



UNIVERSIDADE  
EDUARDO  
MONDLANE

**FACULDADE DE CIÊNCIAS**  
**Departamento de Matemática e Informática**

Trabalho de Licenciatura em  
Ciências de Informação Geográfica

**Detecção de Mudanças na Cobertura Vegetal a partir do  
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**

Caso de estudo: **Provincia de Zambézia**

**Autor:** Vanécia Afonso Penicela

Maputo, Maio de 2024



**FACULDADE DE CIÊNCIAS**  
**Departamento de Matemática e Informática**

Trabalho de Licenciatura em  
Ciências de Informação Geográfica

**Detecção de Mudanças na Cobertura Vegetal a partir do  
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**

**Caso de Estudo: Província de Zambézia**

**Autor:** Vanécia Afonso Penicela

**Supervisor:** Mestre Egídio Otávio Cassamo, U.E.M

Maputo, Maio de 2024

## **Dedicatória**

*Dedico este trabalho aos meus pais, Afonso Feliciano Penicela e Vitoria Luís Malando.*

*Que sempre serão o meu suporte inesgotável.*

## Declaração de Honra

Declaro por minha honra que o presente Trabalho de Licenciatura é resultado da minha investigação e que o processo foi concebido para ser submetido apenas para a obtenção do grau de Licenciado em Ciências de Informação Geográfica, na faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, 27 de Maio de 2024

---

(Vanécia Afonso Penicela)

## Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar ao supremo Deus criador de todas as coisas.

Gostaria de expressar o meu mais profundo apreço ao meu supervisor, Mestre Egídio Cassamo, por ter me dado a devida orientação, aquando da realização do presente trabalho de Licenciatura e pela consideração.

A Universidade Eduardo Mondlane, seu corpo docente, em particular ao curso de ciências de informação geográfica, por ter me dado a oportunidade de conhecer o horizonte do ensino superior, meus sinceros agradecimentos.

Aos colegas de curso, particularmente a Ivania Regina Naiene pelos bons momentos durante a carreira estudantil até as aventuras vividas, Deise Luís pelos conselhos e companhia, a Hortência Manjaze pelas noites de estudos e o Pedro Mbata por me apoiar sempre que for preciso.

Um especial agradecimento ao meu amigo Judas Marcolino, cujo o encorajamento jamais esquecerei, por ter me motivado a percorrer o caminho desta licenciatura e pelos conselhos na vida académica e social.

Agradeço aos meus pais Afonso Feliciano Penicela e Vitoria Luís Malando, por acreditarem em me e pelo financiamento por eles disponibilizado ao longo do curso.

Aos meus irmãos Mauro Penicela e Geraldo Penicela, o meu especial agradecimento.

A minha tia Emília Malando, agradeço por ter me dado forças todos os dias para a realização deste trabalho.

A Ercília Tamele, Cristina Macamo e Amina Deolinda, agradeço pelas experiências extraordinárias e por terem me proporcionado a oportunidade de crescimento.

Este gesto é extensivo a todos aqueles que contribuíram direto ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## Resumo

Neste trabalho, para detectar mudanças na cobertura vegetal a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada foram utilizados produtos MODIS de índice de vegetação (MOD13Q1), através do método de Diferença de Imagens, para este estudo foram utilizados dados referentes aos Meses de fevereiro e dezembro (2000 e 2016). Para a identificação de áreas de mudanças foram reclassificadas as imagens, utilizou-se programas de Sistemas de Informação Geográficas como *ArcGIS 10.4 ESRI* e *QGIS 3.22*. Para a identificação de áreas de mudanças foram reclassificadas as imagens em quatro classes de densidade com as seguintes categoria sem vegetação, vegetação baixa, vegetação média e vegetação alta segundo a tabela NDVI *density*, foram identificadas áreas de mudanças, tendo registado mudanças compreendidas entre 4 997,29 km<sup>2</sup> no Mês de Fevereiro para 411,83 km<sup>2</sup> no Mês de Dezembro de sem vegetação para vegetação alta, 4 996,07 km<sup>2</sup> no Mês de Fevereiro para 1 257,50 km<sup>2</sup> no Mês de Dezembro de vegetação baixa para vegetação alta, 28 337,99 km<sup>2</sup> no Mês de Fevereiro para 4 388,87 km<sup>2</sup> no Mês de Dezembro de vegetação alta para vegetação alta. Os resultados deste estudo permitem identificar senários futuros do comportamento ou saúde da vegetação, afim de se traçar medidas para a preservação da cobertura vegetal.

**Palavras-chave:** Detecção de mudanças, Sistemas de informação geográfica, MODIS, Índice de vegetação.

## Abreviaturas

CAA	Corte anual admissível
CENACARTA	Centro Nacional de Cartografia e Teledeteccção
CIG	Ciências de Informação Geográfica
DINAF	Direção Nacional de Florestas
DNCI	Direção Nacional do Comércio Interno
DPT	Direção Provincial do Turismo
EVI	Índice de Vegetação Melhorado
GEOTIFF	<i>Geographic Tagged Image File Format</i>
IAF	Índice de Área Foliar
IV	Índices de Vegetação
JICA	Agência Japonesa de Cooperação Internacional
MITADER	Ministério da Terra Ambiente e Desenvolvimento Rural
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MOD13	<i>MODIS Vegetation Indices</i>
MOD13Q1	Produto de NDVI e EVI
NASA	<i>National Aerospace and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
PAR	<i>Photosynthetically active radiation</i>
PCA	Análise de componente principal
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto

# Índice

Dedicatória.....	i
Declaração de Honra.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abreviaturas.....	v
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	ix
Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Definição do problema.....	2
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Relevância do Estudo.....	3
1.5 Objectivos.....	3
1.5.1. Geral.....	3
1.5.2. Específicos.....	3
Área de Estudo.....	4
2.1 Localização Geográfica da província de Zambézia.....	4
2.2. Clima.....	5
2.3. Geologia.....	5
2.4. Geomorfologia.....	5
2.5. Solos.....	5
Revisão de Literatura.....	6
3.1. Cobertura Vegetal.....	6
3.2. Índice de Vegetação.....	6
3.2.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	7

3.2.2. Os produtos do Índice de Vegetação MODIS (VI).....	8
3.4. Detecção de Mudanças .....	10
3.4.1. Técnicas de Detecção de Mudanças .....	10
3.5. Sensor MODIS .....	11
3.5.1. Especificações Técnicas do Sensor MODIS.....	12
3.6. Sistemas de Informação Geográfica .....	13
Material e Métodos .....	15
4.1 Material.....	15
4.1.1. Imagens do Sensor MODIS .....	15
4.2 Métodos .....	15
4.2.1. Processamento de Dados.....	16
4.2.1. Reclassificação de Imagens .....	16
4.2.3 Detecção de Mudanças.....	16
4.2.3. Floxograma Metodológico .....	17
Resultados e Discussão .....	18
5.1 Avaliação da Reclassificação do NDVI .....	18
5.2 Detecção de Mudanças .....	20
Conclusões e Recomendações .....	25
Referências Bibliográficas .....	26
Anexos.....	28
Anexo 1: NDVI para o Mês de Fevereiro de 2000.....	28
Anexo 2: NDVI para o Mês de Fevereiro de 2016.....	29
Anexo 3: NDVI para o Mês de Dezembro de 2000 .....	30
Anexo 4: NDVI para o Mês de Dezembro de 2016 .....	31
Anexo 5: Validação estatística para o mês de fevereiro de 2000 .....	32
Anexo 6: Validação estatística para o mês de dezembro de 2000.....	35
Anexo 7: Validação estatística para o mês de fevereiro de 2016 .....	38

