UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CCA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE AGRONOMIA

MARCOS NABATE MENDES FERREIRA

ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) DOS MUNICÍPIOS DE BALSAS, SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS E TASSO FRAGOSO

SÃO LUÍS – MA

2024

MARCOS NABATE MENDES FERREIRA

ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) DOS MUNICÍPIOS DE BALSAS, SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS E TASSO FRAGOSO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Ronaldo Belém Fernandes

Co-orientador: Prof. Me. Jucivan Ribeiro Lopes

SÃO LUÍS – MA

2024

Ferreira, Marcos Nabate Mendes
Análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) dos municípios de Balsas, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso. / Marcos Nabate Mendes Ferreira. – São Luis, MA, 2024.
40 f

Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual do Maranhão, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Ronaldo Belém Fernandes

1.Commodities. 2.Monitoramento. 3.Sustentabilidade. I.Título

CDU: 574(812.1)

Elaborado por Cássia Diniz- CRB 13/910

MARCOS NABATE MENDES FERREIRA

ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) DOS MUNICÍPIOS DE BALSAS, SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS E TASSO FRAGOSO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 16 / 07 / 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof.. Dr. Francisco Ronaldo Belem Fernandes – **Orientador**
Engenharia Agrícola/CCA/UEMA

Prof. Dr. Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes
Engenharia Agrícola/CCA/UEMA

Prof. Dr. Raimundo Callixto Martins Rodrigues
Engenharia Agrícola/CCA/UEMA

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me concedido força e discernimento ao longo dessa jornada.

Agradeço aos meus pais Manoel Mendes Ferreira Filhos e Marileide Silva Nabate Ferreira.

Agradeço a minha parceira Flávia Myllena dos Santos Araújo que acompanhou de perto toda essa jornada.

Agradeço ao meu orientador Francisco Ronaldo Belem Fernandes, por toda dedicação e orientação passada para realizar esse trabalho.

Agradeço a todos os amigos que estiveram presentes por todos esses anos.

Agradeço a Universidade Estadual do Maranhão por todo aprendizado adquirido ao longo desses anos.

RESUMO

Nos dias atuais, o cenário agrícola vem sofrendo grandes transformações devido ao grande avanço tecnológico presente no campo. Um dilema vem estabelecendo-se devido à presença marcante da sustentabilidade para garantir a continuidade da produção de alimentos em um futuro a longo prazo. Contudo, diversas alternativas têm sido desenvolvidas para o monitoramento de áreas para minimizar a perda de vegetação e otimizar a plicação de recursos mantendo-se a área produtiva. O sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta bastante aplicada para observações de objetos na superfície terrestre que deseja estudar. Assim, o NDVI apresentou-se como um método matemático eficaz para a análise do uso e ocupação do solo analisando em uma série histórica as diferenças sofridas pela superfície terrestre e permitindo identificar a sanidade de plantas através da radiância auxiliando na tomada de decisão e aumentando a precisão de aplicação de recursos. Dessa forma, Analisar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada em uma série histórica entre 2000 à 2020 dos municípios de Balsas, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso. O estudo foi desenvolvido no laboratório do NUGEO (Núcleo Geoambiental) da universidade estadual do Maranhão. Inicialmente, foram baixadas as imagens do Landsat 5 e 8 com suas respectivas bandas refentes ao infravermelho e o vermelho pelo site do USGS em formato GEOTIF. Posteriormente, as imagens foram inseridas no software QGIS 3.28 para a correção atmosférica e em seguida serem calculadas pela fórmula do NDVI. Por fim, foram gerados para comprovação o índice Kappa fazendo uso de uma matriz de confusão para verificar os níveis de concordância dos pixels dos anos avaliados. Assim, observou-se que o município de Balsas e São Raimundo das Mangabeiras houve o aumento de corpos d'água entre os anos de 2000 a 2020, enquanto que em Tasso Fragoso houve uma redução dos corpos d'água em 4,42% devido a maior quantidade de bandas do Landsat 8 em realação ao Landsat 5. Já para solos expostos houve uma redução em decorrência do aumento na vegetação esparsa nos três municípios devido a implantação de técnicas como rotação de culturas e adubação contribuindo para a preservação dos campos agrícolas. Por fim, detectou-se o realçamento da vegetação densa para os três municípios no ano de 2020, embora em São Raimundo das Mangabeiras não foi possível detectar a vegetação densa nos anos de 2000 e 2010 necessitando a repetição do estudo com outros índices e com imagens com maior resolução. Dessa forma conclui-se que, o NDVI foi uma ferramenta eficaz para o monitoramento do uso e cobertura do solo em uma série histórica identificado as mudanças nos manejos dos campos agrícolas e recuperação da vegetação nativa contribuindo para a preservação das características químicas e físicas do solo e minimizando a perda de aptidão. It can therefore be concluded that NDVI was an effective tool for monitoring land use and land cover in a historical series, identifying changes in the management of agricultural fields and the recovery of native vegetation, contributing to the preservation of the soil's chemical and physical characteristics and minimizing the loss of suitability.

Palavra-chave: Commodities;Monitoramento;Sustentabilidade.

ABSTRACT

Nowadays, the agricultural scenario has undergone major transformations due to the great technological advances in the field. A dilemma has arisen due to the strong presence of sustainability in order to guarantee the continuity of food production in the long term. However, various alternatives have been developed for monitoring areas in order to minimize the loss of vegetation and optimize the use of resources while keeping the area productive. Remote sensing has become a widely used tool for observing objects on the earth's surface that you want to study. Thus, NDVI has been shown to be an effective mathematical method for analyzing land use and occupation, analyzing the differences suffered by the earth's surface in a historical series and making it possible to identify plant health through radiance, aiding decision-making and increasing the precision of resource application. To analyse the Normalized Difference Vegetation Index in a historical series between 2000 and 2020 in the municipalities of Balsas, São Raimundo das Mangabeiras and Tasso Fragoso. The study was carried out in the NUGEO (Geoenvironmental Center) laboratory at the State University of Maranhão. Initially, the Landsat 5 and 8 images with their respective infrared and red bands were downloaded from the USGS website in GEOTIF format. The images were then inserted into QGIS 3.28 software for atmospheric correction and then calculated using the NDVI formula. Finally, the Kappa index was generated using a confusion matrix to check the levels of agreement between the pixels from the years evaluated. Thus, it was observed that in the municipalities of Balsas and São Raimundo das Mangabeiras there was an increase in water bodies between the years 2000 and 2020, while in Tasso Fragoso there was a 4.42% reduction in water bodies due to the greater number of bands in Landsat 8 compared to Landsat 5. As for exposed soils, there was a reduction due to the increase in sparse vegetation in the three municipalities due to the implementation of techniques such as crop rotation and fertilization contributing to the preservation of agricultural fields. Finally, dense vegetation was detected in all three municipalities in 2020, although in São Raimundo das Mangabeiras it was not possible to detect dense vegetation in 2000 and 2010, necessitating a repeat study with other indices and higher resolution images.

Keyword:Commodities;Monitoring;Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Radiância recebida por um sensor de satélite…….18

Figura 2 Fluxograma metodológico...…..……...…...……...……...20

Figura 3 Mapas do município de Balsa dos anos 2000, 2010 e 2020…….....…….30

Figura 4 Mapa do município de São Raimundo das Mangabeiras dos anos 2000,2010 e 2020……..……...…..…….....……... 31

Figura 5 Mapa do município de Tasso Fragoso dos anos 2000, 2010 e 2020…..…… 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Informações sobre as bandas do Landsat 5 TM……...…. 21
Tabela 2 Informações sobre as bandas do Landsat 8 OLI/TIRS……...21
Tabela 3 Valores padronizados para o cálculo do NDVI…….. 23
Tabela 4 Valores de índice Kappa e suas concordâncias…….. 24
Tabela 5 Áreas correspondentes aos índices estudados dos municípios……...……... 29

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

APP	Área de Preservação Permanente
CBERS	Constelação de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MATOPIBA	Maranhão, Tocantis, Piauí e Pará
MSS	Multiespectral Scanner
ND	Números Digitais
NDVI	Normalized Diference Vegetation Index
OLI	Operational Land Image
REM	Radiação Eletromagnética
SCP	Semi-Automatic Classification Plugin
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mappe
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1.	**INTRODUÇÃO**.....	12
2.	**OBJETIVOS**.....	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivo específico.....	14
3	**REFERENCIAL TEÓRICO**.....	15
3.1	Desmatamento no Brasil e no Maranhão.....	15
3.2	Monitoramento Ambiental.....	15
3.3	Resolução Espectral.....	16
3.4	Principais Índices Utilizados Para Uso e Cobertura do Solo.....	18
3.5	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	19
4.	**PROCEDIMENTO METODOLÓGICOS**.....	20
4.1	Área de Estudo.....	20
4.2	Metodologia Desenvolvida.....	20
4.3	Seleção de Imagens.....	21
4.4	Correção Atmosférica	22
4.5	Cálculo de NDVI.....	23
5	**RESULTADOS E DISCUSSÃO**.....	25
6	**APÊNDICE**.....	33
6.1	Apêndice A - Dados do índice Kappa dos mapas de Balsas.....	33
6.2	Apêndice B – Dados do índice Kappa dos mapas de São Raimundo das Mangabeiras.....	34
6.3	Apêndice C– Dados do índice Kappa dos mapas de Tasso Fragoso.....	34
7	**CONCLUSÃO**.....	35
8	**REFERÊNCIAS**.....	36

