



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO AMARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIA – CCA
ENGENHARIA FLORESTAL – BACHARELADO

LÉIA VITOR SOARES

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DE
BALSAS -MA**

Imperatriz

2024

LÉIA VITOR SOARES

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DE
BALSAS -MA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, para avaliação e posterior desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Michael Douglas Roque Lima

Coorientadora: Profa. Dra. Taíssa Caroline Silva Rodrigues

Imperatriz

2024

S676s

Soares, Léia Vitor

Avaliação temporal da cobertura vegetal no município de Balsas-Ma. /Léia Vitor Soares. – Imperatriz, MA, 2024.

32 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2024.

1. Desmatamento. 2. Supressão vegetativa. 3. Balsas -Ma. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 631(213.54)

LÉIA VITOR SOARES

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NO MUNICÍPIO DE
BALSAS -MA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, para avaliação e posterior desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Michael Douglas Roque Lima

Coorientadora: Profa. Dra. Taíssa Caroline Silva Rodrigues

Aprovado em: 30/07/2024.



Documento assinado digitalmente
MICHAEL DOUGLAS ROQUE LIMA
Data: 12/08/2024 14:50:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Michael Douglas Roque Lima
Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL
(Orientador)



Documento assinado digitalmente
JAQUELINE MACEDO GOMES
Data: 12/08/2024 13:56:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaqueline Macedo Gomes
Doutora em Ciências Florestais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL
(Membro)



Documento assinado digitalmente
JOABEL RAABE
Data: 12/08/2024 11:08:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Joabel Raabe
Doutor em Ciências Florestais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL
(Membro)

RESUMO

Nos últimos anos, os índices de desmatamento na região do bioma cerrado vêm alcançado índices alarmantes, especialmente no estado do Maranhão, onde chegou a 44% da sua vegetação natural derrubada. Nessa perspectiva, o objetivo do presente estudo foi de analisar o avanço da supressão vegetativa no município de Balsas (MA) no período de 1985 a 2020, por meio de índices vegetativos, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), e analisar qual índice foi mais assertivo. Dessa forma, foram realizados mapas temáticos para análises dos índices e testado sua acurácia através de uma matriz da confusão. Pode-se verificar o avanço da supressão vegetativa no município de Balsas por meio dos índices e obteve-se uma maior assertividade com o índice de Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) devido sua correção em áreas não vegetadas e grandes fragmentações vegetais. Dessa forma, os índices de vegetação, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), são aliados no processo de monitoramento, acompanhamento e proteção de recursos ambientais, sendo o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) um índice que se assemelha com a realidade de campo.

Palavras chaves: Município de Balsas. Índices Vegetativos. Supressão Vegetativa. NDVI. SAVI.

ABSTRACT

In recent years, deforestation rates in the cerrado biome region have reached alarming rates, especially in the state of Maranhão, where 44% of its natural vegetation has been felled. From this perspective, the objective of the present study was to analyze the progress of vegetative suppression in the municipality of Balsas (MA) in the period from 1985 to 2020, through vegetative indices, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Adjusted Vegetation Index to the Soil (SAVI), and analyze which index was more assertive. In this way, thematic maps were created to analyze the indices and their accuracy was tested using a confusion matrix. The progress of vegetative suppression in the municipality of Balsas can be verified through the indices and greater assertiveness was obtained with the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) index due to its correction in non-vegetated areas and large vegetation fragmentations. In this way, the vegetation indices, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), are allies in the process of monitoring, monitoring and protecting environmental resources, with the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) an index that resembles the field reality.

Keywords: Municipality of Balsas. Vegetative Indexes. Vegetative Suppression. NDVI. SAVI.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
2.1. OBJETIVO GERAL	9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3. REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1. Contexto Histórico da supressão no Bioma Cerrado	10
3.2. Contexto Histórico da Supressão no Município de Balsas	11
3.3. Sistema de Informação Geográfica (SIGs) e o Geoprocessamento Remoto	12
3.4. Landsat	12
3.5. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	13
3.6. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI).....	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1. Área de Estudo	16
4.2 Coleta dos dados	17
4.2. Processamento dos dados	17
4.2.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	17
4.4. Acurácia.....	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1 Análise da cobertura vegetal	19
5.1.1. Análise da acurácia.....	25
6. CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO

A expansão agrícola no Brasil avançou para o interior do país desde a década de 1970, inicialmente no bioma cerrado, devido ao baixo custo das terras e à valorização da criação de bovinos e cultivo de grãos, incentivada pelo governo (Domingues; Bermann; Manfredini, 2014). Com o desenvolvimento tecnológico, a atividade agrícola foi alavancada ao longo dos anos, impulsionada pela região do MATOPIBA, composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. A produção agrícola nessa região é concentrada na produção de grãos, especialmente soja (Filho, 2016).

A produção agrícola no Brasil melhorou com a adaptação de cultivares de soja mais rentáveis e com ciclos produtivos otimizados, tornando-se o maior produtor de soja do mundo, com produção de 123.829,5 milhões de toneladas entre os anos de 2021 e 2022 (Domingues; Bermann; Manfredini, 2014; Portal Embrapa, 2023). Vale ressaltar que a soja possui grande importância econômica devido à sua versatilidade, sendo utilizada pela indústria como fonte de proteína para a produção animal, na produção de óleo vegetal e até mesmo na produção de biocombustíveis (FPA, 2021).

Apesar de sua importância, o cultivo da soja pode contribuir para a supressão dos ecossistemas naturais. Segundo o MapBiomas, no ano de 2022, quase 20 milhões (10%) de hectares do bioma cerrado foram ocupados por lavouras de soja, com a região do MATOPIBA se destacando nos últimos 10 anos (Rodrigues et al., 2022). Nesse contexto, o Maranhão foi o estado com o maior índice de desmatamento, chegando a 44% da sua área derrubada. Nesse estado, o município de Balsas apresentou dados crescentes de supressão vegetativa desde 2018, alcançando uma área total de 3.261,44 km² (DIÁRIO DE BALSAS, 2022; TERRABRASILIS, 2023).

Para enfrentar esses desafios ambientais, o avanço tecnológico tem possibilitado o monitoramento da vegetação por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e Sensoriamento Remoto, facilitando a obtenção de dados primários e o gerenciamento de informações espaciais (Jacinto, 2003). Com o acesso a essas ferramentas avançadas, pesquisadores e profissionais agora podem analisar com maior precisão a dinâmica da vegetação, identificar padrões de uso da terra e monitorar mudanças ambientais ao longo do tempo. Portanto, o emprego do sensoriamento remoto poderá fornecer informações valiosas para o entendimento da realidade ambiental de Balsas, contribuindo positivamente para a elaboração de políticas públicas para o município. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar o avanço da supressão de cobertura vegetal do município de Balsas entre os

anos de 1985 e 2020 com intervalo de tempo de 5 anos, por meio de diferentes índices vegetativos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o avanço da supressão de cobertura vegetal do município de Balsas entre os anos de 1985 e 2020 com intervalo de tempo de 5 anos, por meio de diferentes índices vegetativos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar mapas temáticos da cobertura vegetativa de Balsas no período de 1985 a 2020.
- Analisar o avanço do desmatamento em Balsas por meio de índices vegetativos.
- Comparar a acurácia entre os índices de vegetação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Contexto Histórico da supressão no Bioma Cerrado

O Cerrado é um dos biomas mais importantes e extensos do Brasil, cobrindo cerca de 2 milhões de quilômetros quadrados, o que representa aproximadamente 24% do território nacional (MMA, 2020). Localizado predominantemente no centro-oeste do país, o Cerrado também se estende pelo leste do Maranhão (IBGE, 2019). O bioma é caracterizado por sua vegetação variada, que inclui arbustos, árvores de pequeno porte, gramíneas e um estrato herbáceo denso, adaptados às condições climáticas e ao solo (Sano et al., 2018).