Anexo 8: Validação estatística para o mês de dezembro de 2016.....	41
--	----

## Lista de Figuras

Figura 1: Localização geográfica da província de Zambézia .....	4
Figura 2: Integração de dados espaciais de representação ao mundo real (Fonte: A. Martins, 2020).....	14
Figura 3:Floxograma Metodológico .....	17
Figura 4:Densidade de vegetação (2000/02).....	18
Figura 5:Densidade de vegetação (2000/12).....	19
Figura 6:Densidade de vegetação (2016/02).....	19
Figura 7:Densidade de vegetação (2016/12).....	20
Figura 8: Detecção de mudanças para o ano de 2000/02 a 2016/02.....	21
Figura 9: Detecção de mudanças para o ano de 2000/12 a 2016/12.....	22
Figura 10: Área de mudanças para o ano de 2000/02 a 2016/02.....	23

## Lista de Tabelas

Tabela 1: NDVI density classes (Fonte: R. Kasoro et al, 2021).....	9
Tabela 2: critério de validação do índice kappa.....	10
Tabela 3: especificações técnicas do sensor MODIS (Fonte: I. Dias. ,2017).....	12
Tabela 4: Áreas de Mudança para o Mês de Fevereiro e Dezembro de 2000 e 2016.....	24

## Introdução

Este capítulo tem como objectivo contextualizar o leitor sobre os assuntos que serão abordados nesta pesquisa.

### 1.1. Contextualização

A detecção de mudanças na cobertura florestal constitui um elemento importante como um indicador da situação do funcionamento e do equilíbrio do próprio ecossistema florestal e de outros ecossistemas que depende dele para o seu funcionamento, como a conservação do solo, o ciclo das chuvas, regularização do clima (Bittencourt, 2011). As florestas constituem um dos recursos mais importantes que temos no planeta terra, assumem um papel preponderante nos ciclos de água e do dióxido do carbono (MITADER, 2018). As florestas disponibilizam recursos essenciais que sustentam o desenvolvimento de outros ecossistemas, quantificar os recursos florestais ajudam a alertar sobre a situação do futuro, assim como quais são as áreas que tem reduzido com maior pressão ( Falcão e Noa ,2016). Segundo o mesmo autor as práticas de queimadas, agricultura e exploração florestal contribuem na redução da cobertura florestal.

A exploração dos recursos na Província de Zambézia faz parte da sobrevivência das comunidades locais, com o crescimento da população a sua atividade de subsistência tem aumentado, as comunidades locais dependem destes recursos para a sua sobrevivência (MITADER, 2018). Os recursos florestais na Zambézia estão a escassear devido a alta intensidade de exploração de lenha e carvão vegetal que tem se verificado nos últimos três anos segundo os dados fornecidos pela Direção Nacional de Terras.

O problema da perda da cobertura florestal está relacionado com a pratica da actividade de subsistência, resultando na destruição da biodiversidade e dos habitats, na perda da fertilidade de solos (MICOA, 2007)

As províncias que tiveram maior número de árvores por unidade de área foram as de Inhambane, Zambézia e Niassa, respectivamente(MITADER, 2018). Segundo o mesmo Autor a província de Zambézia apresenta uma área florestal húmida de média-alta altitude de África localizada no distrito de Lugela, essa floresta e denominada sagrada, quase intacta e protegida pelas comunidades locais.

Detecção de mudança espectral é um processamento computadorizando que identifica mudanças no estado de um objecto, ou nas feições da superfície de um mesmo local em diferentes períodos (Carvalho

e Da Silva, 2007) a premissa básica de detecção de mudanças é a de que todas as alterações na cobertura terrestre deverá resultar em mudanças nos valores de radiância e conseqüentemente, os sensores remoto deverão registar tais mudanças armazenando diferentes valores de contadores digitais (Bittencourt, 2011).

## **1.2. Definição do problema**

A província de Zambézia abriga florestas exuberantes, solos férteis, sistemas fluviais e um extenso litoral, cobrindo mais de 100.000 km<sup>2</sup>, a província oferece oportunidades não exploradas para o crescimento económico sustentável e equitativo através da agricultura e da indústria, sendo uma das províncias mais pobres, porém a mais populosa do país, desafios como a rápida expansão da população e a má gestão dos recursos naturais ameaçam os meios de subsistência rurais vulneráveis, taxas acima da média de crescimento populacional e a pobreza rural conduzem à uma perda extensiva de florestas naturais (Banco Mundial, 2018). No período entre 2001 e 2016, a província perdeu 5% da cobertura florestal (aproximadamente 5 440 km<sup>2</sup>) com a agricultura de corte e queima de pequena escala e a produção de carvão vegetal.

Segundo o inventário florestal da província de Zambézia (2021), o conjunto de algumas espécies florestais no distrito de Lugela, província de Zambézia como *Millettia stublmannii*, *afzalia quanzenis* e *combretum imberbe* não apresentam um tamanho que permita sua exploração sustentável, daí que se recomenda que seja vedada a exploração destas espécies até que novos estudos sejam levados à cabo e os resultados provem o contrário (MITADER, 2021).

As florestas são importantes não apenas como fonte de madeira, mas também como protetores das colinas, regulando assim o fluxo de água, proteção das bacias hidrográficas, redução da taxa de erosão do solo, turismo, provisão de produtos florestais não-madeireiros, proteção da vida selvagem, armazenamento de carbono para mitigação de mudanças climáticas, entre outros (MITADER, 2018). O ecossistema florestal desempenha um papel vital, tem a função de filtrar o ar proporcionando a respiração, absorvem gases de efeito estufa, produção de O<sub>2</sub> a partir da captura de CO<sub>2</sub> que ocorre nas árvores, estes ecossistemas possibilitam a conservação do solo e que o mantenha rico em matéria orgânica e micro organismos que alimentam outros ecossistemas. Cobertura florestal mantem a sustentabilidade da terra, regula a concentração do CO<sub>2</sub> estocado, o regime das chuvas, matem a humidade do solo, ajudando na decomposição e aumentando a matéria orgânica (Mussage, Mosca, et al 2021).

Facto este que desperta a necessidade de detectar mudanças na cobertura vegetal entre dois períodos

## **1.3. Justificativa**

A escolha da área de estudo deve se ao facto de se verificar que os recursos florestais na província de Zambézia estão a escassear devido à alta intensidade de exploração de lenha e carvão vegetal que tem se

verificado nos últimos três anos (DNTEF,2007). O uso sustentável de recursos florestais oferece uma grande oportunidade para a redução da pobreza e para o desenvolvimento social e económico, pois, as florestas quando bem exploradas desempenham um papel importante como rede de segurança ao providenciar subsistência e rendimento para a população local através do autoemprego que estas podem criar ao comercializarem os produtos provenientes nelas.