1 INTRODUÇÃO

O estado do Maranhão possui uma área territorial de 329.651.496 km^2 (IBGE, 2022) com grandes riquezas naturais e uma diversidade de fauna, flora, uma boa disponibilidade hídrica e diferentes tipos de solos distribuído em seu território no qual encontram-se inserido dentro dos biomas Amazônico e Cerrado. Alguns municípios se destacam com grandes produções em algumas culturas soja, milho, arroz, algodão e cana-de-açúcar. O município de Balsas destaca-se como o maior produtor de milho do estado, já Tasso Fragoso ao lado de Balsas são destaques na produção de soja e algodão e São Raimundo das Mangabeiras como maior produtor de cana-de-açúcar (SAGRIMA-PAM IBGE, 2022).

Nos últimos anos tem-se falado muito sobre o MATOPIBA que consiste de centros do agronegócio dotada de alta tecnologia e alta produtividade que constitui partes do Maranhão, Piauí e Bahia e contempla todo o território do Tocantins (Ribeiro et al., 2023). O agronegócio é impulsionando pela grande demanda global, tomando como principal exemplo a soja sendo o produto mais exportado pelo Brasil. No Maranhão não é diferente, grandes regiões dentro do estado estão concentrando-se em campos de produção com soja, milho, algodão, cana-de-açúcar e arroz segundo dados da SAGRIMA-PAM/IBGE (2022). Concomitantemente a essas produções o crescimento da fronteira agrícola trouxe com ela diversos questionamentos quanto a preservação do meio ambiente já que o estado ainda possui áreas nativas de cerrado e a relação com esse bioma estaria sendo violada (Barros e Stege, 2019).

Nos dias atuais o mundo está trabalhando para a preservação do meio ambiente com o objetivo de controlar as alterações climáticas sabendo-se que este tem papel fundamental no desempenhos das culturas (Neto et al., 2022). O desmatamento é um dos efeitos para o agravante das mudanças climáticas com emissão de CO_2 potencializando assim o aumento de temperatura que interferem diretamente na dinâmica dos ecossistemas. A ação antrópica nas últimas décadas foi responsável pela alteração da composição da atmosfera com aumento das concentrações de gases como o metano (CH_4) e o Ozônio (O_3) que são considerados gases chaves para o balanço energético no planeta (Artaxo, 2020). Portanto, a permanência de áreas com vegetação primária ou secundária bem como o uso de fontes renováveis de energia contribuem para amenizar os efeitos do aquecimento global.

O monitoramento ambiental surgiu como uma tecnologia que permitiu o estudo a longo prazo quanto aos aspectos físicos das mudanças da cobertura do solo afim de entender a dinâmica da vegetação sob ação antrópica (Matarezi, 2024). Assim, o sensoriamento remoto tem sido uma ferramenta que vem contribuindo para visualização dos objetos da superfície terrestres afim de, conhecer as mudanças sejam elas da vegetação, corpos hídricos, áreas urbanas e campos agrícolas (Texeira et al., 2024).

Portanto, a medida que as imagens sofreram um aumento na resolução e a capacidade de mostrar com maiores detalhes os objetos da superfície, foram criados diversos modelos para analisar por meio da reflectância o comportamento da área de estudo (Godoy et al., 2023). A maioria dos índices de vegetação são compostos de duas bandas espectrais como por exemplo o NDVI que leva em consideração as bandas do infravermelho próximo e luz vermelha permitindo diferenciar as características da vegetação por meio da radiação eletromagnética (Carvalho et al., 2023).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar as mudanças do uso do solo por meio do NDVI em uma série histórica entre 2000 à 2020 dos municípios de Balsas-MA, São Raimundo das Mangabeiras-MA e Tasso Fragoso-MA.

2.2 Objetivos Específicos

a) Identificar os índices de vegetação ao longo da série histórica;

b) Analisar a mudança da vegetação;

c) Quantificar a extensão territorial dos índices identificados.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Desmatamento no Brasil e no Maranhão

O desmatamento no Brasil tem aumentado ao longo dos últimos anos devido a grande exploração de madeira e abertura de novos campos agrícolas para implantação das commodities (Fausto et al., 2023).

Além disso, outros fatores têm contribuído para o aumento de áreas desmatadas como o extrativismo vegetal sendo esse extremamente importante em país com florestas tropicais colocando em risco diversos tipos de vegetação (Leite et al., 2023) e também as queimadas por causas naturais ou por ação antrópica no qual têm se tornado cada vez mais frequentes e provocando impactos ambientais irreparáveis (Neto et al., 2023).

No Maranhão, os biomas Cerrado e Amazônico vem sofrendo com crescente desmatamento devido as queimadas e a atividade agrícola com valor estimado de 41,8% de 2019 para 2020 (INPE, 2021). Segundo o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM (2023) no Maranhão foi desmatado uma área de 37,5 mil hectares no mês de maio de 2023 correspondendo ao aumento de 71,3% em relação ao mesmo mês do ano de 2022.

Outro ponto foi analisado por Júnior et al. (2023) percebendo-se que o desflorestamento no Maranhão pode ser causado por incêndios oriundos de áreas de pastagens devido a falta de manejo adequado do fogo quando utilizado para limpeza do pasto podendo escapar para as florestas vizinhas e assim, evoluir para incêndios florestais.

3.2 Monitoramento Ambiental

No Brasil tem-se algumas leis voltadas para a preservação ambiental que devem ser aplicadas em imóveis rurais com intuito de resguardar o meio ambiente. Primeiramente tem-se a lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 (Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza) cujo o objetivo são a conservação de variedades de espécies biológicas e dos recursos genéticos, a preservação e restauração da diversidade de ecossistemas naturais e a promoção do desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais (Brasil, 2000).

Outras leis que possuem grande importância para a preservação ambiental são a lei nº 6.902 – 1981 (Área de Proteção Ambiental) cujo a sua diretriz consiste manter estações ecológicas e áreas de proteção ambiental (Brasil, 1981) e a lei 12.651 – 2012 (Novo Código Florestal Brasileiro) determinando responsabilidade do proprietário de ambientes protegidos

entre a áreas de preservação (APP) e a Reserva Legal (RL) a manter e preservar todos os ecossistemas (Brasil, 2012)

Através do monitoramento ambiental pode-se fazer diversos levantamentos e estimativas da real situação em que se encontra a vegetação em uma determinada região por meio de sensoriamento remoto sendo muito utilizado como suporte de grande relevância para áreas de preservação permanentes (APP). Além disso, segundo o USGS - United States Geological Survey (2020) pode-se monitorar outros aspectos referentes a questão ambiental como a degradação do solo e monitoramento de ambientes aquáticos cujo a capacidade de cobertura de grandes áreas em intervalos temporais regulares proporcionam maior entendimento do estado atual da área.

O Sensoriamento remoto consiste em uma ferramenta que através de algoritmos são capazes de fazer avaliações, além do monitoramento espaço temporal de áreas heterogêneas com grande precisão podendo avaliar a biomassa vegetal assim como, condições micrometeorológicas pela detecção de mudanças na superfície (Bezerra et al., 2020).

3.3 Resolução Espectral

As imagens são obtidas através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) no site do USGS que faz parte do Ministério do Interior dos Estados Unidos atuando como uma instituição de informações científicas sobre os ecossistemas, uso da terra, recursos energéticos e minerais, riscos naturais, uso e disponibilidade de água, além de mapas e imagens atualizados das características da Terra.

As imagens podem ser capturadas por meio de satélites graças a Radiação Eletromagnéticas (REM) que reflete em cada objetos com diferentes comprimentos de ondas (Steink et al., 2022). Segundo Oliveira e Souza (2020) os comprimentos de ondas podem variar desde 100 m (Ondas de rádios) até 0,0001 nm (Radiação gama) sendo uma parte da REM refletida na cor que visualizamos o objeto indicando as características biofísicas e químicas do material. A quantidade de radiação absorvida está diretamente ligada a quantidade da concentração foliar dos pigmentos fotossintéticos deduzindo-se que baixas concentrações de clorofilas podem reduzir a atividade fotossintética e consequentemente a produção primária (Fillela et al., 1995 apud Silva et al., 2020).