O clima do Cerrado é tropical sazonal, contando com duas estações bem definidas, uma chuvosa concentrada entre outubro e abril, e outra com um período seco intenso entre maio e setembro (Klink & Machado, 2005). O solo do Cerrado é geralmente ácido, pobre em nutrientes e apresenta alta concentração de ferro e alumínio, o que influencia a vegetação e a agricultura na região (Bastos et al., 2013).

A biodiversidade do Cerrado é notável, com uma grande variedade de espécies vegetais e animais adaptadas ao ambiente (Oliveira et al., 2018). Além disso, o bioma desempenha um papel crucial na regulação dos ciclos hidrológicos da região central do Brasil. Suas matas ciliares e áreas de várzea ajudam a manter a qualidade e a quantidade das águas superficiais e subterrâneas, sendo essenciais para a formação de importantes bacias hidrográficas, como o Rio Araguaia e o Rio Tocantins (Rodrigues et al., 2022).

No entanto, o Cerrado enfrenta sérios desafios devido à expansão da agricultura e da pecuária. O desmatamento para a criação de pastagens e áreas cultiváveis tem causado a perda significativa de vegetação nativa, comprometendo a biodiversidade e a qualidade dos recursos hídricos (Almeida et al., 2016). Entre 1985 e 2021, a área ocupada por lavouras de soja no Cerrado cresceu 1443%, ocupando quase 20 milhões de hectares, ou 10% do bioma. Os dados apontam que nestes 37 anos, as atividades agrícolas aumentaram em 508%, passando de 4 milhões de hectares para quase 25 milhões de hectares no Cerrado. (Globo Rural, 2022). O bioma é atualmente considerado um hotspot de biodiversidade ameaçado globalmente, necessitando de esforços contínuos para a conservação e manejo sustentável (Finer et al., 2014).

A preservação do Cerrado é fundamental para a manutenção de sua biodiversidade, a sustentabilidade das atividades econômicas e a qualidade de vida das populações que dependem de seus recursos naturais. A implementação de políticas públicas voltadas para a conservação e

o desenvolvimento sustentável é crucial para garantir a proteção deste importante bioma (MMA, 2020).

3.2. Contexto Histórico da Supressão no Município de Balsas

A expansão agrícola rumo ao Cerrado começou na década de 1930 com ações governamentais que favoreceram a capitalização agropecuária. Entre essas ações destacam-se a construção da ferrovia que ligava São Paulo a Anápolis, o início do Programa de Assentamento Dirigido do Alto Parnaíba (PADAP), o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PROCEDER) (Silva, 2000; Pedroso e Silva, 2005).

Segundo Costa (2017), a localização geográfica do Maranhão favorece o mercado externo, principalmente para as regiões americanas e europeias, devido a logística de transporte multimodal (hidroviário, rodoviário e portuário) o que influenciou a expansão agrícola na região, principalmente no município de Balsas (Cru e Santos, 2022).

Historicamente, Balsas era caracterizada por vegetação abundante do bioma Cerrado, conhecido por sua biodiversidade única. No entanto, a partir da década de 1970, a região sofreu mudanças significativas devido às iniciativas governamentais para promover a produção agrícola e pecuária, impulsionadas pela revolução verde (Rocha, 2009).

A implementação de projetos de colonização agrícola e a expansão das fronteiras agrícolas resultaram na rápida conversão das áreas de Cerrado em terras cultivadas e pastagens. Como consequência, o cultivo de soja e milho emergiu como principal atividade econômica, transformando completamente a paisagem natural (Miranda, 2014; Mota, 2017).

Na década de 1980, a consolidação da agricultura em larga escala, com a introdução de novas tecnologias e insumos químicos, fortaleceu a expansão das monoculturas. A soja, em particular, tornou-se o principal motor econômico da região, resultando em desmatamento extensivo e crescimento econômico nas áreas de Cerrado (Rocha, 2009).

Além disso, políticas governamentais incentivaram a migração de sulistas ligados ao setor rural e agroindústrias para Balsas durante as décadas de 1970 e 1980. Isso levou, nos anos 1990, à transformação da produção agrícola em uma atividade empresarial, resultando em acúmulo de terras e conflitos socioespaciais (Mota, 2017; Rodrigues, 2018). Portanto, a expansão da supressão vegetativa em Balsas teve implicações sociais, ambientais e econômicas. Técnicas que ajudem no monitoramento da expansão da supressão vegetativa no município são relevantes visando políticas públicas assertivas.

3.3. Sistema de Informação Geográfica (SIGs) e o Geoprocessamento Remoto

O termo sensoriamento remoto apareceu pela primeira vez em 1960, definido como a aquisição de informações sem contato físico com os objetos (Novo e Ponzoni, 2001). Gomes (2017) define geoprocessamento como um conjunto de tecnologias que permitem o desenvolvimento contínuo e são capazes de obter e tratar dados georreferenciados.

Segundo Novo e Ponzoni (2001), o sensoriamento remoto começou com o uso de fotografias para levantamentos topográficos em 1840, evoluindo rapidamente desde então. Em 1957, a União Soviética lançou o primeiro satélite artificial da Terra, seguido pelo lançamento de outro satélite pelos Estados Unidos no ano seguinte. Com o sucesso dessas missões, mais satélites foram enviados para estudar o Sol, a Lua, Marte e Vênus (Maio et al., 2008).

O uso dessa tecnologia é imprescindível para a obtenção de dados geográficos, executados por Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Os SIGs oferecem ferramentas para integrar, visualizar e criar mapas a partir de dados georreferenciados (DPI/INPE, 2006).

Holanda e Guerra (2010) destacam que o uso do sensoriamento remoto para o estudo da vegetação é crucial, pois permite a análise temporal da vegetação e facilita a supervisão e previsão da biomassa. Estudos vegetativos utilizam índices importantes, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IAF) e Índice de Área Foliar (SAVI) para avaliar a supressão de vegetação.

Borrato e Gomide (2013) utilizaram os índices NDVI, SAVI e IAF para estudar a cobertura vegetativa no norte de Minas Gerais, criando mapas temáticos que permitiram a classificação da cobertura do solo na área de estudo. Acredita-se que o uso dessas técnicas para monitorar a cenário da cobertura do solo na região de Balsas trará informações reais e permitirá o ajuste de novas diretrizes para a manutenção das áreas cobertas por vegetação por parte do poder público.

3.4. Landsat

Com o sucesso das missões Apollo à Lua, o diretor da United States Geological Survey (USGS) idealizou um programa de satélites para observar e monitorar os recursos terrestres. Apesar da oposição inicial do Bureau of Budget (BOB), o Departamento do Interior (DOI) apoiou a ideia, levando a NASA a iniciar o projeto Landsat em 1970 (Cstro Filho; Garcia; Lourenço, 2010).

O primeiro satélite da série Landsat foi lançado na segunda metade da década de 1960, inicialmente chamado de Earth Resources Technology Satellite (ERTS). Em 1972, o lançamento do Landsat-1 teve grande impacto, pois foi o primeiro satélite de sensoriamento remoto com dois instrumentos a bordo: câmeras RBV e MSS. Desde então, foram lançados oito satélites, incluindo Landsat 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 (Tabela 1), com imagens multiespectrais (INPE, 2020).

Tabela 1: Características dos satélites da série Landsat.

Satélite	Data de Lançamento	Sensor	Término de Operação
Landsat 1	23 de julho de 1972	RBV e MSS	1978
Landsat 2	22 de janeiro de 1975	RBV e MSS	1982
Landsat 3	05 de março de 1978	RBV e MSS	1983
Landsat 4	16 de julho de 1982	MSS e TM	1993
Landsat 5	01 de março de 1984	MSS e TM	2011
Landsat 6	05 de outubro de 1993	ETM	Falha no Lançamento
Landsat 7	14 de abril de 1999	ETM+	Em Operação com Falhas
Landsat 8	11 de fevereiro de 2013	OLI e TIRS	Em Operação

Fonte: EMBRAPA, 2020 (adaptado).