Com vista a melhorar a situação da perda da cobertura florestal e preciso conhecer o papel que a floresta exerce para as comunidades locais, para a sociedades no geral e para o meio ambiente, desta forma será possível desenhar mecanismos que funcionam e que se adaptam para a nossa realidade para o uso destes recursos. Segundo A as florestas tropicais apresentam uma larga diversidade biológica que faz um importante fornecedor de bens e serviços ecossistêmicos, que se resume na melhoria do bem-estar social e regulação do clima. Nos últimos anos estas florestas tem vindo a registar constantes alterações, que comprometem as suas funções, devido a crescente procura por meios de sobrevivência, que e explicada pelo crescente aumento da população mundial (MITADER, 2021).

#### **1.4. Relevância do Estudo**

O trabalho tem relevância no meio científico nas áreas de Sistemas de Informação Geográfica, contribuirá para trabalhos que permitem identificar senários futuros do comportamento da vegetação e como um indicador das ameaças de recursos naturais.

No meio social e económico detectar mudanças na cobertura florestal tem um papel crucial, para a economia contribui para a gestão sustentável dos recursos e para a sociedade é importante para traçar as estratégias de monitoramento e de fiscalização para evitar que danos maiores sejam gerados

#### **1.5 Objectivos**

##### **1.5.1. Geral**

Detectar mudanças na cobertura florestal através do Índice de Vegetação com recurso as imagens do sensor MODIS/TERRA.

##### **1.5.2. Específicos**

- Reclassificar o índice de vegetação por diferença normalizada a partir do produto MOD13Q1;
- Analisar cobertura vegetal com base nos resultados da reclassificação do NDVI
- Determinar a variação do índice de vegetação, em termos da dinâmica espaço-tempo;
- Determinar as áreas de mudanças com base nos resultados da variação dos índices de vegetação.

## Área de Estudo

Este capítulo pretende apresentar a localização geográfica da área de estudo, as principais características da área.

### 2.1 Localização Geográfica da província de Zambézia

A província da Zambézia está localizada na região Centro de Moçambique (MINEDH, 2019), com uma superfície de 105 008 km<sup>2</sup>, com cerca de 1,881 Km<sup>2</sup> de águas interiores (entre rios e lagos) e 8,640 Km<sup>2</sup> de águas marinhas (DNCI, 2018). Segundo o mesmo autor, a Província possui os seguintes limites geográficos: a Norte, os rios Ligonha e Lúrio separam-na das Províncias de Nampula e Niassa, respectivamente; a Sul, o rio Zambeze serve de limite natural com a Província de Sofala; a Oeste com a República do Malawi e a Província de Tete através do rio Chire; e a Este é banhada pelo Oceano Índico numa extensão de cerca de 400 kms de linha do litoral. A área localiza-se entre as latitudes 14° 30' e 18° 27' S, e longitude 34° 36' e 38° 36' E, na Costa Oriental da África (Ibraimo, 2004).

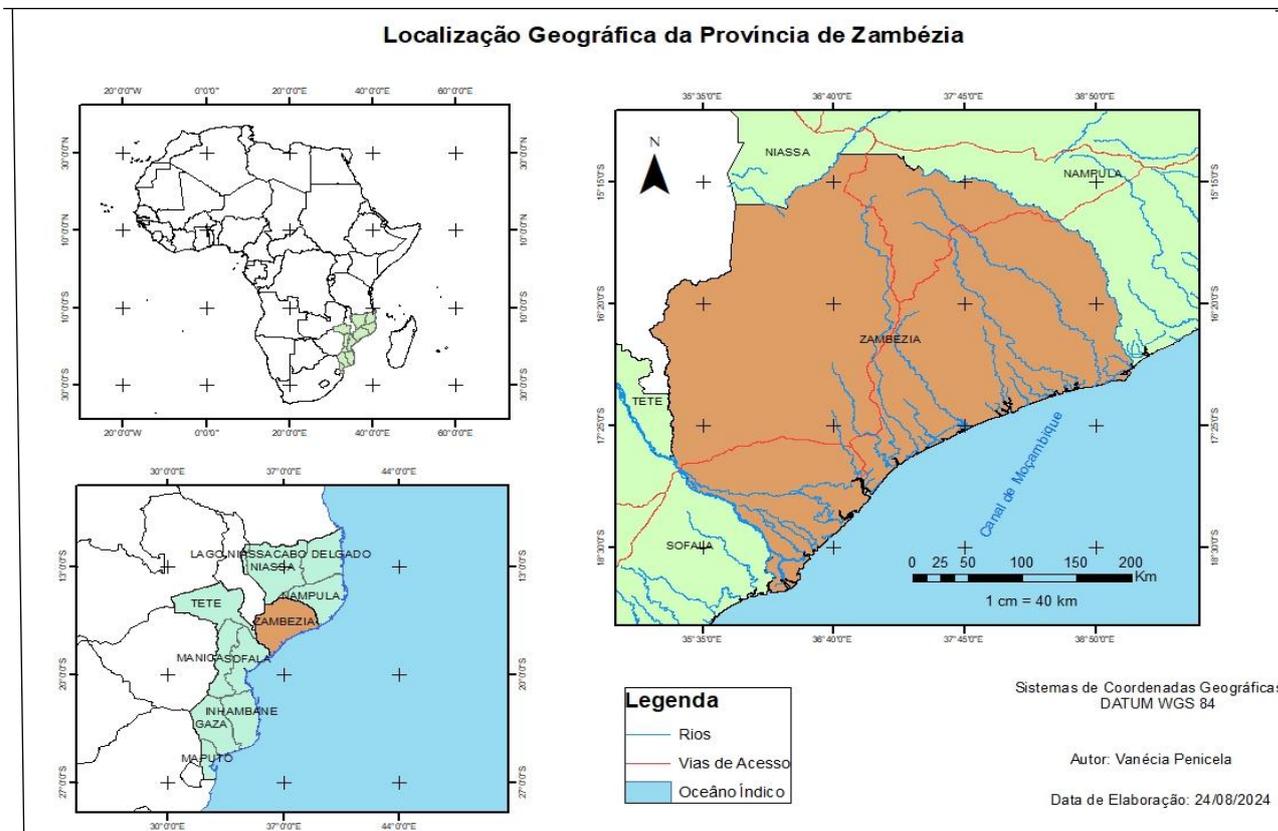


Figura 1: Localização geográfica da província de Zambézia

## **2.2. Clima**

A temperatura média varia entre 25°C a 26°C, sendo mais quente durante a época chuvosa. A precipitação anual chega a superar 1.000mm. A precipitação média anual é variável entre altitude ou topografia, o qual, em Lugela é de 1.588mm e em Nicoadala é de 1.194mm. A chuva em janeiro, mês de maior quantidade de chuva, em Lugela é de 300mm enquanto nas restantes são de cerca de 250mm. Todavia, chove durante o ano inteiro. Os ventos sazonais de monção podem causar chuvas torrenciais atingindo 60mm/dia, e a região sofre cheias ou inundações repentinas num ciclo de uma vez em alguns anos. A chuva é registada mesmo em época seca em cerca de 50 mm/mês (MINEDH, 2019).