Atualmente temos disponibilidade de imagens de satélites como Landsat 9 sendo o mais atual desses modelos de satélites. Inicialmente foram chamados de Earth Resources

Technology Satellite (ERTS) com seu lançamento na década de 60 e sendo posteriormente alterado pela Agência Espacial Americana em 1975 para Landsat (Embrapa, 2020).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) utiliza do satélite Amazônia-1 para monitoramento e mapeamento da região amazônica complementando a Constelação de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS) e além de outros satélites internacionais (Silva et al., 2022).

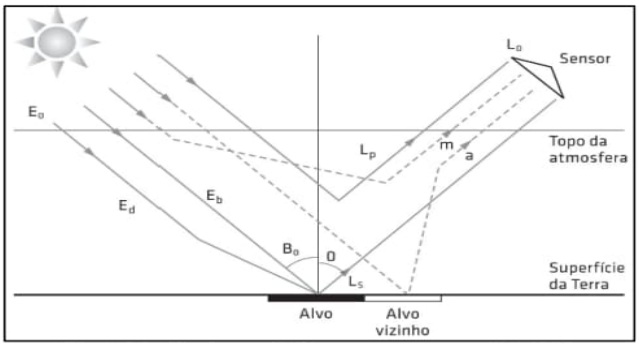
Segundo do USGS o landsat 5 foi lançado em março de 1984 na California – EUA carregado do instrumento Multiespectral Scanner (MSS) que continham 4 bandas espectrais, 6 dectores para cada banda espectral que fornecia 6 linhas de varredura em cada varredura ativa e com tamanho do pixel de 57m x 79m e carregava também o Thematic Mapper (TM) com 7 bandas espectrais, infravermelho de médio alcançe e tamanho do pixel de 30 m (Tabela 1). Já o Landsat 8 foi lançado 2013 carregando o Operational Land Image (OLI) com 9 bandas espectrais e com resolução de 30 metros e o Thermal Infrared Sensor (TIRS) com duas bandas espectrais e com 100 m de resolução tendo como objetivo medir o infravermelho próximo e o infravermelho de ondas curtas.

Os sensores OLI e TM são comumente utilizados em estudos para análise do uso e ocupação do solo, estudos de bacias e níveis de degradação do solo. De acordo com Yin et al. (2021) estudaram as alterações da claridade da água no Lago Taihu na China ao longo de 36 anos com base em observações Landsat TM e OLI com objetivo de monitorar a mudança da vegetação ao longo de uma série histórica entre 1995 a 2015.

Outo estudo feito por Tariq et al. (2023) no qual observou com imagens do sensor TM do Landsat 5 e o sensor OLI do Landsat 8 uma área na província paquistanesa de Khyber Pakhtun Khwa com objetivo monitorar a alteração da área florestal através da utilização de imagens de satélite concluindo-se que as estratégias de integração que utilizam imagens do Landsat são capazes de distinguir entre regiões florestais e não florestais com grande exatidão.

A atmosfera está cheia gases em sua composição como CO_2, O_2, vapor de água e entre outros que causam distorções que são capturadas pelos sensores (Miranda et al., 2019). Assim, a correção atmosférica se faz necessário para que possa minimizar os efeitos de difusão da luz solar pela atmosfera (Figura 1) reduzindo o efeito na faixa de números digitais (ND) possíveis de serem registrados pelo sensor (Krizek e Santos, 2021).

Figura 1 – Radiância recebida por um sensor de satélite.



Fonte: Costa et al. (2023).

E_o – radiência proveniente do Sol no topo da atmosfera;

D – distância média entre a Terra e o Sol;

Θ_o – ângulo zenital solar;

L_o – radiância recebida pelo sensor.

3.4 Principais Índices Utilizados Para Uso e Cobertura do Solo

Diversos índices podem ser usados para determinar o uso e ocupação do solo por meio de operações algébricas entre valores de reflectância envolvendo duas ou mais faixas espectrais (Pereira et al., 2020).

Primeiramente o SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) procura estudar a cobertura vegetal e tem sido considerado como um dos instrumentos mais usados para esse tipo de avaliação com ênfase em análise dos efeitos do solo exposto nas imagens (Santos et al., 2022).

Em seguida, tem-se o EVI (índice de Vegetação Melhorado) também possui a função de monitorar o comportamento e a sanidade dos diversos tipos de vegetação assim como, determinar eficiência fotossintética e potencial produtivo, auxiliar no desmatamento e prever riscos de incêndios florestais possuindo maior sensibilidade do que o NDVI com a redução das influências atmosférica (Januário et al., 2022). Porém, o índice quando usado com imagens de alta resolução sofrem com problemas de definição de pixel indicando um determinado objeto com menor extatidão (Neto e Danelichen, 2022).

Assim, O NDVI tornou-se amplamente utilizado pelo fato de permitir o cancelamento de ruídos causados por mudanças de ângulo, nuvens, condições atmosférica e

topografia sem atenuar os efeitos de fundo e permitindo a análise em qualquer resolução (Januário et al., 2022).

3.5 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Em virtude disso o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) tornou-se umas das técnicas mais usadas atualmente para monitoramento da cobertura do solo principalmente em países com grande extensão territorial como o Brasil. Segundo Rouse et al (1973) o NDVI permite detectarmos e caracterizarmos a vegetação assim como alterações em um espectro temporal. A técnica permite também a redução da distorção atmosférica em imagens multiespectrais eliminando as diferenças sazonais do ângulo de elevação solar (Mota et al., 2020).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

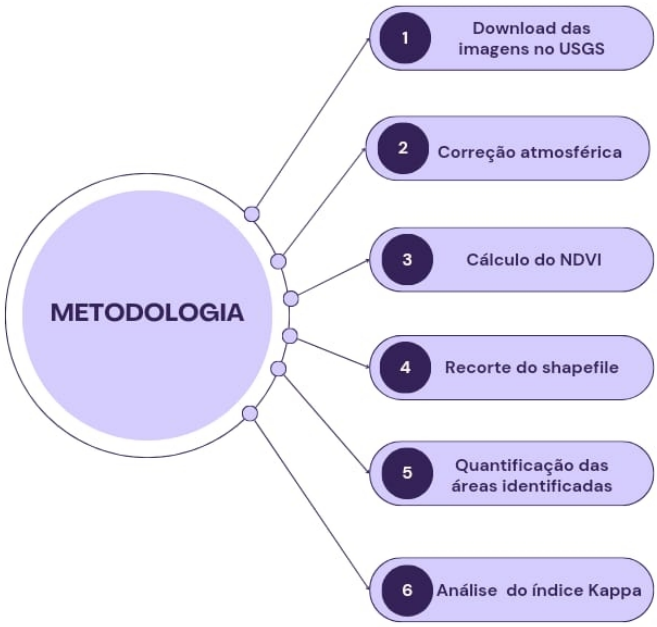
4.1 Área de Estudo

A área de estudo consiste dos limites municipais de Balsas, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso que compreende a região sul do estado que somados possuem uma área territorial de 8.518.311,431 km^2 (IBGE, 2022). Estão localizado na latitude: 7º 31' 59'' Sul, longitude: 46º 2' 6'' Oeste; latitude: 7º 1' 20'' Sul, longitude: 45º 28' 53'' Oeste; latitude: 8º 28' 5'' Sul, longitude: 45º 45' 26'' Oeste respectivamente. O clima em geral do estado é classificado como Tropical Zonal Equatorial Quente e semiúmido (IBGE, 2022) com 4 a 5 meses de estiagem sendo que na região sul períodos chuvosos variam entre 1000 mm à 1500 mm (Rufino et al., 2024) por ano com umidade relativa do ar variando de 80% a 84% e temperatura média anual de 23,5º C a 26,5º C (IBGE, 2022).

4.2 Metodologia Desenvolvida

Para o desenvolvimento do trabalho, consistiu na obtenção de imagens pelo site do USGS dentro da série histórica a serem analisadas de acordo com os municípios estudados (Figura 2). A seguir, tem-se o fluxograma da metodologia a ser seguida.

Figura 2 – Fluxograma metodológico



Fonte: Autor (2024).

4.3 Seleção de Imagens

Primeiramente, para alcançar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi necessário a obtenção de imagens do Landsat colletion 2 level-2 pelo site do Earth Explorer USGS da NASA sendo baixada as imagens do Landsat 5 TM referentes as datas 09/07/2000 e 05/07/2010 e Landsat 8 OLI referente a data 16/07/2020 das bandas marcadas na tabela 1 e tabela 2.