3.5. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi o primeiro índice a ser criado e apresentado por Rouse et al. (1974). Ele normaliza a razão simples para o intervalo de -1 a 1, onde os valores negativos representam nuvens, água e neve; os valores próximos a 0 e 0,1 correspondem a rochas, areia ou neve; valores medianos (0,2 a 0,3) correspondem a arbustos e prados; e os valores mais próximos de 1 correspondem a florestas temperadas e tropicais. Desde então, o NDVI tem sido amplamente utilizado para avaliar a cobertura vegetal, mapeamento e uso do solo, cultivos agrícolas e outras aplicações (Albuquerque et al., 2014).

O NDVI possui detectores de luz vermelha e infravermelha próxima, permitindo medir a quantidade de clorofila nas folhas por meio da transmissão dessas luzes. As plantas saudáveis refletem mais luz infravermelha próxima e absorvem mais luz vermelha devido à presença de clorofila. Dessa forma, o NDVI se tornou um índice muito utilizado devido à sua capacidade de identificar a densidade da fitomassa foliar fotossinteticamente ativa em uma determinada área (Torres et al., 2011; Chen, Zhen e Sun, 2021). Além disso, o NDVI tem sido utilizado em

modelos climáticos para prever mudanças na vegetação devido a variações climáticas e em programas de conservação para identificar áreas de degradação ambiental e necessidade de intervenção (Smith et al., 2018).

A importância do NDVI não se limita apenas à análise da vegetação atual, mas também se estende ao monitoramento de mudanças ao longo do tempo. Estudos de séries temporais usando NDVI permitem a identificação de tendências de desmatamento, recuperação de áreas degradadas e impactos de eventos climáticos extremos, como secas e inundações (Johnson *et al.*, 2017). A facilidade de obtenção de dados de NDVI através de imagens de satélite e a possibilidade de integração com outras tecnologias, como GIS (Sistemas de Informação Geográfica), ampliam ainda mais seu uso em diferentes escalas espaciais e temporais (Lee *et al.*, 2019). Assim, o NDVI continua a ser um dos índices mais relevantes e amplamente utilizados na pesquisa ambiental e na gestão de recursos naturais.

3.6. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) é um índice de vegetação que busca minimizar as influências da luminosidade do solo usando um fator de correção algébrico. Este fator é utilizado para corrigir o NDVI, onde retifica a influência do brilho do solo em áreas onde a cobertura vegetal é baixa. O SAVI, derivado da Refletância de Superfície de Landsat, é calculado como uma razão entre os valores da diferença das refletividades das bandas no infravermelho (NIR) e no vermelho (R) com um fator de correção de brilho do solo (L) definido como 0,5 para acomodar a maioria dos tipos de cobertura terrestre (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2023).

O SAVI é particularmente eficaz em áreas onde a vegetação é esparsa e o solo exposto pode afetar significativamente a precisão dos índices de vegetação tradicionais, como o NDVI. Em regiões áridas e semiáridas, onde a cobertura vegetal é baixa e o solo frequentemente domina a cena refletida, o SAVI fornece uma medida mais precisa da biomassa vegetal ao compensar as variações na refletância do solo (Huete, 1988). Além disso, o SAVI tem uma saturação menor do que o NDVI em altos valores de índice, o que o torna mais útil em ecossistemas com vegetação densa, onde o NDVI tende a atingir um platô e perde sensibilidade (GEOAGRO, 2023).

Pesquisas têm demonstrado que o SAVI pode melhorar a precisão na avaliação da cobertura vegetal e no monitoramento das mudanças no uso da terra. Por exemplo, em estudos de monitoramento agrícola, o SAVI tem sido usado para identificar áreas de estresse hídrico e

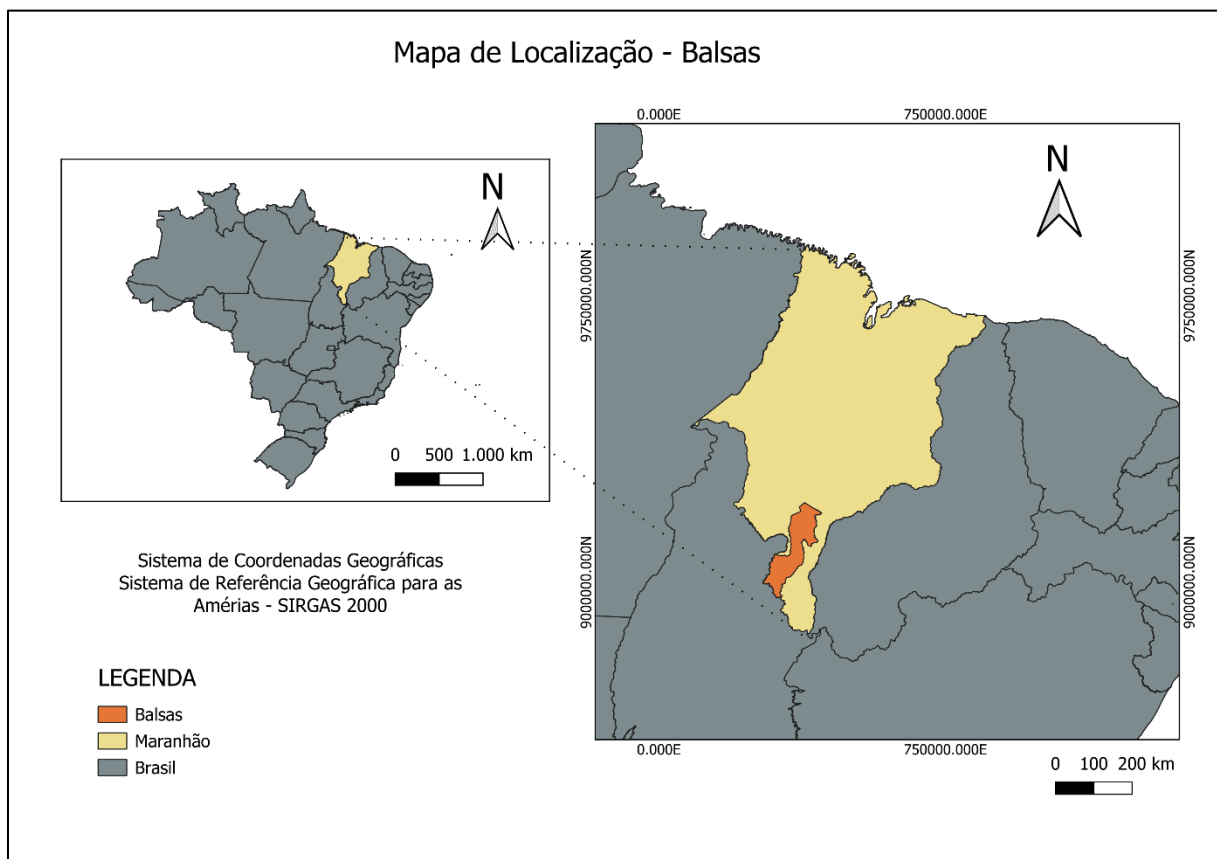
avaliar a eficiência do uso da água em sistemas de irrigação (Bannari et al., 1995). Além disso, ele tem sido aplicado em estudos de ecologia de paisagem para mapear habitats naturais e monitorar a degradação ambiental (Qi et al., 1994). A combinação do SAVI com outros índices de vegetação e técnicas de sensoriamento remoto pode proporcionar uma visão mais holística da saúde e dinâmica dos ecossistemas (Richardson e Wiegand, 1977).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

O município de Balsas – MA fica situado em uma latitude -7.53305556 S e uma longitude -46.03500000 W, com altitude de 243 metros (Cidade-Brasil, 2022). O município é caracterizado por um clima subúmido seco, com dois períodos bem distintos definidos, período chuvoso (dezembro a março) e o período seco (abril a novembro). Sua temperatura média anual é de $27,1$ °C (Passos; Zambrzycki; Pereira, 2017). O município está inserido no bioma cerrado, cuja vegetação predominante caracteriza-se como savana, onde ocorre naturalmente gramíneas, pequenas árvores e arbustos (IBGE, 2022). Segundo o levantamento exploratório realizado pela Embrapa, as principais classes de solos encontradas nessa região são: Latossolo Amarelo, Neossolos Litólicos e os Plintossolos (EMBRAPA, 2017).