## **2.3. Geologia**

Na província da Zambézia, Cerca de 4/5 da área são ocupadas por rochas cristalinas pré-cambrianas, e o restante por sedimentos terciários e quaternários de ampla distribuição ao longo da costa. Assim pode-se dividir a província da Zambézia em duas regiões básicas a região sedimentar costeira ao longo do Índico e o embasamento cristalino soerguido (Ibraimo, 2004). Segundo o mesmo autor, a transição destes dois ambientes é marcada por falha normal suavizada por uma série de leques aluviais, relacionados a antigos rios que desciam do planalto.

## **2.4. Geomorfologia**

Basicamente, a província da Zambézia é constituída de um relevo montanhoso rebaixado, abaulado, que culmina na serra Namuli (distrito de Gurue) com altitude acima de 2400 m (Ibraimo, 2004). Segundo o mesmo autor as curvas formam verdadeiras rendas que separam vertentes aplainadas de topos entalhados pelas nascentes dos rios. Algumas montanhas solitárias (Inselbergs) quebram a monotonia das vertentes aplainadas com rios exorreicos.

De forma geral, o relevo da Zambézia apresenta grandes áreas planas até a altitude de 900 m, acima da qual poucas áreas constituem topos segmentos montanhosos íngremes. Existe também um certo ordenamento do litoral para o interior, no sentido Leste-Oeste, formando patamares sucessivos: planícies costeiras, planície de basculamento (vertentes e vales dos rios), superfícies erosivas que formam os planaltos e cristas montanhosas (Ibraimo, 2004).

## **2.5. Solos**

O delineamento das classes de solos da província da Zambézia são: solos Neossolos Regolíticos e quartzarenicos e Vertissolo com os materiais arenosos, dunares e aluviais do Zambeze (Ibraimo, 2004).

## Revisão de Literatura

Este capítulo contém análise de revisão de literatura sobre os métodos concretos para poder resolver o problema do estudo.

### 3.1. Cobertura Vegetal

A classificação da vegetação no mapeamento de cobertura florestal em Moçambique tem sofrido modificações, desde no inventário florestal nacional exploratório, de Marzoli (2007) no inventário florestal nacional até a classificação do mapa adoptada pela DINAF, em colaboração com a Agência de Cooperação Japonesa (2013) e o mapa de cobertura florestal (2016) (vide anexo 5, anexo 6 e anexo 7).

Em Moçambique a área florestal actual é de cerca 34 milhões de hectares. Nos últimos anos, assiste-se a um acelerado desmatamento das áreas florestais. Estima-se que a média de desmatamento entre 2003 e 2013 foi de 269,000 hectares por ano. Neste período, o desmatamento chegou a estar num nível alarmante de 0,79% por ano. Este texto destaca as evidências empíricas dos determinantes do desmatamento em Moçambique no período entre 2000 e 2016. Os determinantes do desmatamento examinados foram os seguintes: a população rural, as áreas de cultivo, a exportação de produtos madeireiros e o produto interno bruto pressão (Mário Falcão e Micas Noa, 2016).

### 3.2. Índice de Vegetação

Os índices de vegetação podem ser definidos como transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, utilizados para realçar o comportamento espectral da vegetação, esses índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e IAF (Dias, 2017). Segundo o mesmo autor, a aplicação da técnica de índices de vegetação tem facilitado os estudos relacionados à vegetação, tendo por objectivo o realce das variações de sua densidade, facilitando a identificação e mapeamento de áreas vegetadas e áreas não vegetadas. Esses índices permitem realizar estudos, tanto ao longo do tempo quanto no espaço, sobre as condições da cobertura vegetal.

Os índices de vegetação guardam uma relação com a quantidade e o estado da vegetação na área onde foi feita a medida espectral. Por isso, têm sido empregados em estudos para caracterizar parâmetros

biofísicos da vegetação por indicarem sua presença e condição, visto que a biomassa tem estreita relação com a energia solar absorvida (João Antunes, 2005).

Os índices de vegetação disponibilizados nos produtos MODIS mostram-se sensíveis à detecção da sazonalidade ao longo dos Meses do ano, indicando ser uma boa ferramenta para estudos do comportamento fenológico da vegetação (Dias, 2017), segundo o mesmo autor avaliando NDVI e EVI, citam que em áreas com florestas densas e contínuas, onde não há grandes variações na quantidade de biomassa ativa, encontra-se pouca variação nas reflectâncias do espectro do vermelho, resultando na menor sensibilidade apresentada pelo NDVI a estas áreas.

### 3.2.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI é dado pela diferença entre as bandas do infravermelho próximo e vermelho, dividido pela soma dessas duas bandas (Rouse Jr et al., 1974). O NDVI tem com o objetivo de determinar a região espectral da radiação ativa, que usa como fonte de energia no processo de fotossíntese (Andréa Passos, 2021).

Os valores obtidos com o NDVI são contidos em uma mesma escala de valores, entre -1 e 1. O NDVI tem o objetivo de minimizar a interferência do solo na resposta da vegetação e, também, diminuir a influência da atmosfera e das variações sazonais do ângulo solar (João Antunes, 2005). O cálculo desse índice foi realizado pela seguinte equação:

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

**NIR** é o valor da reflectância no infravermelho próximo (800-1100 nm; banda 2 do sensor MODIS) e **Red** é a reflectância na faixa do vermelho (600-700 nm; banda 1 do sensor MODIS). Esse índice minimiza as interferências relativas às variações provenientes do ângulo solar e dos efeitos atmosféricos, observados para dados multitemporais. O NDVI é calculado baseado em uma relação matemática de diferença normalizada entre a reflectância na banda do espectro do vermelho e do infravermelho (Dias, 2017).

Desenvolvido para o sensor MODIS e visando suprir as limitações do NDVI, foi criado o EVI (Enhanced Vegetation Index - Índice de Vegetação Realçado). O EVI foi proposto por Huete et al. (1997) e, segundo Jiang et al. (2008), seu desenvolvimento teve por objetivo atenuar os efeitos do solo e da atmosfera sobre o monitoramento da vegetação, contendo um fator de ajuste para solos e coeficientes que descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis (Dias, 2017). O EVI é calculado por meio da equação:

$$EVI = 2.5 * \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C_1 * RED - C_2 * BLUE + L)}$$

sendo: G = fator de ganho, L = fator de ajuste para o solo, C 1 e C 2 = coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera, NIR (Near Infrared) = reflectância da região espectral do infravermelho próximo, RED = reflectância da região espectral do vermelho, BLUE = reflectância da região espectral do azul, os valores dos coeficientes dos coeficientes são L = 1, C 1 = 6, C2 = 7,5 e o fator de ganho G = 2,5.