Foi determinado como base para a escolha das imagens as condições climáticas da região uma vez que, tem-se identificado o aumento do desmatamento no Maranhão durante o período de estiagem segundo o IPAM (2023). Portanto, as maiores evidências das mudanças do uso e ocupação do solo no sul do Maranhão foram analisadas na época de estiagem da região sul do estado, que compreendem os meses de maio a outubro (Marques et al., 2022).

Tabela 1 – Informações sobre as bandas do Landsat 5 TM.

Banda	Espectro	Abreviatura	Comprimento de onda em m	Resolução (m)
1	Azul	BLUE	0,45-0,52	30
2	Verde	GREEN	0,52-0,60	30
3	**Vermelho**	**RED**	**0,63-0,69**	**30**
4	**Infravermelho Próximo 1**	**INFRARED 1**	**0,76-0,90**	**30**
5	Infravermelho Próximo 2	INFRARED 2	1,55-1,75	30
6	Térmica	THERMAL	10,40-12,50	120
7	Infravermelho médio	MID-INFRARED	2,08-2,35	30

Fonte: USGS (2020).

Tabela 2 – Informações sobre as bandas do Landsat 8 OLI/TIRS.

Banda	Espectro	Abreviatura	Comprimento de onda em m	Resolução (m)
2	Azul	BLUE	0,45-0,51	30
3	Verde	GREEN	0,53-0,59	30
4	**Vermelho**	**RED**	**0,64-0,67**	**30**
5	**Infravermelho próximo**	**NIR**	**0,85-0,88**	**30**
6	Infravermelho de ondas curtas 1	SWIR 1	1,57-1,65	30
7	Infravermelho de ondas curtas 2	SWIR 2	2,11-2,29	30
8	Panchromatic	PAN	0,50-0,68	15
9	Cirrus	-	1,36-1,38	30

Fonte: USGS (2020).

As imagens obtidas do Landsat 5 correspodem as bandas 3 e 4 no formato Geotiff com resolução de 30 m, já as imagens obtidas do Landsat 8 correspondem as bandas 4 e 5 também no formato Geotiff com resolução de 30 m, ambos possuindo 16 bits de resolução radiométrica, sendo assim composto por 65.536 tons de cinzas que representam a intensidade de energia eletromagnética refletida para o sensor de uma determinada área da superfície correspondendo ao tamanho do pixel.

4.4 Correção Atmosférica

foram baixados os coeficientes rediométricos fornecidos nos metadados do arquivo MTL e processados no ambiente do QGIS usando a equação 1 para converter o ND (número digital) das bandas 3 e 4 em randiância espectral em seguida usando a equação 2 para a conversão em reflectância para o Landsat 5. Já para o landsat 8 será usado a ferramenta SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) que permitiu o pré processamento assim como o pós processamento de alguns satélites (Dutra e Elmiro, 2020). Portanto, os dados ND foram convertidos para os valores de reflectância de superfície durante o processamento de correção atmosférica.

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \qquad (1)$$

$L_{\lambda i}$ - Radiância espectral de cada banda;
a_i - Radiância mínima;
b_i - Radiância máxima;
ND - Número Digital.

$$P_{\lambda i} = \frac{\pi . L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} . \cos Z . d_r} \qquad (2)$$

$\rho_{\lambda i}$ – Reflectãncia monocromática de cada banda;
$L_{\lambda i}$ - Radiância espectral;
$K_{\lambda i}$ – Irradiância solar espectral no topo da atmosfera;
cosZ – Ângulo zanital;
ND - Número Digital;
d_r - Distância entre a Terra e o Sol.

Em seguida, o arquivo vetorial em formato shapefile MUNICÍPIOS 2022 foi adquirido no site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) com informações sobre a delimitação dos municípios em formato Zip. Posteriormente, foi necessário selecionar a camada vetorial referente ao município pelo QGIS para que os mapas gerados respeitassem as delimitações distritais ajustando as coordenadas para UTM Zona 23 Sul, Datum Sirgas 2000 (Nascimento et al., 2020).

4.5 Cálculo de NDVI

A posteriori, com a finalização da correção atmosférica e o download do arquivo vetorial shapefile, deu-se início aos cálculos de NDVI por meio da equação 3 no qual correlaciona a luz vermelha visível com o infravermelho próximo refletido pelos objetos na superfície por meio de assinaturas de reflectância (Zebalos et al., 2022).

$$\mathbf{NDVI} = \frac{\mathbf{(NIR - RED)}}{\mathbf{(NIR + RED)}} \qquad \mathbf{(3)}$$

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;
NIR – Infravermelho Próximo (Banda 4 no landsat 5 e banda 5 no Landsat 8);
RED – Luz Vermelha (Banda 3 no Landsat 5 e banda 4 no Landsat 8).

Esta fórmula foi usada na calculadora raster do software QGIS para obtenção de valores que varia de -1 a 1 nos quais valores que estão mais próximo de 1 representam áreas com maior vegetação enquanto, valores mais próximos de 0 representam solo exposto e próximos de -1 corpos d'água. Os intervalos da tabela 3 foram estabelecidos para fins comparativos ao longo da série temporal (Barros et al., 2020).

Tabela 3 – Valores padronizados para o cálculo do NDVI.

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	Caracterização
-1,0 a 0	Corpos d'água, área edificada
0 a 0,30	Solo exposto
0,31 a 0,70	Vegetação esparsa
0,71 a 1,0	Vegetação mais densa

Fonte: Barros et al. (2020).

Por fim, foram gerados os mapas com o valores definidos na tabela 3 para análise de uso e ocupação do solo aplicando-se a composição de cores para identificar os diferentes estados de conservação e uso do solo (Ventura et al., 2019).

Para a verificação de concordância dos mapas gerados por meio de validação estatística e confiabilidade dos dados utilizou-se o índice Kappa em que consiste de uma técnica discreta e multivariada que utiliza em seu cálculo todos os elementos de uma matriz de confusão (Silva e Silva, 2021).

Foi utilizado como referência o sensor TM do Landsat 5 para verificar o nível de concordância dos pixels com o sensor OLI do landsat 8 buscando a validação entre os sensores. Segundo os autores Lendis e Koch (1977) os valores do índice Kappa possuem graus de concordância variando de 0 a 1, entendendo-se que quanto mais próximo de 1 maior a concordância dos pontos gerados pelo software (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores de índice Kappa e suas concordâncias.

Índice Kappa	**Concordância**
<0	Sem concordância
0,00 a 0,19	Pobre
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,59	Moderada
0,60 a 0,79	Forte
0,80 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, obteve-se o índice kappa do município de Balsas com o valor de 0,66 (Apêndice A) representando uma concordância forte entre os mapas de 2000 e 2020 garantindo uma comprovação estatística dos dados processados sendo o MAP1 reference (Mapa do ano 2000) e MAP2 classification (Mapa do ano 2020) com 12.771.629 pixels analisados e obtendo-se a "Observed Correct" de 85,4%.

Em seguida foi analisado o município de São Raimundo das Mangabeiras no qual obteve-se uma acurácia do índice Kappa de 0,61 (Apêndice B) entre o ano 2000 e 2020 indicando uma forte concordância entre os pixels classificados nas imagens sendo o MAP1 reference (Mapa do ano 2000) e o MAP2 classification (Mapa do ano 2020) com 3.327.941 pixels analisados e obtendo-se uma "Observed Correct" de 80,6%.

Depois foi analisado o município de Tasso Fragoso cujo a acurácia entre os mapas 2000 e 2020 obteve-se o valor de índice Kappa 1,0 (Apêndice C) indicando uma concordância excelente entre os pixels classificados de acordo com cada classe do NDVI. De acordo com a figura 7, tem o MAP1 reference (Mapa do ano de 2000) e MAP2 classification (Mapa do ano de 2020) com 43.667.406 pixels analisados e obtendo-se o "Observed Correct" de 100%.

Segundo o ilustrado na Tabela 5, houve nas áreas de corpos d'água dos municípios de Balsas e Tasso Fragoso uma pequena redução entre os anos de 2000 e 2010, enquanto que em São Raimundo das Mangabeiras não houve alteração sendo umas das possíveis causas dessa redução, o fenômeno do El Niño registrado no ano de 2010 segundo o INPE (2019) classificado como moderado. Esse resultado corrobora com Nascimento et al. (2017) que detectaram o índice de pluviosidade do estado do Maranhão entre os anos 1987 a 2015 com valores menores que 1,5 SCI (Standardized Precipitation Index) para os meses de fevereiro a maio de 2010 classificando-os como secas severas ou extremas.

Porém, detectou-se um aumento no ano de 2020 nos três municípios mesmo com o El Niño registrado em 2019, devido a maior quantidade de bandas disponíveis do sensor OLI identificando pixels com áreas alagadas onde não era possível identificar com o sensor TM.