Figura 1: Mapa de localização de Balsas em relação ao Maranhão e Brasil.



Fonte: Autor (2024).

4.2 Coleta dos dados

Foi analisado a supressão vegetativa de Balsas por meio dos índices de NDVI e SAVI no período de 1985 a 2020 com intervalo de 5 anos (tabela 2). Os dados foram coletados a partir de imagens orbitais do satélite Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, adquiridas pela plataforma USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Foi adotado o índice de cobertura de nuvem com 5%.

Tabela 2: Datas e satélites das imagens georreferenciadas.

Satélite	Data da Imagem
Landsat 5	30 de junho de 1985
Landsat 5	28 de junho de 1990
Landsat 5	12 de julho de 1995
Landsat 5	09 de julho de 2000
Landsat 5	23 de julho de 2005
Landsat 5	05 de julho de 2010
Landsat 8	19 de julho de 2015
Landsat 8	16 de julho de 2020

Fonte: Autor.

4.2. Processamento dos dados

4.2.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI é a razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho e pela soma dessas mesmas refletividades. Assim indicando a quantidade e condição vegetativa a partir de uma representação numérica no intervalo de -1 a 1 (Equação 1).

$$NDVI = \frac{pNIR - pRED}{pNIR + pRED} \quad (1)$$

Onde: pNIR é a reflectância da banda infravermelho próximo; e pRED é a reflectância da banda infravermelho de onda curta (médio).

3.2.2. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

SAVI é um índice de vegetação que leva em consideração o efeito dos solos expostos nas imagens analisadas. Esse índice é utilizado para o ajuste do NDVI nas áreas que não estão completamente cobertas por vegetação (Equação 2).

$$SAVI = \frac{(1 + L_s)(piv - pv)}{L_s + piv + pv} \quad (2)$$

Onde: L_s é uma constante denominada de fator de ajuste do índice SAVI, podendo assumir valores de 0,25 a 1 dependendo da cobertura do solo; piv é a reflectância da banda infravermelho próximo; e pv é a reflectância da banda infravermelho de onda curta (médio).

4.4. Acurácia

Para análise da acurácia foi utilizado o método sugerido por Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986), em que foi utilizado uma matriz da confusão que sinaliza, em sua diagonal principal, a proporção de pixels corretamente classificados e, na soma dos valores marginais de linhas e colunas, respectivamente, os erros de inclusão e omissão para cada classe temática. Além disso, para resumir a matriz, foi utilizado o método de discordância de quantidade e discordância de alocação, que demonstra possíveis erros de alocações espaciais e quantidade de pixels discordantes das classes do mapa, sugerido por Portius e Millones (2011). Nota-se, a partir do estudo de Carvalho et al. (2019), que tais metodologias apresentam bons resultados quando se trata de análises vegetativas.

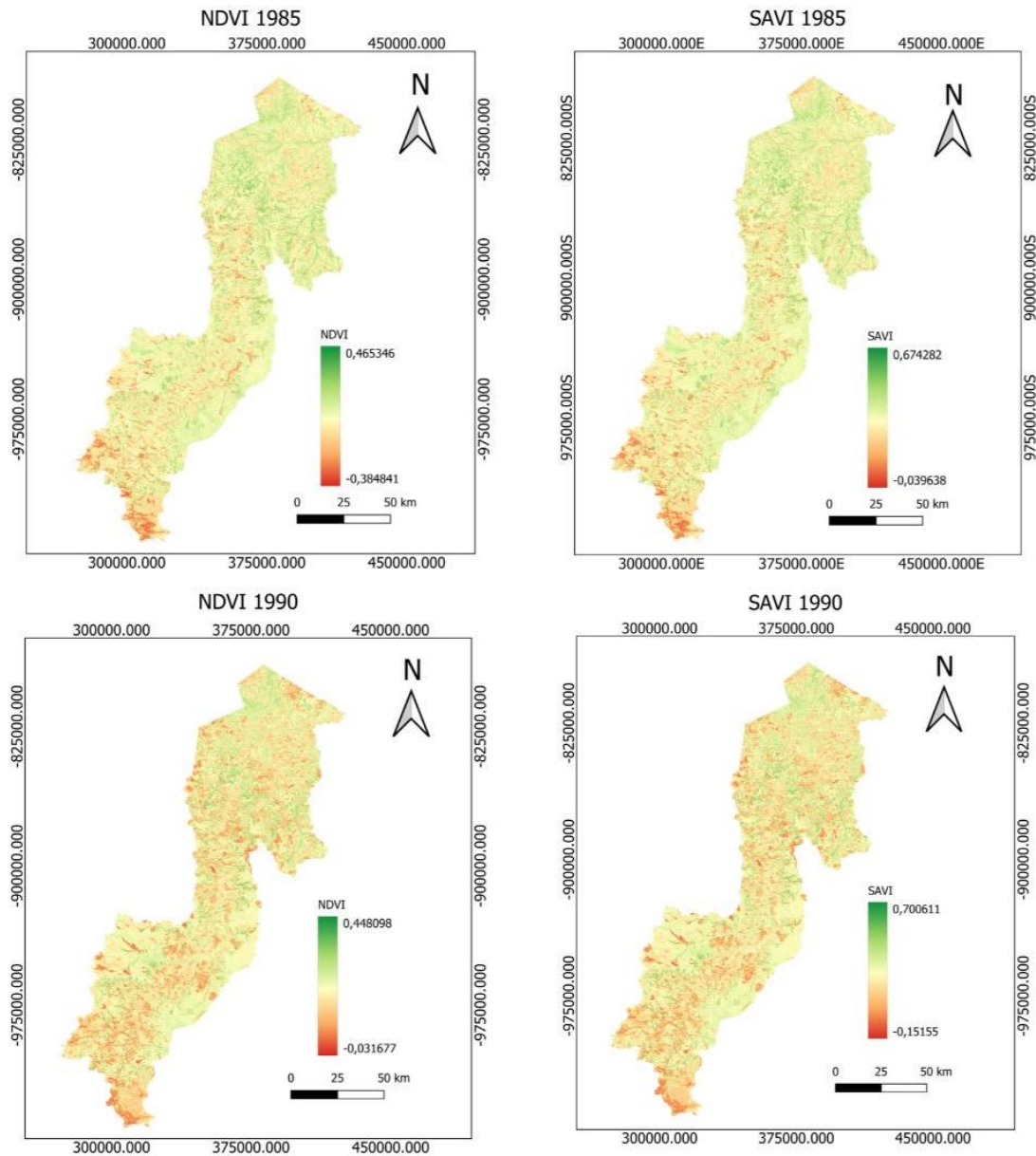
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise da cobertura vegetal

Os índices vegetativos, utilizados por pesquisadores de diversas áreas para vários trabalhos científicos, possuem uma boa representação para o monitoramento, controle e proteção do meio ambiente (Oliveira, 2013; Alves *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2022). Os valores observados nos mapas temáticos são separados em 5 classes representados por cores, onde, os valores negativos, que são representados pela cor vermelha, são referentes a água e nuvens. Os valores positivos são divididos em 4 classes, representadas pelas cores laranja, amarelo, verde claro e verde escuro, onde representam, respectivamente, solo exposto/área urbana ou com vegetação estressada; vegetação rasteira/agricultura ou esparsa, região savânica e uma vegetação mais densa (Pettorelli *et al.*, 2005).

A partir dos valores de NDVI e SAVI dos anos de 1985 e 1990, observados por meio da figura 2, é perceptível a redução de cobertura vegetal, onde apresenta um avanço de áreas com solo exposto em todo o município de Balsas com destaque na região norte. Nota-se que no ano de 1985 a vegetação tem uma máxima de 0,67282 para o NDVI e 0,687963 para o SAVI e no ano de 1990 à uma diminuição para 0,448098 para o NDVI, indicando que os fragmentos de vegetação tiveram diminuição da conservação nesse índice. Durante o período analisado, as políticas de desenvolvimento tiveram como priorização a expansão agrícola em áreas consideradas como improdutivas, como o cerrado. Devido a falta de regulamentarização ambiental rigorosa, ocorreu supressão de grandes áreas com a finalidade de criação de pastagens e agricultura de subsistência (Fearside, 2001).