O EVI é mais responsivo às variações estruturais do dossel, incluindo o índice de área foliar tipo de dossel, fisionomia da planta e a arquitetura do dossel. Por essas características, o EVI é destinado especialmente em regiões que concentram grandes quantidades de biomassa vegetal (elevados teores de clorofila) como as florestas tropicais.

O sensor MODIS permite medir o crescimento da vegetação em escala global, fornece alta resolução temporal, ou seja, gera imagens de um determinado pixel de uma região com uma repetição diária de coleta (Weier e Herring, 2010). Os mapas de vegetação provenientes das informações coletadas pelo satélite apresentam a densidade de crescimento da planta para todo o planeta, os autores destacam que a medida resultante do sensor mais utilizada é a do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

### 3.2.2. Os produtos do Índice de Vegetação MODIS (VI)

Existe uma variedade de índices de vegetação que foram desenvolvidos para auxiliar o monitoramento da cobertura vegetal (Lillesand e Kiefer, 1994). Segundo o mesmo autor, a maioria destes índices são baseados em diferentes interações entre o tipo de vegetação e a sua correspondente assinatura espectral nas zonas referentes aos comprimentos de onda vermelho e infravermelho. A reflectância da cobertura vegetal na banda vermelha (aproximadamente entre 0,6 e 0,7m) é baixa, aparecendo nas imagens em tons de cinza escuros, devido à absorção da clorofila existente nas folhas. Entretanto, no infravermelho próximo (aproximadamente entre 0,8 e 0,9m) apresenta alta reflectância com tons de cinza claros devido a dispersão causada pela estrutura das folhas.

Os produtos MODIS VI (MOD13) fornecem séries temporais espaciais e temporais consistentes comparações das condições globais da vegetação que podem ser usadas para monitorar a atividade fotossintética da vegetação terrestre em apoio à fenologia, detecção de mudanças e interpretações biofísicas. Mapas de índice de vegetação em grade representando espaço e tempo variações na atividade da vegetação são derivadas em intervalos de 16 dias e mensais no suporte de um monitoramento sazonal e interanual preciso da vegetação terrestre da Terra (Kasoro et al, 2021).

Classes de Vegetação	Descrição	Cobertura Vegetal (NDVI)
Sem Vegetação	Terrenos estéreis, áreas urbanizadas, rede viária e água	< 0,1
Vegetação baixa	Arbustivo	0,1 – 0,3
Vegetação média	Pastagens e terras agrícolas	0,3 – 0,6
Vegetação alta	Área florestal	0,6 – 0,9

Tabela 1: NDVI density classes (Fonte: R. Kasoro et al, 2021)

### 3.3. Avaliação de precisão

Segundo Campbell (1987), os erros estão presentes em qualquer tipo de classificação. A forma padronizada para verificar tais erros em locais específicos é a chamada matriz de erros, também conhecida como matriz de confusão por identificar não somente o erro global da classificação para cada categoria, mas também como deram as confusões entre categorias. As medidas derivadas da matriz de confusão são: a Exatidão Global, o índice Kappa, o índice Tau, entre outros. Em trabalhos que envolvem a classificação de imagens ou detecção de mudanças, a análise de precisão se faz necessário (Antunes e Lingnau, 1997). a análise de precisão tem como principal objectivo avaliar quantitativamente o quão eficiente os píxeis foram classificados nas classes de uso e cobertura da terra (Rwanga e Ndambuki, 2017).

#### 3.3.1. Índice kappa

A estatística Kappa é um método estatístico que permite analisar, validar mapas de forma a comparar os resultados das análises dos mapas obtidos por meio do sensoriamento remoto, dentro de certo limite tem o objetivo de mensurar a qualidade de um mapa temático tendo como referência outro mapa temático. O coeficiente Kappa é largamente utilizado em trabalhos de classificação de imagens por estabelecer um grau de concordância em escalas nominais, desde que sejam cumpridas algumas condições como, independência de unidades e de classes, assim como do classificador e os pontos de referência coletados (Rwanga e Ndambuki, 2017).

Os resultados da estatística Kappa foram obtidos por meio da fórmula abaixo:

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

onde:

K = coeficiente Kappa;

P<sub>o</sub> = exatidão geral da classificação;

$$P_e = \sum_{i=1}^k P_i * P_i$$

A tabela abaixo mostra a qualidade da classificação de acordo com cada coeficiente adquirido:

Valor do Índice Kappa	Qualidade da Classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Mau
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

*Tabela 2: critério de validação do índice kappa*

### 3.4. Detecção de Mudanças

Analisando autores como Sigh (1986), Almutairi e Warner (2010), Coppin et al (2004) foi possível formar um conjunto de oito principais técnicas de detecção de mudanças (Bittencourt, 2011).

Com a implementação da diferenciação no índice de vegetação descobriram que é a melhor técnica de detecção de mudanças na vegetação para monitorar o desmatamento e perda de vegetação (Lyon et al, 1998). Estudos de detecção de mudanças frequentemente empregam várias técnicas, dentre as quais o pesquisador seleciona aquela que apresenta melhor desempenho, a literatura revela que, mesmo quando o maior interesse do pesquisador não é a comparação entre métodos, é comum a utilização de algum tipo de comparação, a fim de possibilitar que os resultados sejam relativizados (Valdivia e Bittencourt 2013). A abordagem de aprimoramento envolve a combinação matemática de imagens de diferentes datas, como subtração de bandas, racionamento, regressão de imagens ou análise de componentes principais (Mas, 1999).

Detectar mudanças significa identificar alterações na superfície terrestre por meio da análise de imagens da mesma área coletadas em diferentes datas (Singh, 1989). Segundo o mesmo autor técnicas simples, como a diferença de imagens, têm desempenho melhor que técnicas muito mais avançadas de transformação, exemplificando-se a análise por componentes principais, como conclusão fundamental relata que em ambientes semelhantes é possível obter-se distintos resultados pelo uso de técnicas diferentes.

#### 3.4.1. Técnicas de Detecção de Mudanças

Geralmente para a variação de mudanças existem diversas técnicas:

- **Imagem de Diferença Univariada:** técnica baseada na operação de subtração entre os contadores digitais de um par de imagens registradas, geralmente esta técnica é realizada

separadamente para cada banda espectral e sob a hipótese haver poucas mudanças entre as imagens, o comportamento probabilístico dos contadores digitais dos *pixels* da imagem de diferença devida revelar *pixels* de mudanças nas caudas da distribuição (Singh, 1989).