Outro ponto de destaque foram as áreas de solo exposto, que no município de Balsas, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso foram detectadas as maiores áreas no ano 2000 devido ao tipo de manejo até os dias atuais são empregados com queimadas principalmente da agricultura itinerante praticada por partes dos agricultores para implantação

de campos agrícolas e pastagem. Esse resultado corrobora com o que foi mencionado por Rodrigues et al. (2020) que estudou os focos de queimadas em São Raimundo das Mangabeiras entre os anos de 2018 e 2019 constatando que nos meses de estiagem que correspondem de maio a outubro são os que mais sofrem com queimadas resultante da ação antrópica.

Quando comparado os anos de 2000 a 2020, constatou-se que as áreas de solos expostos de Balsas reduziram 72,96%, enquanto que as áreas de São Raimundo das Mangabeiras reduziu 89,47% e em Tasso Fragoso reduziu 35,7%. Isso se deve a implantação da rotação de cultura nos campos agrícolas no qual, haverá sobre o solo uma cobertura gerada pela biomassa reduzindo assim a perda de fertilidade e minimizando os riscos de erosão. Esse resultado vai de encontro com o exposto por Sousa et al. (2024) que estudaram os benefícios da rotação de cultura no sistema de plantio direto que faz uso dos restos culturais para a conservação do solo reduzindo a incidência de radiação solar ajudando na manutenção da temperatura e na erosão laminar juntamento com o fluxo de fertilizantes e agrotóxicos para os mananciais.

Foi possível também identificar um pequeno aumento na quantidade de área de vegetação esparsa entre os anos 2000 e 2010 para o município de Balsas, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso continuando em uma crescente entre os anos de 2010 a 2020 para os três municípios. Portanto, a comparação entre os anos de 2000 e 2020, representou um aumento para Balsas de 60,38%, para São Raimundo das Mangabeiras de 62,19% e para Tasso Fragoso de 44,72%. Isso representa áreas com atividade fotossintética ativa devido ao uso de culturas na entressafra pelo fato dos municípios estarem caracterizado com uma produção agrícola baseado nas commodities obrigando os produtores a fazerem uso de técnicas como rotação de cultura, plantio direto, consórcio e adubação verde para manter a área produtiva aliado ao retorno financeiro e manutenção da produção agrícola em uma mesma área.

Esse resultado vai de encontro ao que foi relatado por Sampaio et al. (2021) que identificaram os valores de NDVI entre 0,508 a 0,596 para soja identificando-se a área como atividade fotossintética ativa. Corroborando também com Oliveira et al. (2022) que estudaram o avanço da nova fronteira agrícola na microrregião de Imperatriz-MA no estado do Maranhão e constataram que a agricultura familiar possuía maior quantidade de estabelecimento nos municípios de São Francisco do Brejão e João Lisboa com 74% e 64%

respectivamente, enquanto que a mesma agricultura familiar não detinham as maiores porções de terras indicando uma concentração nas mãos dos grandes produtores.

Por fim, a classe de vegetação densa no ano 2000 para os três municípios não se alteraram no qual em São Raimundo das Mangabeiras não houve detecção da classe devido a menor precisão do sensor TM com bandas mais largas em relação ao sensor OLI com bandas mais estreitas, incluindo a vegetação densa dentro da classe de vegetação esparsa. Faz-se necessário a repetição do estudo utilizando outro índice de vegetação com maior resolução e capacidade de diferenciar a cobertura do solo para se obter o maior detalhamento da superfície e diferenciação da vegetação.

Já para o ano de 2020, houve o aumento de mais de 100% para os municípios de Balsas e Tasso Fragoso da classe de vegetação densa devido aos sensores do Landsat 8 possui 9 bandas espectrais capturando dados com precisão radiométrica aprimorada enquanto que o Landsat 5 comportam 7 bandas espectrais justificando o aumento detectado pelo software.

Tabela 5 - Áreas correspondentes aos índices estudados dos municípios.

Classes do NDVI	Área em Km^2			Comparação entre 2000-2020
	2000	2010	2020	
Balsas				
Corpos d'água	0,1440	0,0340	3,0860	+100%
Solo exposto	7542,3970	7381,4290	2041,7460	-72,96%
Vegetação esparsa	5598,6200	5759,6980	9271,7560	60,38%
Vegetação densa	0,0010	0,0010	1824,5740	+100%
São Raimundo das Mangabeiras				
Corpos d'água	0,0018	0,0018	0,4833	+100%
Solo exposto	1583,3367	1426,9266	166,7367	-89,47%
Vegetação esparsa	1672,4412	1799,0874	2689,1109	62,19%
Vegetação densa	-	-	585,7839	-
Tasso Fragoso				
Corpos d'água	2,6987	0,0189	2,5794	-4,42%
Solo exposto	3290,6450	2115,9784	1932,6856	-35,7%
Vegetação esparsa	1020,6965	1220,2308	1846,2005	44,72%
Vegetação densa	0,0027	0,0027	602,9766	+100%

Fonte: Autor (2024).

Observando-se o mapa dos três municípios do ano 2000, não foi possível identificar muitas alterações dos índices estudados quando comparado com o ano 2010. No entanto, para ano de 2020 pode-se observar uma menor presença de áreas de solo exposto possuindo uma relação direta com a vegetação dos campos agrícolas e regeneração da vegetação nativa que promovem a cobertura do solo resultando em uma maior percepção da classe de vegetação esparsa ao longo de todo o território dos municípios. Porém, são perceptíveis áreas com contornos geométricos indicando campos de cultivo agrícola sendo classificadas como solo exposto devido a pouca atividade fotossintética, já que a colheita da segunda safra de milho acontece entre os meses de maio a agosto no cerrado maranhense (Grespan et al., 2023).

Foi possível também identificar áreas com solo exposto podendo ser resultado de ações naturais devido a redução das chuvas ou por ação de agricultores familiares com a prática da roça no toco. Como foi constatado por Silva et al. (2023) que identificaram mudanças na vegetação no período chuvoso com valor de NDVI de 0,8689 para o dia 17 de Janeiro de 2013 e no período seco com valor de NDVI de 0,2554 para o dia 28 de Julho que coincidiu com a queda de precipitação na região.

Outro resultado paralelo a esse, foi relatado por Penha et al. (2023) no qual detectaram que as culturas temporárias representaram 24% de toda a área de Balsas sendo a segunda maior classe identificada a partir de imagens obtidas do MapBiomas do satélite Sentinel-2 do ano de 2021, chegando a esse resultado devido ao modelo econômico do município está pautado nas commodities agrícolas sendo esse setor responsável por 28,5% do PIB municipal.