Figura 2: Mapas de análise espaço temporal da cobertura vegetal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) entre os anos de 1985 e 1990.

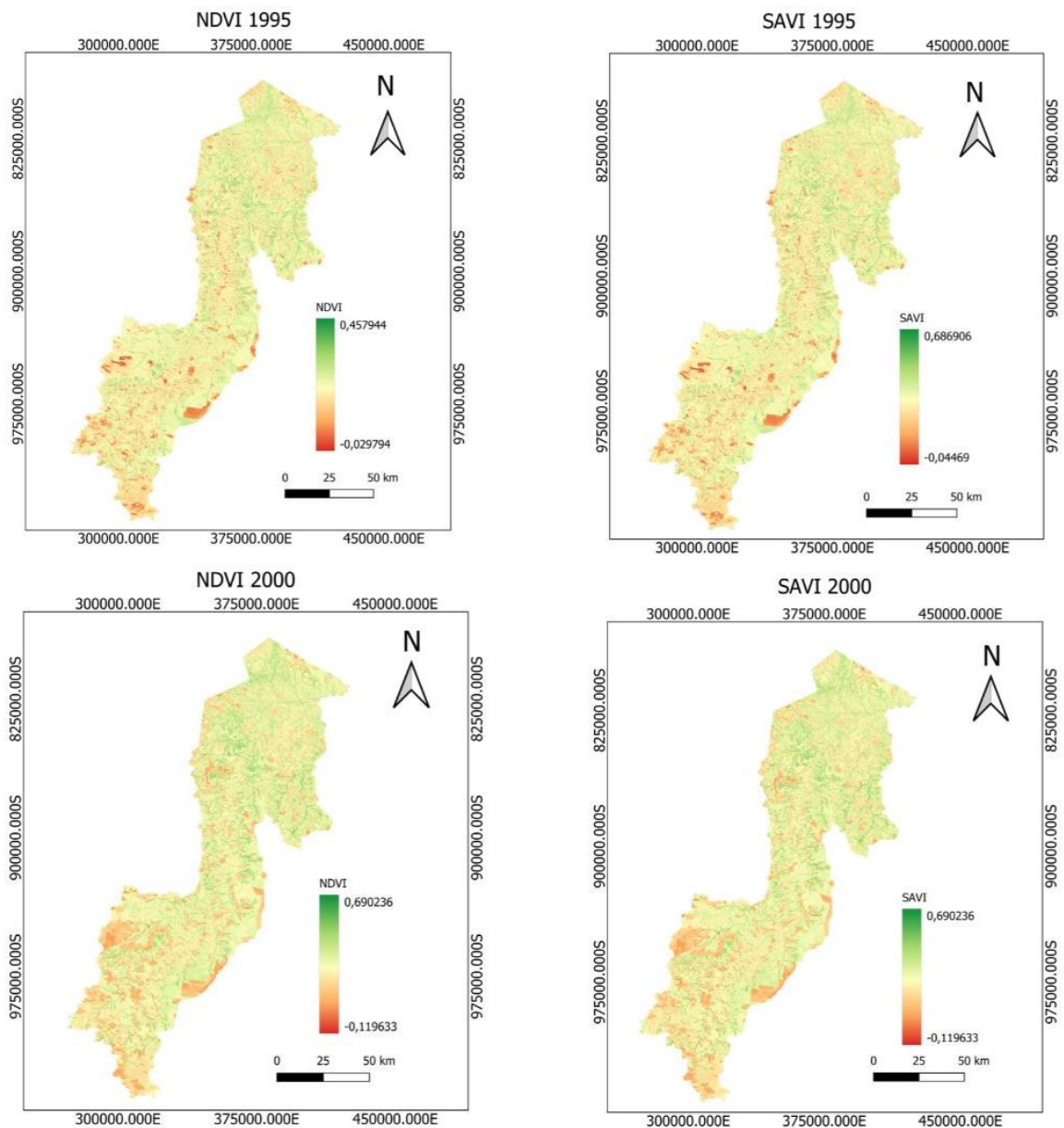


Vermelho: água e nuvens; Laranja: solo exposto/área urbana ou com vegetação estressada; Amarelo: vegetação rasteira/agricultura ou esparsa; Verde claro: região savânica; Verde escuro vegetação mais densa. Fonte: Autor (2024).

Nos anos de 1995 e 2000 (Figura 3), os dados mostram uma estabilização da cobertura vegetal, sinalizando o início do desenvolvimento e da expansão urbana e agrícola devido a semelhança dos mapas entre os anos apresentados. O aumento dos pixels amarelos e verdes

claros nas imagens sugere uma intensificação da expansão urbana, mas principalmente da pecuária extensiva característica da época, onde, necessitava de grandes extensões de terras, assim, resultando o desmatamento. Além disso, a ausência de tecnologias de manejo sustentáveis e visão de curto prazo da época, contribuíram para a degradação ambiental (Rodrigues *et al.*, 2022; Miranda, Magalhaes e Carvalho, 2006).

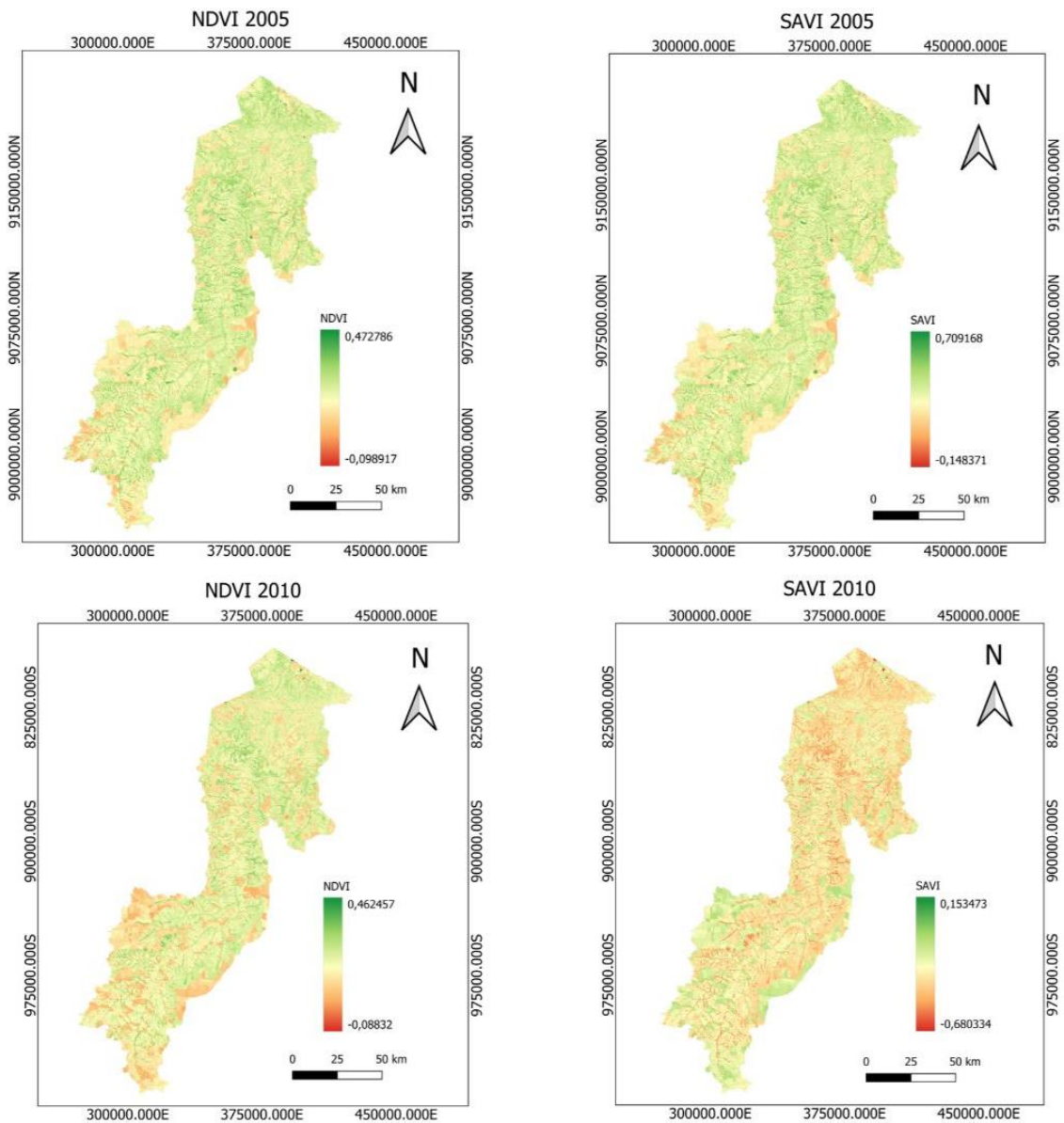
Figura 3: Mapas de análise espaço temporal da cobertura vegetal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) entre os anos de 1995 e 2000.