- **Razão entre duas imagens:** técnica similar a diferença univariada, razão entre os contadores digitais de imagens devidamente registadas e corrigidas radiometricamente deverá ser unitária nas regiões de não mudanças, os limiares entre as classes de mudanças e não mudanças são geralmente definidos empiricamente (Singh, 1989).
- **Análise de vector de mudanças:** similar razão entre duas imagens e a Diferença Univariada nesta abordagem os pixels são tratados como vectores no espaço de feições, e as diferenças entre os valores são tratados como valores no espaço de feições, as diferenças entre os valores são computadas. A análise estatística de magnitude dos vectores permite detectar a presença de mudanças, enquanto as orientações indicam o tipo de alteração (Singh, 1989).
- **Análise de regressão:** Os pixels da imagem coletada no tempo 1 são assumidos como função linear dos pixels no tempo 2, observada e comparada com aquela estimada por regressão, e a diferença entre elas é considerado um indicador de mudanças (Singh, 1989).
- **Análise de componentes principais:** Esta técnica de análise multivariada é usada para reduzir o número de espectrais componentes para menos componentes principais, representando a maior variância nas imagens multiespectrais originais. Em estudos multitemporais, os principais componentes para duas ou mais datas são frequentemente comparadas, como na diferenciação ou regressão de imagem (Singh, 1989).
- **Índices de vegetação:** A diferenciação do índice de vegetação normalizada, computados em diferentes datas são comparados por meio da operação de diferença ou razão, o cálculo dos índices realizado separadamente em cada data, para posterior comparação, minimiza problemas radiométricos (Singh, 1989).
- **Detecção pós-classificação:** As duas imagens são classificadas separadamente, considerando-se um conjunto de classes comum. A separação é realizada por meio de tabulação cruzada, gerando a matriz de transição de classes (Singh, 1989).

### 3.5. Sensor MODIS

O principal instrumento sensor a bordo destes dois satélites é o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). De acordo com Justice et al. (2002), este sensor foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial seleccionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global quase diária. O sensor MODIS está desempenhando um papel vital no desenvolvimento de modelos de sistema validados, globais e interativos, capazes de

prever alterações globais com precisão suficiente para auxiliar na tomada de decisões sólidas no que diz respeito à proteção do ambiente (Dias, 2017).

### 3.5.1. Especificações Técnicas do Sensor MODIS

Órbita	705 Km, síncrona com o Sol, polar. 10:30 a.m descendente; 1:30 p.m ascendente.
Alcance Espectral	0.4-14.4 $\mu\text{m}$
Cobertura Espectral	$\pm 55^\circ$ , 2330 km em fileira (“scans” contínuos em nadir no equador)
Resolução Espacial	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir
Precisão Radiométrica	5% Absoluto, $<3\mu\text{m}$ ; 1% Absoluto, $>3\mu\text{m}$ ; 2% de reflectância
Cobertura de repetição	Diária, a norte da latitude $30^\circ$ e a cada dois dias, para latitudes inferiores a $30^\circ$
Quantização	12 bits
Taxa de Dados	6.2 Mbps (média), 10.8 Mbps (dia), 2.5 Mbps (noite)
Força	162.5 W (média para uma órbita), 168.5 W (pico)

*Tabela 3: especificações técnicas do sensor MODIS (Fonte: I. Dias. ,2017)*

Uma característica importante do MODIS é a disponibilização dos produtos com correção dos efeitos atmosféricos (nuvens, aerossóis, etc.) e com georreferenciamento, ou seja, os dados do MODIS se encontram em um formato pronto para o uso, Soares et al. (2007) apontam que as imagens provenientes do MODIS apresentam alta qualidade geométrica, permitindo o acompanhamento e monitoramento precisos de alterações ocorridas na superfície terrestre (Dias, 2017).

Para produção dos índices de vegetação são utilizadas imagens georreferenciadas gerando os produtos MOD13, sejam eles o Índice de Vegetação Realçado (EVI) e (NDVI), entre outros. O algoritmo para a geração dos índices de vegetação MODIS opera pixel a pixel e leva em conta múltiplas observações em um período de 16 dias, o processo de compositing seleciona o pixel mais próximo possível do nadir, minimizando assim eventuais distorções espaciais e radiométrica, ou com o menor grau de contaminação por aerossóis (van Leeuwen et al., 1999). Devido à sobreposição de órbitas e múltiplas observações em um único dia, um máximo de 64 observações podem ser obtidas (Ferreira et al., 2003), de tal forma que são selecionadas as melhores imagens entre um total de 64 possíveis. Esta resolução temporal, espacial e radiométrica mostram-se adequadas e eficientes para o imageamento da cobertura vegetal terrestre em nível regional e global, superando o sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de resolução espacial de 1,1 a 8 quilômetros, a bordo do satélite NOAA, o qual não foi concebido para aplicações em terra devido a falta de calibração precisa, de registro geométrico e problemas devido à presença de nuvens nas cenas (Ribeiro et al, 2007). Segundo o mesmo autor, a utilidade deste sensor se

mostra mais evidente ao considerar que, nos levantamentos realizados em escala regional, a ocorrência de nuvens é um fator limitante, O sensor MODIS gera diversos produtos, podendo-se citar: cobertura de neve, reflectância e temperatura da superfície, anomalias termais, índices de vegetação, índice de área foliar, dinâmica da cobertura terrestre, entre outros. O objetivo dos produtos gerados pelo MODIS está, basicamente, na quantificação e detecção das mudanças da cobertura terrestre, e nos processos naturais e antropomórficos, auxiliando nos diversos modelos regionais e globais existentes. Os produtos MOD 13, MOD 15 e MOD 17 referem-se aos produtos do sensor MODIS relacionados à vegetação, são eles: grades de índices de vegetação (NDVI e EVI), IAF e fotossíntese líquida e produtividade primária, respectivamente. O produto MOD13Q1 apresenta uma síntese do máximo valor do índice de vegetação (NDVI e EVI) com intervalo de 16 dias e resolução espacial de 250 m. O algoritmo para a geração dos índices de vegetação MODIS opera pixel a pixel e leva em conta múltiplas observações em um período de 16 dias.

De acordo com Anderson et al. (2003), os objectivos dos índices de vegetação do MODIS são:

- Gerar índices de vegetação em imageamentos sem nuvens;
- Maximizar a cobertura temporal na resolução espacial mais fina possível;
- Padronizar dados de acordo com a posição sol-sensor-alvo;
- Assegurar a qualidade e a consistência dos dados;
- Descrever e reconstituir dados de variações fenológicas
- Discriminar com precisão variações interanuais na vegetação

### **3.6. Sistemas de Informação Geográfica**

O sistema de informação geográfica pode ser entendido como um conjunto articulado de Hardware e Software capaz de desempenhar funções diversas, nomeadamente a captura, organização, manipulação, análise, modelação e apresentação de dados espacialmente referenciadas e destina se a resolver problemas complexos de planeamento e gestão (Machado, 1996). A definição de SIG vem evoluindo ao longo do tempo e ressignificando os seus conceitos acompanhando as inovações provenientes das áreas de pesquisa que contribuem para a sua evolução.

Com base em ferramentas SIG e possível não só manter atualizada a cartografia das áreas afetadas por acidentes e catastróficos naturais, como criar modelos prospetivos com base no cruzamento e tratamento quantitativo dos fatores intervenientes (por exemplo, relevo, geologia, uso do solo, elementos climáticos, dados demográficos, infra- estruturas, para previsão do risco de movimento de materiais em vertentes ou de cheias rápidas e inundações) (Zanda, 2005).

