na Caatinga: uma questão de consciência ecológica e cidadania. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 127–144, 2017.

GONÇALVES, Ítalo André Silva; DE OLIVEIRA, Helaine Selma Nogueira; DE MEDEIROS, Marcílio Cândido. Relevância da vegetação nativa da Caatinga para a conservação dos recursos naturais no semiárido nordestino. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 1, p. 100–106, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico da vegetação brasileira. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Monitoramento da cobertura florestal da Caatinga. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/prodes-caatinga>. Acesso em: 23 abr. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Terrabrazilis – Prodes Caatinga. Disponível em: <https://terrabrazilis.dpi.inpe.br/>prodes-caatinga>. Acesso em: 30 maio 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TerraClass – Mapeamento do uso e cobertura da terra. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br>. Acesso em: 23 jun. 2024.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). Povos indígenas no Brasil: 2011–2016. São Paulo: ISA, 2017. Disponível em: <https://pib.socioambiental.org/pt>. Acesso em: 18 jul. 2024.

JESUS, Marcelo da Silva et al. Análise multitemporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da cobertura vegetal no município de São João do Cariri–PB. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 6, p. 2579–2596, 2021.

JUCÁ, Felipe et al. Aplicação de geotecnologias para mapeamento e avaliação do uso e cobertura da terra em bacia hidrográfica no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 8, p. 529–535, 2020.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 147–155, 2005.

LEAL, Inara Ramos et al. Ecologia e conservação da Caatinga. In: MACHADO, Ingrid Coelho et al. (org.). *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2003. p. 3–28.

LEAL, Inara Ramos et al. Diversidade da flora da Caatinga. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (org.). *Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. Brasília: MMA/SBF, 2004. p. 103–121.

LIMA, José Arimatéia; SANTOS, Hugo Guimarães. Zoneamento ecológico-econômico do semiárido brasileiro: uma proposta para o desenvolvimento sustentável. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 38, n. 1, p. 7–23, 2007.

LIMA, Maria José et al. Percepções sobre clima e vulnerabilidade: uma experiência de pesquisa participativa com agricultores familiares no semiárido cearense. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 9, n. 1, p. 113–124, 2014.

LIMA, Ronilson Oliveira. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Mundaú-AL. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

LOPES, Fernando A.; FREIRE, Silvana J. A importância da vegetação da Caatinga para a sustentabilidade no semiárido brasileiro. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 13, n. 3, p. 451–457, 2018.

MACHADO, Ingrid Coelho et al. (org.). *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

MACHADO, José Roberto et al. Conflitos fundiários e ambientais em projetos de assentamento rural no Brasil: desafios para a reforma agrária e a sustentabilidade. *Revista NERA*, v. 20, n. 42, p. 6–30, 2017.

MAMEDE, Maria Clotilde. A vegetação da Caatinga: diversidade e potencialidades. In: RYBKA, Ana Cecília Poloni et al. (org.). *Umbuzeiro: avanços e perspectivas*. 1. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. p. 50–66.

MAPBIOMAS. Coleção 7 da série anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil. [S.l.]: MapBiomas, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 30 jun. 2024.

MARTINS, Vinícius Silva. Análise da cobertura e uso da terra em áreas de Caatinga do semiárido baiano utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 70, n. 4, p. 789–804, 2018.

MENDONÇA, Francisco Augusto Fonteles de et al. O papel dos índices espectrais no monitoramento da vegetação da Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 2, p. 422–435, 2019.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Medeiros et al. Aplicações de sensores remotos no estudo da vegetação da Caatinga. In: SILVA, J. M. C. da et al. (org.). *Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. Brasília: MMA/SBF, 2004. p. 157–174.

MOURA, Everton de Oliveira; ARAÚJO, Gildemberg Rocha de. Avaliação do uso e cobertura da terra com base em imagens Landsat-8 na região semiárida do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 3, p. 838–853, 2018.

MOURA, Germano de Souza. Impactos das mudanças do uso e cobertura da terra na Caatinga: um estudo de caso no estado do Piauí. *Revista Ciência Geográfica*, v. 29, n. 1, p. 45–60, 2020.

OLIVEIRA, Ana Paula Silva de; ALMEIDA, Roberta dos Santos. Geotecnologias aplicadas ao mapeamento do uso e cobertura da terra no município de Canindé-CE. *Revista Geoaraguaia*, v. 10, n. 1, p. 55–66, 2020.

OLIVEIRA, Carlos Eduardo da Silva. Dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia do rio Pajeú (PE): subsídios à gestão territorial. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

OLIVEIRA, Robson da Silva; SOUSA, Higor Ferreira de. Uso de geotecnologias no mapeamento da cobertura vegetal da Caatinga: um estudo no município de Curaçá–BA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 6, p. 2473–2491, 2022.

PEREIRA, Amanda Lima et al. O papel das unidades de conservação na proteção da Caatinga. *Revista Árvore*, v. 43, n. 1, p. e430105, 2019.

PEREIRA, Cláudia Rodrigues et al. Caracterização do uso e cobertura da terra no semiárido: uma abordagem multitemporal. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 5, p. 1403–1418, 2017.

SANTOS, André Luiz dos et al. Monitoramento da cobertura vegetal do bioma Caatinga utilizando imagens de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 21, n. 11, p. 760–765, 2017.

SANTOS, Tânia Maria dos et al. Análise do uso da terra e cobertura vegetal em áreas de preservação permanente na bacia do rio Salgado (CE). *Revista Agro@ambiente*, v. 13, n. 2, p. 168–177, 2019.

SILVA, Jailson Oliveira da et al. Estudo multitemporal da vegetação da Caatinga com base em imagens Landsat. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 2, p. 524–538, 2020.

SILVA, Maria do Socorro Freire da. A importância da Caatinga no contexto ambiental brasileiro. *Revista Biotemas*, v. 18, n. 1, p. 17–27, 2005.

SILVA, Pedro Henrique da et al. Indicadores ambientais na análise da degradação da Caatinga. *Revista Agrogeoambiental*, v. 11, n. 1, p. 45–56, 2019.

SOUZA, Luana Alves de; MOURA, Raquel Nascimento de. O uso de NDVI para avaliação da vegetação da Caatinga no semiárido baiano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 3, p. 1147–1161, 2020.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Sioux Falls, SD: U.S. Geological Survey, 2021. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook>. Acesso em: 5 maio 2024.

ZHU, Zhe; WANG, Shixiong; WOODCOCK, Curtis E. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: Cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote sensing of Environment*, v. 159, p. 269–277, 2015.