Vermelho: água e nuvens; Laranja: solo exposto/área urbana ou com vegetação estressada; Amarelo: vegetação rasteira/agricultura ou esparsa; Verde claro: região savânica; Verde escuro vegetação mais densa. Fonte: Autor (2024).

Nos anos de 2005 e 2015 (Figura 4), nota-se, principalmente no SAVI, um crescente de pixels laranjas o que pode ter sido promovido devido à forte expansão agrícola na região de MATOPIBA. Além disso, fatores que favoreceram esse acontecimento foram a grilagem de terras e a falta de títulos fundiários claros, assim, contribuindo para a supressão descontrolada (Bustamante *et al.*, 2012).

Figura 4: Mapas de análise espaço temporal da cobertura vegetal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) no ano de 2005 e 2010.

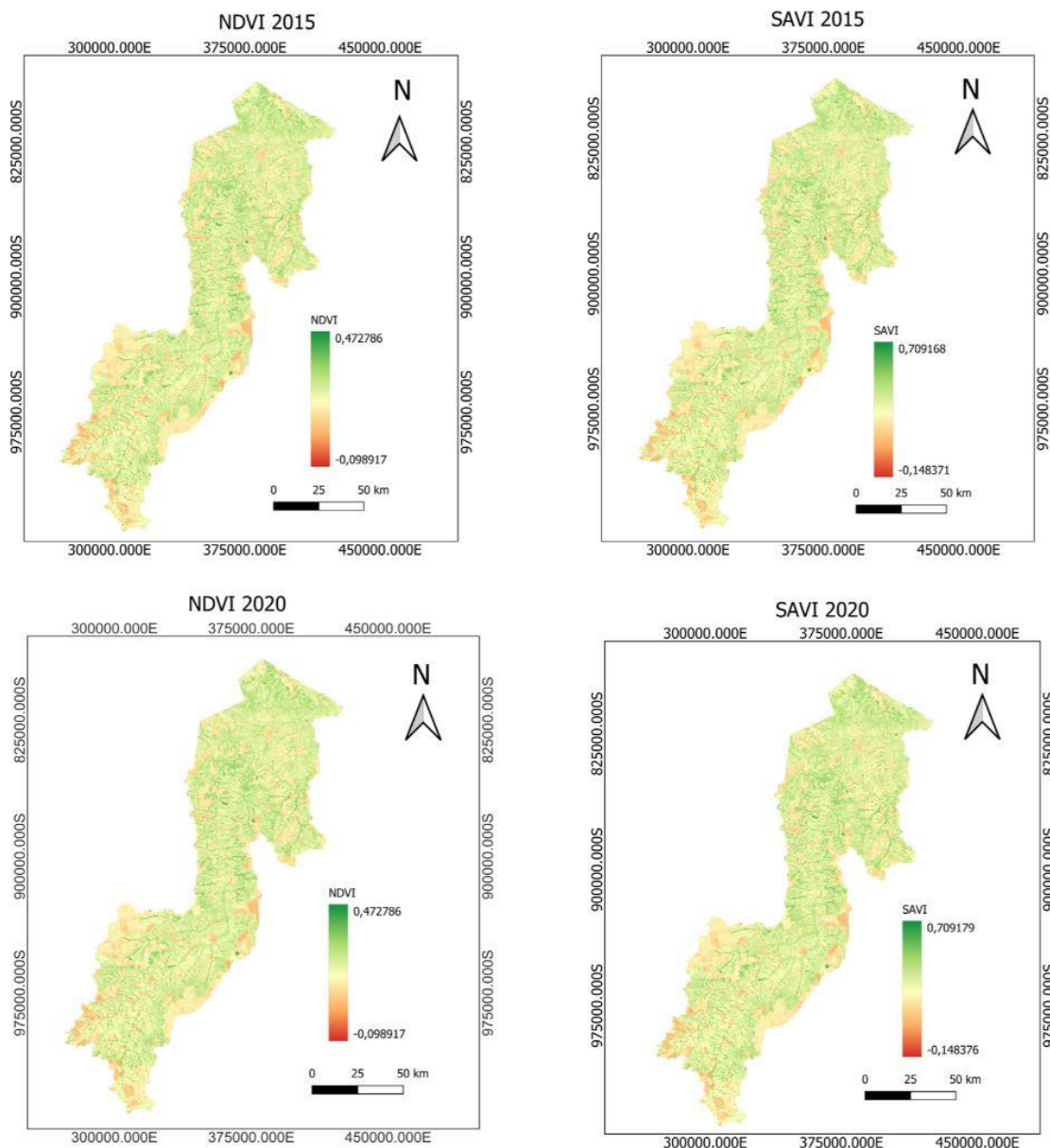


Vermelho: água e nuvens; Laranja: solo exposto/área urbana ou com vegetação estressada; Amarelo: vegetação rasteira/agricultura ou esparsa; Verde claro: região savânica; Verde escuro vegetação mais densa. Fonte: Autor (2024).

A partir de 2015 e 2020 (Figura 5), é possível identificar regiões antrópicas bem definidas, principalmente com o índice SAVI, correlacionadas com a atuação do Distrito Agroindustrial de Balsas, inaugurado em 2013, que visava estimular empresas e pequenos produtores no setor agroindustrial (Seinc, 2023). Esta expansão pode ser parcialmente explicada pela promoção de políticas de desenvolvimento agroindustrial e pelo incentivo à ocupação das terras (Almeida; Farias; Pereira, 2016).

Além disso, observa-se a partir de 2010 uma aproximação dos valores negativos em direção a 1 (Figura 4). Este fenômeno pode ser atribuído ao aumento da presença de mata ciliar, possivelmente relacionado às áreas de preservação permanente (APPs) estabelecidas pelo Código Florestal de 2012 (lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012). As APPs têm como objetivo proteger os recursos hídricos e promover a recuperação de áreas degradadas, contribuindo para a melhoria da cobertura vegetal em regiões estratégicas (MMA, 2020; Sano; Duarte; Pontes, 2018). Esta análise destaca a importância de integrar o monitoramento dos índices de vegetação com políticas ambientais e de uso da terra, para compreender melhor as dinâmicas de mudança e implementar estratégias eficazes de conservação e desenvolvimento sustentável.

Figura 4: Mapas de análise espaço temporal da cobertura vegetal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) no ano de 2015 e 2020.