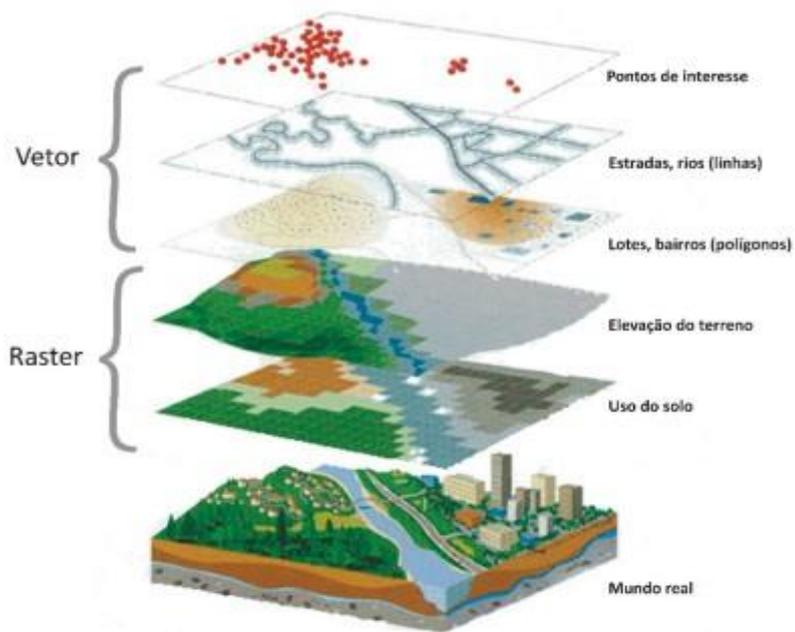


Figura 2: Integração de dados espaciais de representação ao mundo real (Fonte: A. Martins, 2020)

## Material e Métodos

Neste capítulo tem-se a descrição sobre tudo o que foi realizado para o alcance dos resultados na pesquisa.

### 4.1 Material

#### 4.1.1. Imagens do Sensor MODIS

Esses dados são disponibilizados gratuitamente pela *National Aeronautic Space Administration* (NASA) georreferenciados e corrigidos dos efeitos atmosféricos, como nuvens aerossóis, entre outros.

Neste trabalho foi utilizado o produto MOD13Q1 V.6.1 disponibilizados pelo servidor o *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP-DAAC) e para a área de estudo foram adquiridos dados pelo Centro Nacional de Cartografia e Teledeteccção (CENACARTA) no formato shapefile correspondente base cartográfica.

As imagens geradas são gravadas no formato *GeoTiff*. O produto MOD13Q1 é um produto que gera dois índices de vegetação o NDVI e EVI e também gera informações que atestam a qualidade dos produtos Índice de Vegetação (*NDVI Quality* e *EVI Quality*), e os produtos possuem resolução espacial de 250 m, onde “Q” refere-se a *Quarter Km*, ou seja, quarta parte do quilómetro (Rosendo e Rosa, 2005), o produto disponibiliza a cada 16 dias um *raster* referente a cada índice gerado, o seu processo de composição seleciona o melhor pixel de imagem para compor o produto MOD13Q1, minimizando eventuais distorções espaciais, ruídos radiométricos e efeito atmosférico, o seu objectivo está na qualidade e detecção de mudanças. O produto é referente ao ano de 2000 e 2016 para os meses de fevereiro e dezembro.

### 4.2 Métodos

Com base na revisão de literatura vinculada ao tema de detecção de mudanças, a metodologia adotada para o presente trabalho é baseada em (Singh, 1989).

Os tópicos a seguir detalham todos os procedimentos metodológicos desenvolvidos neste trabalho.

#### **4.2.1. Processamento de Dados**

Depois do processo de aquisição das imagens (MOD13Q1 versão 6.1) e a área de estudo, os produtos gerados são gravados no formato GeoTiff, o produto é referente ao ano de 2000 e 2016 para os Meses de fevereiro e dezembro. Em seguida as imagens são importadas para o software *ArcGis 10.4*. Todos os dados foram projetados para o sistema de coordenadas UTM (WGS DATUM 1984, UTM Zone 37N), após este passo o produto é multiplicado pelo fator de escala 0,0001, afim de se apresentar valores que variam de -1 a 1, desta forma é gerado o NDVI com valores que variam de -1 a 1.

#### **4.2.1. Reclassificação de Imagens**

Para a reclassificação do NDVI será aplicado o método de classificação de pixel a pixel, baseado em Peruzzo *et al*, 2019, este método consiste no agrupamento e identificação de regiões com pixel homogêneo. Após a geração do NDVI serão definidos intervalos de variação do *pixel* utilizado para a reclassificação com recurso a ferramenta *reclassify do software ArcGis 10.40*, esta ferramenta classifica automaticamente a camada de imagem selecionada usando exemplos de treinamento do Gerenciador de amostra de treinamento (sem usar um arquivo de assinatura) com uma rápida visualização do resultado, deve haver pelo menos duas amostras de treinamento presentes para que essa opção esteja disponível (Venturieri, 1996).

#### **4.2.3 Detecção de Mudanças**

Os resultados do NDVI foram relacionados às mudanças de classes de vegetação para os dois períodos em estudo. Para análise de mudanças foram usadas algumas combinações matemáticas como a subtração e intersecção, utilizando o *software ArcGis 10.40*, com a extensão *geoprocessamento*. A ferramenta originou área de mudanças para cada classe que indica a área de mudança de uma classe para outra classe em relação as duas datas, como mostram as figuras 8 e figura 9.