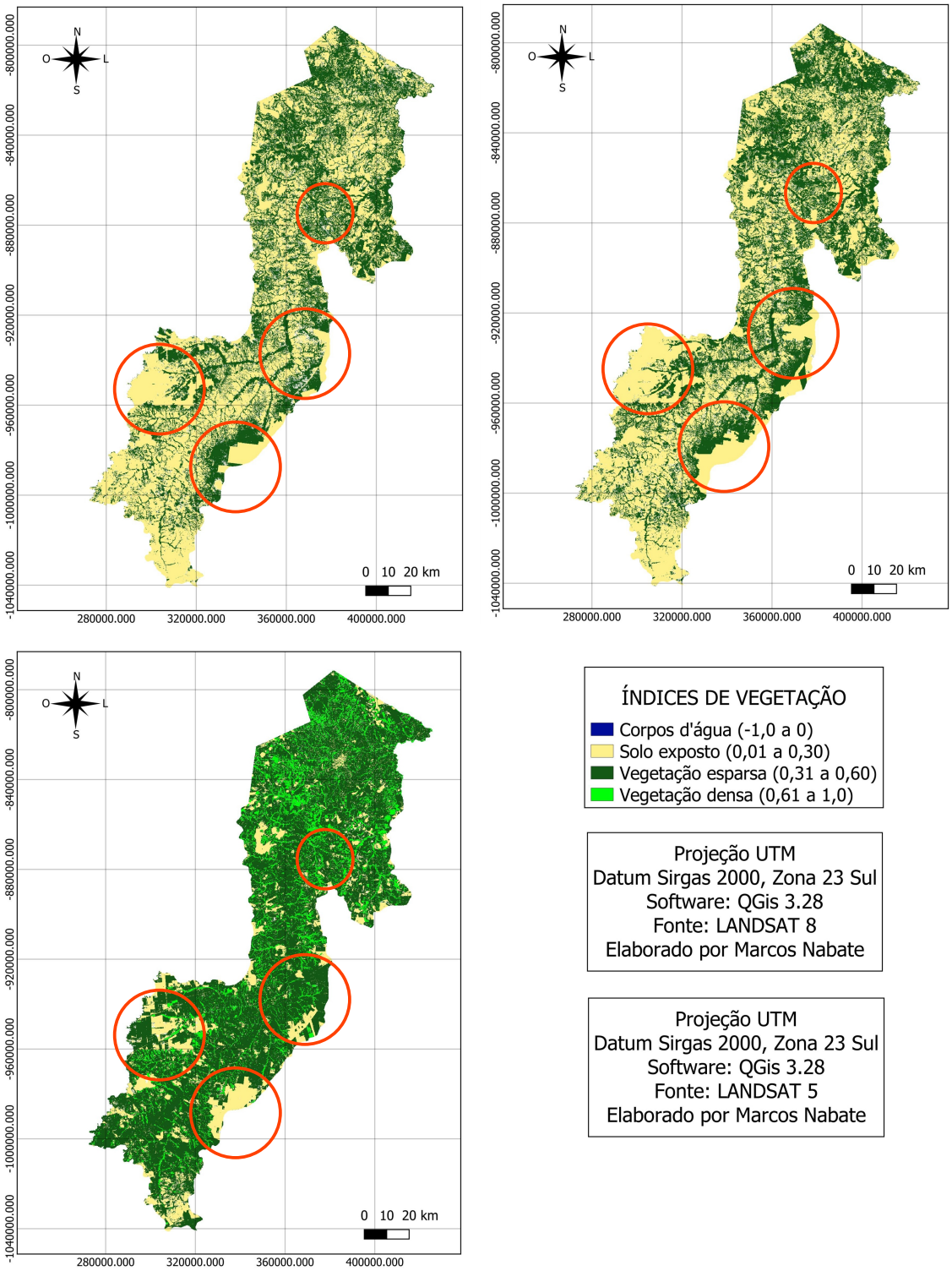
Foram detectadas algumas áreas de pivô central nos mapas de 2020 sendo classificadas como vegetação densa devido ao estádio vegetativo da cultura com o máximo desenvolvimento foliar como foi constatado por Estevam et al. (2023) que verificaram o NDVI de acordo com estádio fenológicos da soja, relatando que os maiores valores foram encontrados no estádio R7 quando a planta possuí maior altura e maior índice foliar representando o valor de NDVI de 0,8. Também é válido ressaltar que, foi detectado pelo software áreas que claramente são usadas como lavoura, sendo classificadas como solo exposto devido a época de colheita na entressafra deixando o solo desnudo.

Assim, torna-se perceptível que nos mapas do ano de 2020 dos três municípios que houve maior detecção do software na classe de vegetação densa sendo esta mudança explicada devido ao telescópio do Landsat 8 ser composto por 4 espelhos e apresentar duas

bandas espectrais estreitas a mais do que o Landsat 5 que possuía uma banda espectral mais larga. Esse resultado corrobora com o exposto por Neves e Mucida (2020) no qual analisaram o NDVI com três satélites sendo o Landsat, o CBERS e Rapideye em uma sub-bacia hidrográfica entre os municípios de Goveia e Datas em Minas Gerais e perceberam que a comparação dos resultados do NDVI do Landsat 8 com Rapideye indicam poucas similaridade entre os mesmos devido a diferenças entre os tamanhos das bandas espectrais.

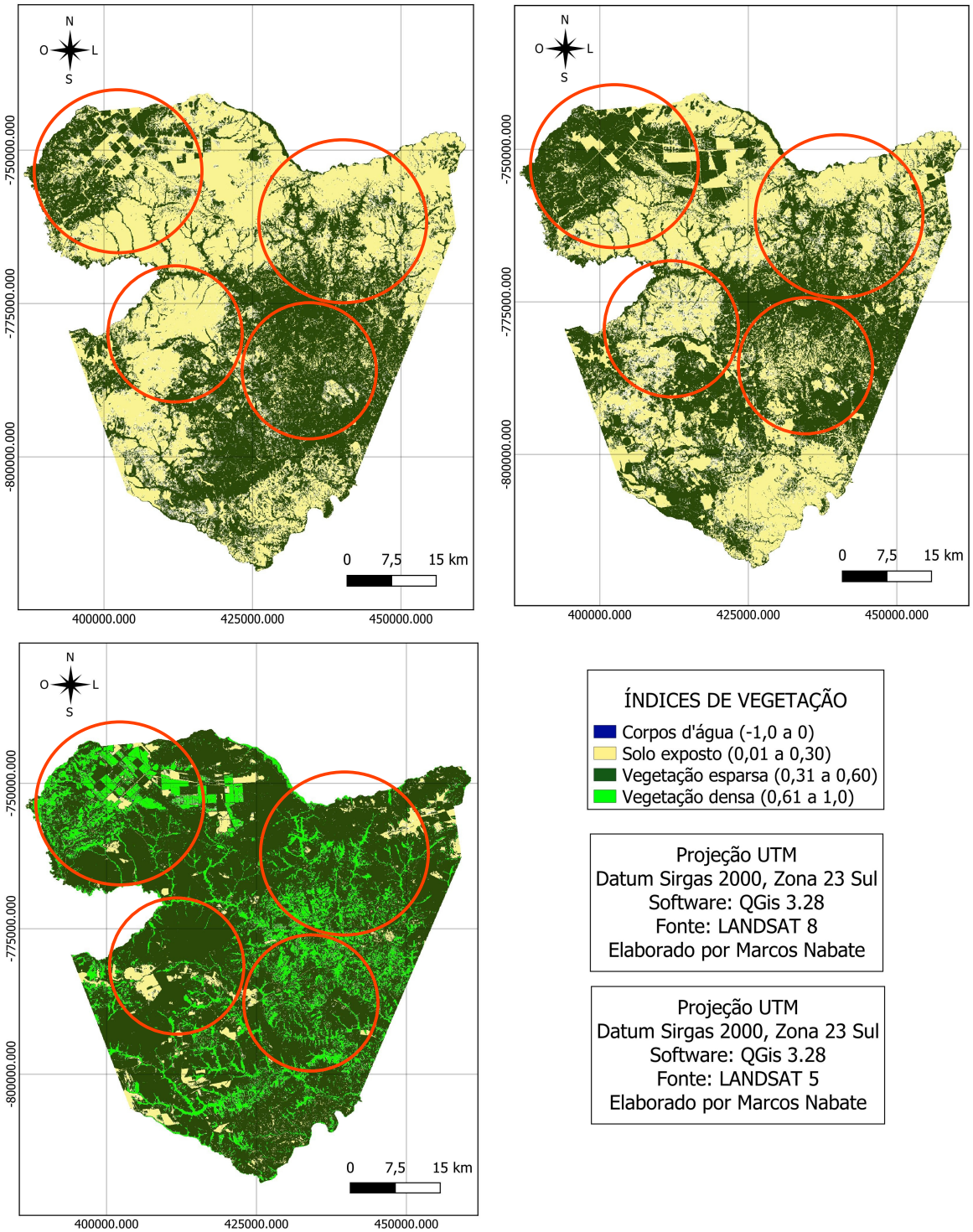
Outro estudo feito por Rigoldi et al. (2020), analisaram o NDVI no município de Sarandi-PR com imagens do Landsat 5 e Landsat 8 entre os anos de 2008 e 2018 e constaram que, a paleta de cores usadas para identificar áreas com vegetação sofreu aumento de intensidade deixando de ser verde claro em 2008 e passando a presentar a cor verde escuro em 2018.

Figura 3 - Mapas do município de Balsas nos anos 2000, 2010 e 2020.