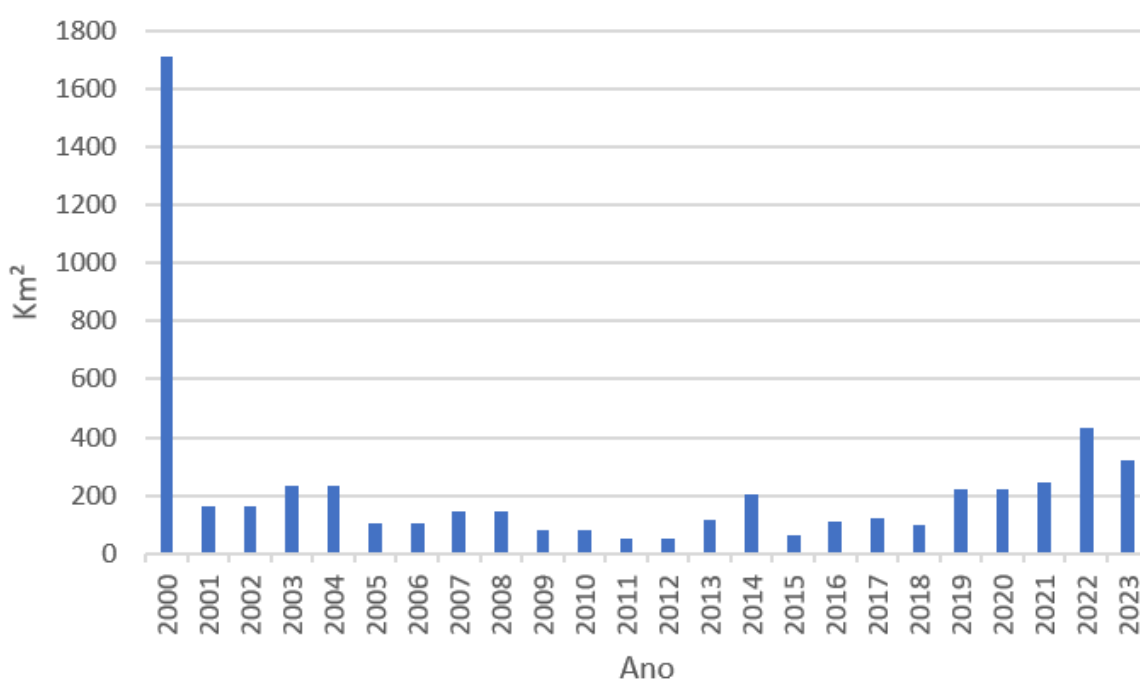
Vermelho: água e nuvens; Laranja: solo exposto/área urbana ou com vegetação estressada; Amarelo: vegetação rasteira/agricultura ou esparsa; Verde claro: região savânica; Verde escuro vegetação mais densa. Fonte: Autor (2024).

Um dos acontecimentos que podem ter sido influenciados pela melhoria de caracterização do solo é o uso de tecnologias mais avançadas que proporcionam um acompanhamento mais eficaz das mudanças no uso da terra. Porém, a pressão de alta produção de soja permaneceu na região do Cerrado (Coutinho *et al.*, 2019). Esses resultados destacam a importância de monitorar e analisar as mudanças na cobertura do solo para entender melhor as dinâmicas de desenvolvimento e os impactos ambientais associados. A integração de políticas de uso da terra

com práticas de conservação pode oferecer um caminho para um desenvolvimento sustentável, equilibrando as necessidades econômicas com a proteção dos recursos naturais.

A partir do Figura 6, podemos analisar a supressão vegetativa do município de Balsas por meio do PRODES, onde disponibiliza tais dados a partir do ano de 2000. Nota-se que há um pico em 2000 e ao decorrer dos anos, essa supressão é drasticamente diminuída, o que pode ser justificado pela alta demanda do mercado por soja nos anos de 2020 juntamente com políticas públicas para o apoio dessa expansão (Gibbs *et al.*, 2015)

Figura 6: Gráfico de supressão vegetativo por ano no município de Balsas



Fonte: PRODES, 2024 (adaptado).

5.1.1. Análise da acurácia

Para a análise da acurácia foi utilizado mapas de uso e ocupação do solo gerados a partir da base do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite – PRODES, onde as classes do NDVI e SAVI foram subdivididas nas seguintes classes:

Quadro 2: Subclasses geradas a partir do PRODES.

Classe	Abreviação
--------	------------

Formação Florestal	FF
Formação Savânica	FS
Área Pantanosa	AP
Formação Campestre	FC
Cana de Açúcar	Cana
Mosaico de Usos	MU
Área Urbanizada	AU
Áreas Não Vegetadas	AN
Soja	Soja
Outras Lavouras Temporárias	LT
Silvicultura	SV
Pastagem	PT
Rio, Lago ou Oceano	RL

Fonte: Autor (2024).

A partir da análise da matriz de confusão (tabela 3), observou-se que o SAVI apresentou, na sua maioria, resultados superiores ao de NDVI em relação a realidade da cobertura vegetal do município de Balsas. Nota-se que no ano de 2000 o NDVI apresenta sua menor assertividade, o que pode ser justificado devido a nesse ano ter apresentados muitos pixels laranjas, onde correspondem a áreas não vegetadas e segundo Huete (1988), tal índice apresenta uma falha em área com muito solo exposto e áreas de vegetação fragmentada.

Tabela 3: Assertividade de cada índice em relação ao ano analisado.

Índice	Ano							
	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
NDVI	90,21%	93,66	69,58	52,26	85,87	90,47	85,99	79,29
SAVI	96,97	95,95	88,57	89,37	96,04	87,93	98,22	95,86

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; SAVI: Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.

6. CONCLUSÃO

Os valores de NDVI e SAVI, indicaram que houve um decréscimo na cobertura vegetal sendo mais perceptível no ano de 1990 e 2010. Os valores da matriz de confusão, indicaram a maior assertividade do SAVI, comprovando a sua assertividade na minimização dos efeitos de variabilidade quanto ao tipo e densidade da vegetação causado pelo NDVI.

Os índices de vegetação, NDVI e SAVI, são aliados no processo de monitoramento, acompanhamento e proteção de recursos ambientais, sendo o SAVI um índice que se assemelha com a realidade de campo. Para estimular as iniciativas de conservação e manejo sustentável no município de Balsas, é necessário continuar investindo em tecnologias de monitoramento. Além disso, é necessário o fortalecimento de políticas integradas que considerem o desenvolvimento econômico juntamente a conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E. M. et al. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revista Estudos Geoambientais**, v. 1, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/geo/article/view/17986>. Acesso em: 1 abr. 2023.
- ALLEN, R. et al. Parte C. Evapotranspiración del cultivo en condiciones no estándar ETc bajo condições de estrés hídrico: Evapotranspiración del cultivo. **Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Estudio FAO Riego y Drenaje, n. 56, p. 48, 2006. ISSN 0254-5293.
- ALMEIDA, A. M.; FARIAS, J. F.; PEREIRA, R. F. Políticas de desenvolvimento agroindustrial e o incentivo à ocupação das terras. **Revista de Desenvolvimento Regional**, 2016.
- ALVES, M. H. D. et al. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa do plantio de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) em regiões amazônicas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, XLIX, 2020. Anais [...]. On-line, 2020.
- ANDRADE, S. C. P. et al. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revista de Estudos Geoambientais**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/geo/article/view/17986/10625>. Acesso em: 1 abr. 2023.
- ARAÚJO, L. L. **Análise e caracterização de uma área territorial da cidade de Balsas: avaliação da expansão urbana**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal do Maranhão. Balsas, 2021. p. 48.
- BALSAS – INFORMAÇÕES SOBRE O MUNICÍPIO E PREFEITURA. **Cidade - Brasil**, 2022. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-balsas.html>. Acesso em: 18 fev. 2023.
- BALSAS (MA), CIDADE-ESTADO. **IBGE**, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/balsas.html>. Acesso em: 18 fev. 2023.
- BALSAS NA ROTA DE EXPANSÃO E FORTALECIMENTO DA AGROINDÚSTRIA PROMOVIDA PELO GOVERNO DO ESTADO E SEINC. **SEINC**, 2023. Disponível em: <https://www.seinc.ma.gov.br/noticias/balsas-na-rota-de-expansao-e-fortalecimento-da-agroindustria-promovida-pelo-governo-do-estado-e-seinc>. Acesso em: 14 jul. 2024.
- BANNARI, A. et al. A review of vegetation indices. **Remote Sensing Reviews**, 1995.
- BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: Simpósio

Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, XVI, 2013, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu: EMBRAPA, 2013. p. 7345-7352.