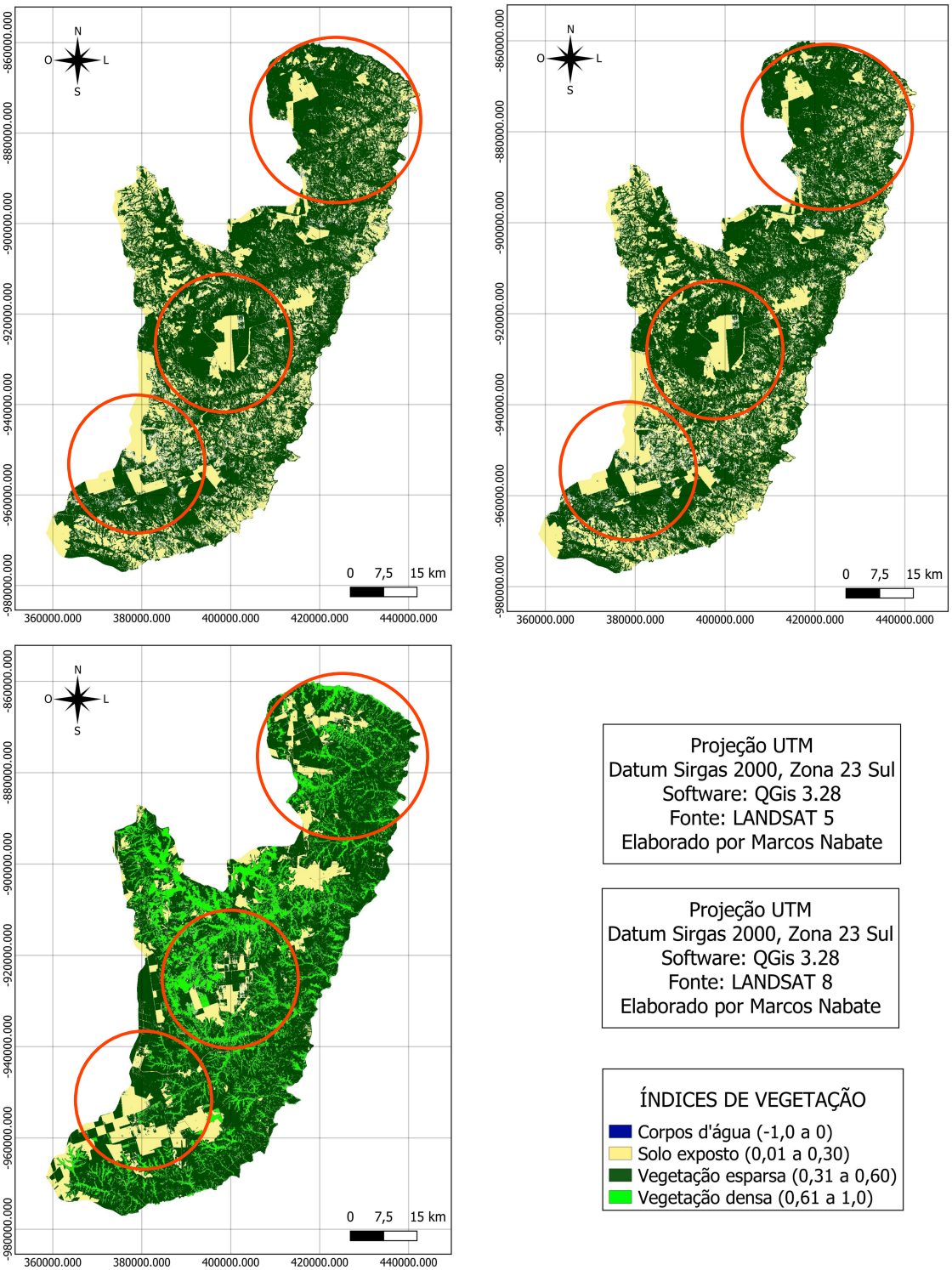
Fonte: Autor (2024).

Figura 4 - Mapa do município de São Raimundo das Mangabeiras dos anos 2000,2010 e 2020.



Fonte: Autor (2024).

Figura 5- Mapa do município de São Raimundo das Mangabeiras dos anos 2000,2010 e 2020.



Fonte: Autor (2024).

6 APÊNDICE

Apêndice A - Dados do índice Kappa dos mapas de Balsas.

```
                 ACCURACY ASSESSMENT
LOCATION: temp_location                      Fri Mar 01 21:18:26 2024
MASK: none
MAPS: MAP1 = (untitled) (rast_65e27047763b15 in PERMANENT)
      MAP2 = (untitled) (rast_65e2704775fcf4 in PERMANENT)

Error Matrix (MAP1: reference, MAP2: classification)
Panel #1 of 1
                   MAP1
     cat#  1     2     3     4
 M     1   10    125   24    0
 A     2   21    5762521     982766     1
 P     3   6     1129864     4896290    0
 2     4   0     0     1     0
Col Sum          37    6892510    5879081    1

cat#  Row Sum
r     1        10         125          24           0        159
a     2        21     5762521      982766           1    6745627
s     3         6     1129864     4896290           0   19517255
t     4         0           0           1           0   32288884
 58551925

Cats  % Commission     % Omission Estimated Kappa
1     93.710692  72.972973  0.062890
2     14.569948  16.394448  0.683487
3     18.749419  16.716745  0.652580
4     100.000000 100.000000 -0.000000

Kappa       Kappa Variance   MCC
0.667661    0.000000    NA

Obs Correct Total Obs  % Observed Correct
10658821         12771629         83.457020
```

Fonte: Autor (2024).

Apêndice B – Dados do índice Kappa dos mapas de São Raimundo das Mangabeiras

```
                ACCURACY ASSESSMENT
LOCATION: temp_location                     Fri Mar 15 17:14:43 2024
MASK: none
MAPS: MAP1 = (untitled) (rast_65f4ac2bdbc8b5 in PERMANENT)
      MAP2 = (untitled) (rast_65f4ac2bdb4df4 in PERMANENT)

Error Matrix (MAP1: reference, MAP2: classification)
Panel #1 of 1
                   MAP1
     cat#   1     2     3     Row Sum
 M     1    0     2     0     2
 A     2    0     1205358     355963     1561321
 P     3    2     287382      1479234    1766618
Col Sum           2     1492742     1835197     3327941


Cats  % Commission     % Omission Estimated Kappa
1     100.000000 100.000000 -0.000001
2     22.798835  19.252088  0.586567
3     16.267467  19.396446  0.637331

Kappa       Kappa Variance   MCC
0.610896    0.000000    NA

Obs Correct Total Obs   % Observed Correct
2684592           3327941          80.668257
```

Fonte: Autor (2024).

Apêndice C– Dados do índice Kappa dos mapas de Tasso Fragoso.

```
                ACCURACY ASSESSMENT
LOCATION: temp_location                     Sat Mar 02 20:56:59 2024
MASK: none
MAPS: MAP1 = (untitled) (rast_65e3bcc0bcf4015 in PERMANENT)
      MAP2 = (untitled) (rast_65e3bcc0bcb5a14 in PERMANENT)

Error Matrix (MAP1: reference, MAP2: classification)
Panel #1 of 1
                   MAP1
     cat#   0     1     Row Sum
 M     0    43661268    0     43661268
 A     1    0     6138  6138
Col Sum           43661268    6138  43667406


Cats  % Commission     % Omission Estimated Kappa
0     0.000000    0.000000    1.000000
1     0.000000    0.000000    1.000000

Kappa       Kappa Variance   MCC
1.000000    0.000000    1.000000

Obs Correct Total Obs   % Observed Correct
43667406          43667406         100.000000
```

Fonte: Autor (2024).

6 CONCLUSÃO

Dessa forma, pode-se concluir que o NDVI contribuiu para o entendimento do uso e ocupação do solo ao longo da série histórica de forma que, desempenham o papel como auxiliadores na tomada de decisões para promoção de políticas públicas em prol da sustentabilidade dos sistemas de produções agrícolas.

Além disso, a análise do NDVI para os municípios de Balsas, São Raimundo das Mangabeiras e Tasso Fragoso detectou ao longo da série histórica o aumento da biomassa sob o solo devido a disseminação das práticas de plantio direto, rotação de cultura e adubação verde. Isso demonstra a preocupação dos agricultores com a conservação do solo e preservação das características químicas e físicas reduzindo os custos com insumos agrícolas, promovendo o reestabelecimento da vegetação nativa e os efeitos que reduzem a aptidão do solo.

7 REFERÊNCIAS

ARTAXO, P. et al. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos Avançados,** v. 34, 2020.

BARROS, A. S.; FARIAS, L. M. de, MARINHO, J. L. A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, 2020.

BARROS, P. H. B.; STEGE, A. L. Deforestation and human development in the Brazilian agricultural frontier: an environmental kuznets curve for MATOPIBA , **Revista ABER**, v. 13, n. 2, 2019.

BEZERRA, Alan Cézar et al. Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 13, n. 1, 2020.

BRASIL. lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos.** Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981. Criação de Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental. **Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Brasília, DF, 1981.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. **Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Brasília, DF, 2000.

COSTA, M. V. de Q. S. A.; DAMIÃO, A. J.; CASTRO, R. M. Estudo de métodos de calibração radiométrica de sensores ópticos orbitais. *In*: Simpósio de Aplicações Operacionais em Área de Defesa, 25., 2023, São José dos Campos. **Anais** […]. São Paulo: SIGE-ITA, 2023. p. 185-190. Disponível em: https://www.sige.ita.br/edicoes-anteriores/2023/st/235420_1.pdf. Acesso em: 11 out. 2023.

DUTRA, D. J.; ELMIRO, M. A. T. Avaliação de índices espectrais obtidos com imagens Sentinel 2 e Landsat 8 antes e após rompimento da barragem da Mina do Feijão,Brumadinho–MG. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 39, n. 2, 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellit**. Campinas: EMBRAPA, 2020.

FAUSTO, D. S. et al. Desmatamento: causas, consequências e medidas preventivas. **Revista Reiva**. v. 6, n. 3, 2023.

GODOY, T. G. et al. Análise espaço-temporal da Mata Atlântica na subprefeitura de Parelheiros por meio do índice vegetativo EVI (Índice de Vegetação Melhorado). **Terrae Didat**, v. 19, 2023.

GRESPAN, D. S. et al. Correlações e Análise de Trilha em Caracteres Agronômicos de Híbridos de Milho Segunda Safra Cultivados em Balsas-MA. **Ensaios e Ciências**, v. 27, n. 1, 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geogáfia e Estatística. **Cidades e Estados**. IBGE:2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PAM-Produção Agrícola Municipal**. IBGE: 2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal em 2020 foi de 10.851 km²**. São José dos Campos: INPE, 2021.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Ocorrência do El Niño**. INPE, 2019.

IPAM – Instituto de Pesquisas Ambiental da Amazônia. **Tocantis e Maranhão respondem por 60% do desmatamento do Cerrado**. 2023.

JANUÁRIO, J. L. et al. Utilização dos índices de vegetação para determinação da extensão do ciclo de vida do bambu em um fragmento localizado na região Leste do Acre. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, 2022.

JÚNIOR, R. N. P. et al. Dinâmica das queimadas sobre os tipos de uso e cobertura da terra na floresta amazônica do estado do Maranhão, Brasil. **Peer Review**, v. 5, n. 11, 2023.

KRIZEK, J. P. O.; SANTOS, L. C. M. Protocolo metodológico para obtenção dos valores de reflectância e de NDVI de imagens Landsat 8/OLI utilizando LEGAL. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n. 2, 2021.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 1, 1977.

LEITE, E. D. et al. Impactos ambientais causados pelo desmatamento no Brasil. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 8, n. 1, 2023.

LOPES, R. J. C.; SANTOS, A. M.; JÚNIOR, C. L. Análise dos índices de vegetação para monitoramento remoto das Caatingas. **Geo UFRJ**, v. 1, n. 42, 2023.

MARQUES, E. S. F. Et al. Análise da disponibilidade hídrica para o aproveitamento de água de chuva no estado do Maranhão, Brasil. **Revista Aidis**, v. 15, n. 1, 2022.

MATAREZI, J. Educação Ambiental Climáticae a Contribuição do Monitoramento Ambiental Voluntário (MAV) em Escolas e Comunidades Litorâneas do Sul do Brasil. **Revista IJERRS**, v. 6, n. 2, 2024.

MIRANDA, M. de P.; DUARTE, C. R.; GOMES, D. D. M.; SOUZA, C. D. de; NETO, C. A.Análise comparativa de imagens do Sentinel-2A (MSI) e Landsat-8 (OLI) aplicadas ao

mapeamento geológico, região da Itatai, Santa Quitéria, CE. **Anuário do Instituto de Geociência-UFRJ**,v. 42, 2019.

MOTA, F. M.; PARTELLI, F. L.; SANTOS, A. R. dos; FERRARI, J. L.;PELUZIO, J. B. E. Relação entre variáveis meteorológicas e Índices de Vegetação (IV's) em lavouras cafeeiras. **Brasilian Journal of Animal and Environmental Resarch**, Curitiba, v. 3, n. 4, 2020.

NASCIMENTO, F. C. A.; BRAGA, C. C.; ARAÚJO, F. R. C. D. Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, 2017.

NASCIMENTO, S. G. da S.; SILVA, J. C. C. da; HANKE, D.; ÁVILA, M. R. de; MENEGON, B. S. A importância da sistematização de um banco de dados geográficos vetoriais da divisão político-administrativa do município de Dom Pedrito/RS para usos ambientais e agropecuários**. Revista Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, v. 13, n. 1, 2020.

NETO, A. P. M. et al. Mapas de risco de incêndios florestais para o ParqueNatural Municipal Florestal de Sinop, Mato Grosso, Brasil. **Scientific Eletronics Archives**, v. 16, n. 1, 2023.

NETO, D. D. et al. Agricultura irrigado no Brasil. **DIBD/ESALQ/USP**, 2022.

NETO, F. S. S.; DANELICHEN, V. H. M. Estudo do Uso de Índices de Vegetação nas Culturas do Brasil. **Uniciências**, v. 26, n. 2, 2022.

NEVES, L. Z.; MUCIDA, D. P. Comparação de índices de vegetação entre imagens CBERS, Landsat e Rapideye para área do Cerrado Brasileiro. **Revista Espinhaço**, v. 9, n. 1, 2020.

OLIVEIRA, A. B. Et al. Da Fronteira Agrícola aos Territórios do Agronegócio Florestal: avanços da silvicultura de eucalipto sobre a agricultura familiar nos municípios de São Francisco do Brejão e João Lisboa, Maranhão, Brasil. **Geografia**, v. 31, n. 1, 2022.

OLIVEIRA, L. R. G. De; SOUZA, S. B. Automatização do protocolo de aquisição e pré-processamento de imagens térmicas do sensor TIRS do satélite Landsat-8. **Revista Brasileira de Computação Aplicada,** v. 12, n. 3, 2020.

PEREIRA, J. A. V. et al. Uso e cobertura do solo e comparação entre os índices de vegetação SAVI e NDVI na área de proteção ambiental das Onças, Paraíba, Brasil. **Revista de Geografia**, v. 37, n. 2, 2020.

RIBEIRO, L. C. S. LÕBO, A. S.; SILVA, L. D.; ANDRADE, N. F. S. Padrões de crescimento econômico dos municípios do MATOPIBA. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 2023.

RIGOLDI, K. C.; SOUSA, G. P.; CARAMINAN, L. M. Análise da vegetação de 2008 e 2018 do município de Sarandi: Aplicação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 16, n. 6, 2020.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A. & DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. **NASA Technical Reports Server,** v.1, 1973.

RUFINO, D. C. et al. Reflexões sobre o clima semiárido no estado do Maranhão. **International Journal Semiarid**, v. 7, 2024.

SAGRIMA – Secretaria de Estado da Agricultura e Pecuária. **Perfil da Agropecuária Maranhense 2021-2022**. São Luís: SAGRIMA, 2022.

SAMPAIO, M. I. R. et al. Análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE em imagens obtidas por meio de sensor embarcado em um RPAS para as culturas da soja (Glycine max) e milho (Zea mays) irrigados. **Revista Barsileira de Geomática**, Curitiba, v. 9, n. 4, 2021.

SANTOS, J. E. B.; MONTEIRO, K. A.; NASCIMENTO, M. C. Avaliação de desempenho dos índices de NDVI, SAV e EVI na análise da cobertura de uso do solo em um setor do município de Jequiá da Praia, Alagoas. **Revista GeoNordeste**, v. 33, n.1, 2022.

SANTOS, L. G. F. Dos, FIALHO, E. S. Análise da distribuição da temperatura de superfície em relação ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, em estação seca e chuvosa, no município de Teixeiras-MG. **Revista Ponto de Vista**, v. 3, n. 9, 2021.

SILVA, B. H. R.; SILVA R. N. F. Avaliação de impactos ambientais em áreas de mineração com o uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI): estudo de caso para a região de Paracatu (Minas Gerais). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2,n. 3, 2021.

SILVA, C. O. F. Classificação supervisionada de área irrigada utilizando índices espectrais de imagens Landsat-8 com Google Earth Engine. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 1, 2020.

SILVA, E. D. O.; PASCOALINI, S. S.; ZAMPROGNO, G. C.; TOGNELLA, M. M. P. Estimativas do Teor de Clorofila do Mangue da Baía de Vitória (ES) por meio de Dados Hiperespectrais. **Revista Brasileira de Geográfia Física**, v. 13, n. 1, 2023.

SOUSA, W. G. et al. Variabilidade espaço temporal da seca meteorológica nas microrregiões do MATOPIBA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 1, 2024.

STEINK, V. A.; SILVA, C. A. da; FIALHO, E. S. Geografia da Paisagem Múltiplas Abordagens. **Embrapa** [online], 2022.

TARIQ, A. et al. Modelling, mapping and monitoring of forest cover changes, using support vector machine, kernel logistic regression and naive bayes tree models with optical remote sensing data. **Heliyon**, v. 9, 2023.

TEXEIRA, M. et al. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à estimativa de biomassa acima do solo em ILPF. **Entorno Geográfico**, v. 1, n. 27, 2024.

USGS. United States Geological Survey. **Informações sobre a instituição**.Washington, 2020.

VENTURA, S. J.; MIRANDA, L. C.; SILVA, E. V. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no médio curso do Rio Ceará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, 2019.

YIN, Z. Et al. Water clarity changes in Lake Taihu over 36 years based on Landsat TM and OLI observations. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 102, 2021.

ZEBALOS, C. H. S. et al. Análise espaço-temporal da cobertura do solo do Município de Theobroma, Estado de Rondônia, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 21, 2022.