CARVALHO, I. S. et al. Classificação da vegetação do Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão, usando OBIA, machine learning e softwares livres. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIX, 2019, Santos – SP. Anais [...]. INPE, 2021. p. 2684-2987. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/10.23.11.17/doc/97824.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2024.

CASTRO FILHO, A. P.; GARCIA, J. R.; LOURENÇO, L. A. E. Landsat: aplicações passadas, presentes e futuras. **INPE**. São Paulo, 2010.

CHEN, J. J.; ZHEN, S.; SUN, Y. Estimating leaf chlorophyll content of buffaloberry using normalized difference vegetation index sensors. **HortTechnology**, v. 31, n. 3, p. 297-303, 2021.

COSTA, A. P. B. M. **Logística portuária: análise das estratégias logísticas do Porto do Itaqui/MA**. Dissertação de Mestrado em Gestão de Empresas da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias Escola de Ciência Económicas e das Organizações, Lisboa, 2017.

COUTINHO, B. R. et al. Impacts of the expansion of commodity on tropical forest. **Current opinion in environmental sustainability**, v. 38, p. 36-43. 2019.

CRUZ, V. D. S.; SANTOS, M. J. S. D. A cultura da soja no Maranhão: desafios e possibilidades para os produtores. In: X Seminário de Iniciação Científica do IFNMG e II Seminário da Pós-graduação do IFNMG, 2022, Minas Gerais. Anais [...]. SIC, 2022.

DADOS ECONÔMICOS. **Portal Embrapa**, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 15 jan. 2023.

DESMATAMENTO DO CERRADO EM BALSAS SEGUE EM CONSTANTE ACELERAÇÃO. **Diário de Balsas**, 2023. Disponível em: <https://www.diariodebalsas.com.br/noticias/desmatamento-do-cerrado-em-balsas-segue-em-constante-aceleraacao-28578.html>. Acesso em: 31 mar. 2023.

DOMINGUES, M. S. D.; BERMANN, C.; MANFREDIN, S. A produção de soja no Brasil e sua relação com o desmatamento na Amazônia. **Revista Presença Geográfica**, v. 1, n. 1, p. 4, maio 2014.

FIARSI, P. M. Soybean cultivations as a Threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v.28, n. 1, p. 23-38, maio 2002.

FINER, M.; ROJAS, C.; PINEDO-VÁSQUEZ, M. Cerrado and Amazon: Insights on deforestation. **Global Environmental Change**, v. 24, p. 314-325, 2014.

GIBBS, H.K., et al. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 107, n. 38, p. 16721-16737, 2010.

GOMES, M. A. A. O que é e para que serve o geoprocessamento?. **Unifai**, 2017. Disponível em: <https://www.unifai.edu.br/pesquisa/publicacoes/professores/sequenciais/o-que-e-e-para-que-serve-o>. Acesso em: 31 mar. 2023.

IMPORTANCIA DA SOJA PARA O BRASIL. **FPA**, 2021. Disponível em: <https://fpagropecuaria.org.br/2021/10/18/importancia-da-soja-para-o-brasil/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO: IFV, VARI, NDVI e NDRE. **Mappa**, 2022. Disponível em: <https://mappa.ag/blog/indices-de-vegetacao-ifv-vari-ndvi-e-ndre/>. Acesso em: 1 abr. 2023.

INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO. **Spring-DPI/INPE**, 2006. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: 1 abr. 2023.

JOHNSON, M. S. et al. Análise temporal do NDVI em áreas de conservação. **Environmental Research Letters**, 2017.

JACINTO, L. R. C. Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de Unidades de Conservação: o caso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Capivari-Monos. São Paulo, 20 mar. 2003.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Classificação e caracterização dos biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 1, p. 109-126, 2005.

LEE, H. et al. Integração do NDVI com sistemas GIS para monitoramento ambiental. **Journal of Geographical Sciences**, 2019.

MAIO, A. et al. Sensoriamento remoto. 1. ed. Rio de Janeiro: Agência Espacial Brasileira (AEB), 2008.

MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLO. **Portal Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 18 fev. 2023.

MMA. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado. Ministério do Meio Ambiente, 2020.

MIRANDA, E. E., MAGALHAES, L. A., CARVALHO, C.A. Agriculture and deforestation in the Brazilian Amazon: Spatioal patterns and implications. **Environment and development Economics**, v. 11, n. 1, p. 41-60. 2006.

MIRANDA, R. S. O agronegócio da soja no Brasil: do estado ao capital privado. *Novos Rumos Sociológicos*, v. 1, n. 2, p. 122-141, jun. 2014.

MOTA, F. L. O rural e o urbano no cerrado sul-maranhense: Balsas enquanto cenário de reprodução das transformações socioespaciais no pós-1980. **Inter Espaço**, v. 3, n. 10, p. 138-157, dez. 2017.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. Introdução ao sensoriamento remoto. 1. ed. São José dos Campos, 2001.

OLIVEIRA, J. S. S. **Índices de Vegetação (NDVI, IVAS, IAF, NDWI) como subsídio à gestão do uso do solo na zona de amortecimento da reserva biológica de Saltinho Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geográficas) – Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2013. p. 92.

OLIVEIRA, P. S.; MANTOVANI, W.; BRAGA, L. A. Biodiversidade do Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 41, n. 1, p. 49-62, 2018.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. **Random Structures and Algorithms**, v. 18, n. 1, p. 83-89, jan. 2017.

PEDROSO, I. L. P. B.; SILVA, A. P. P. O papel das políticas públicas no desenvolvimento agroindustrial de Rio Verde – GO. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 6, n. 15, p. 20-27, jun. 2005.

PETTORELI, N. *et al.* Using the satellite derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 9, p. 503-510, set. 2005.

PLATAFORMA DE DADOS GEOGRÁFICOS. **Terrabrazilis**. Disponível em: <http://terrabrazilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 31 mar. 2023.

PONTIUS, R. G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 15, p. 4407-4429, 17 ago. 2011.

ROCHA, R. G. O caráter dialético da modernização agrícola brasileira e suas inserções nos gerais de Balsas – MA. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 29, n. 1, p. 73-86, jan. 2009.

RODRIGUES, A. A. *et al.* Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**, v. 28, n. 22, p. 6807–6822, 1 nov. 2022.

RODRIGUES, H. C. T. *et al.* NDVI e SAVI como ferramentas de monitoramento das modificações no uso e ocupação do solo no sudoeste paraense. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2022.

RODRIGUES, V. V. Conflitos socioespaciais entre os agricultores tradicionais e sojicultores no município de Balsas, Maranhão. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 4, p. 1196-1216, set. 2018.

ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 223-227, fev. 1986.

ROUSE, R. W. H.; HAAS, J. A. W.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Remote Sensing Center**, Texas, p. 309-917, 1974.

SANO, E. E.; DUARTE, L. A.; PONTES, F. A. Vegetação do Cerrado e suas características. **Journal of Brazilian Ecology**, v. 33, n. 1, p. 75-88, 2018.

SAVI INDEX. **GeoAgro**. Disponível em: <https://support.geoagro.com/en/kb/savi-index/>. Acesso em: 1 abr. 2023.

SECRETARIA DE INDÚSTRIA E COMÉRCIO DO MARANHÃO (SEINC). Distrito Agroindustrial de Balsas: Histórico e impactos econômicos. Relatório Anual, 2023.

SILVA, J. M. C.; BATES, J. W. Ecology and conservation of Cerrado. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 3, p. 273-290, 2002.

SILVA, L. L. O papel do Estado no processo de ocupação das áreas de Cerrado entre as décadas de 60 e 80. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 1, n. 2, p. 25-36, dez. 2000.

SMITH, A. B. et al. Modelos climáticos e o impacto na vegetação usando NDVI. **Climate Dynamics**, 2018.

TORRES, E. *et al.* Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-CE. p. 520–533. Curitiba, 2011.