### 4.2.3. Fluxograma Metodológico

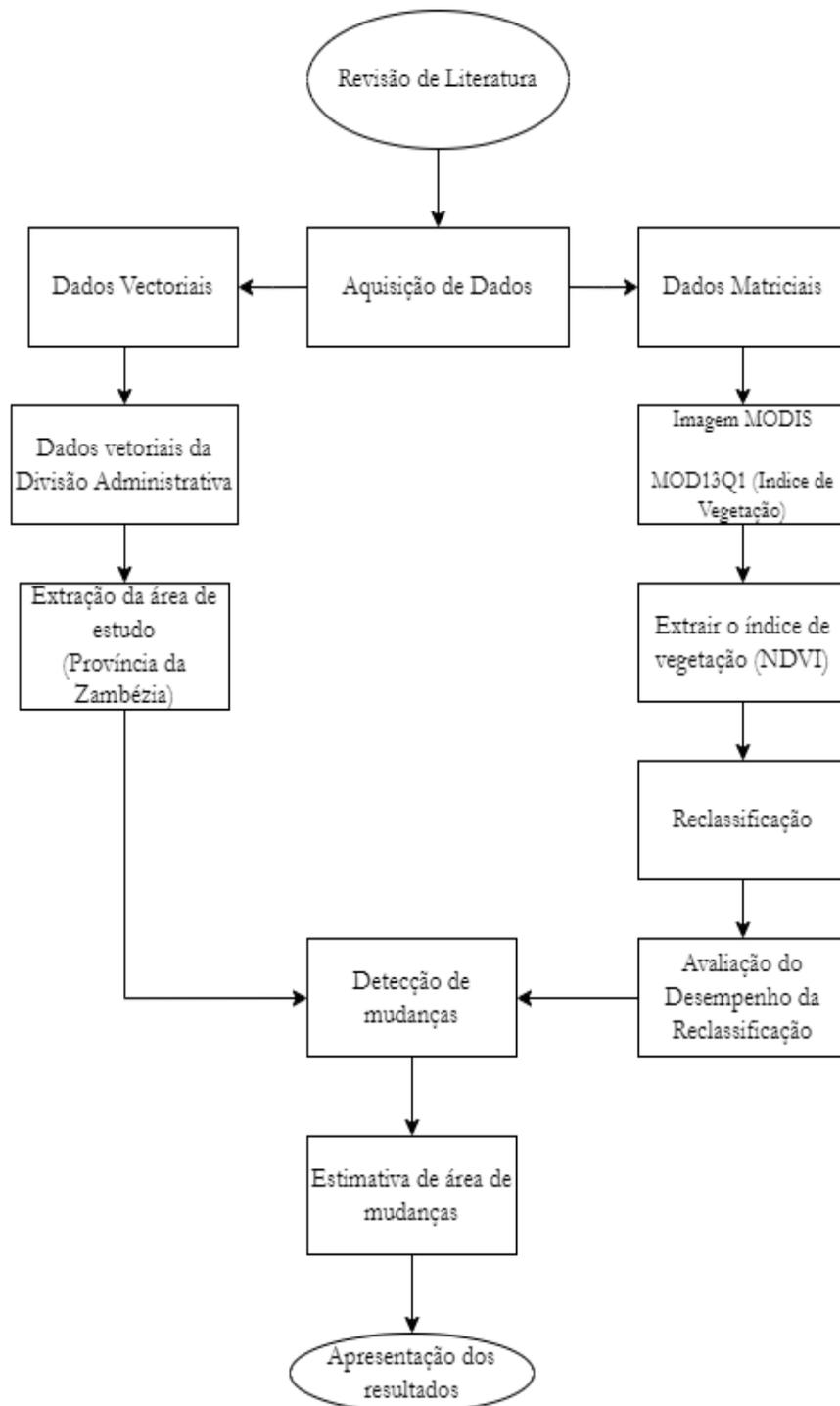


Figura 3: Fluxograma Metodológico

## Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados alcançados, sob forma de mapas e gráficos com vista a descrever de forma didática a análise feita.

### 5.1 Avaliação da Reclassificação do NDVI

A partir do resultados pode-se observar a densidade de vegetação por área a partir dos índices de vegetação. Para o ano de 2000 regista uma redução de área para a classe de vegetação alta com 51 590,146 km<sup>2</sup> para o Mês de fevereiro por 33 790, 435 km<sup>2</sup> para o Mês de dezembro, para o ano de 2016 as classes de vegetação baixa, vegetação média apresentam uma densidade de vegetação evolutiva, com mais detalhe seguem as tabelas a baixo:

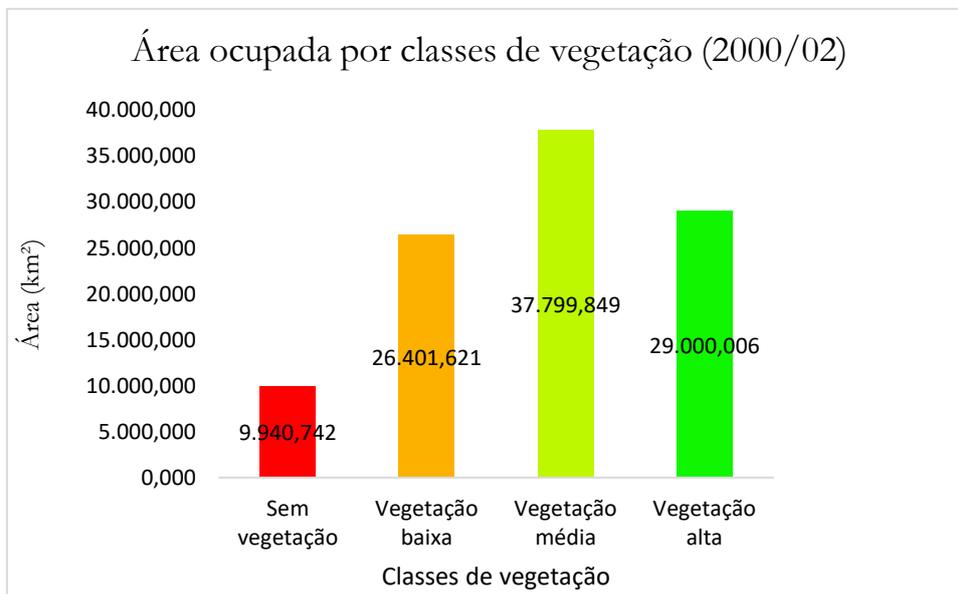


Figura 4: Densidade de vegetação (2000/02)

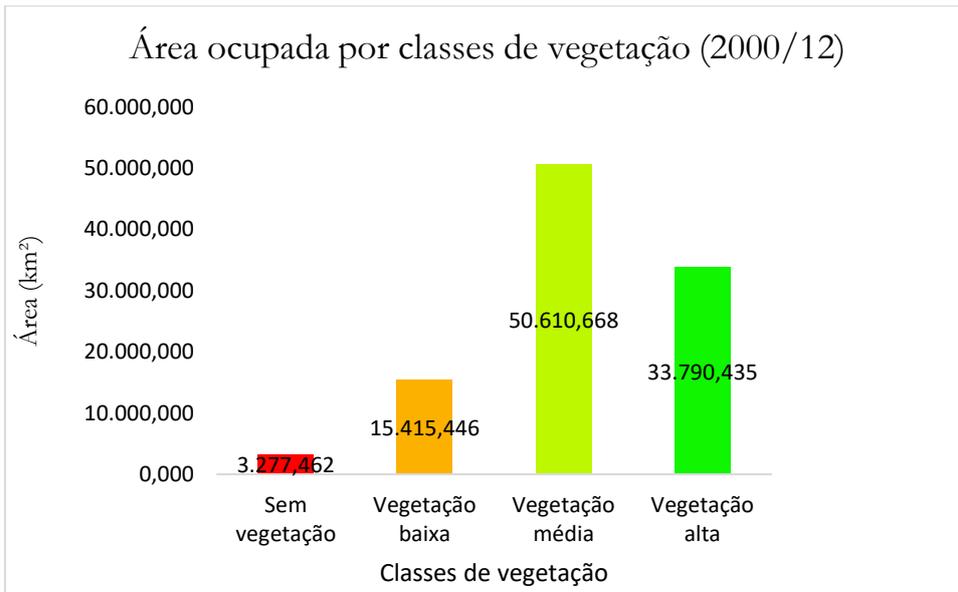


Figura 5:Densidade de vegetação (2000/12)

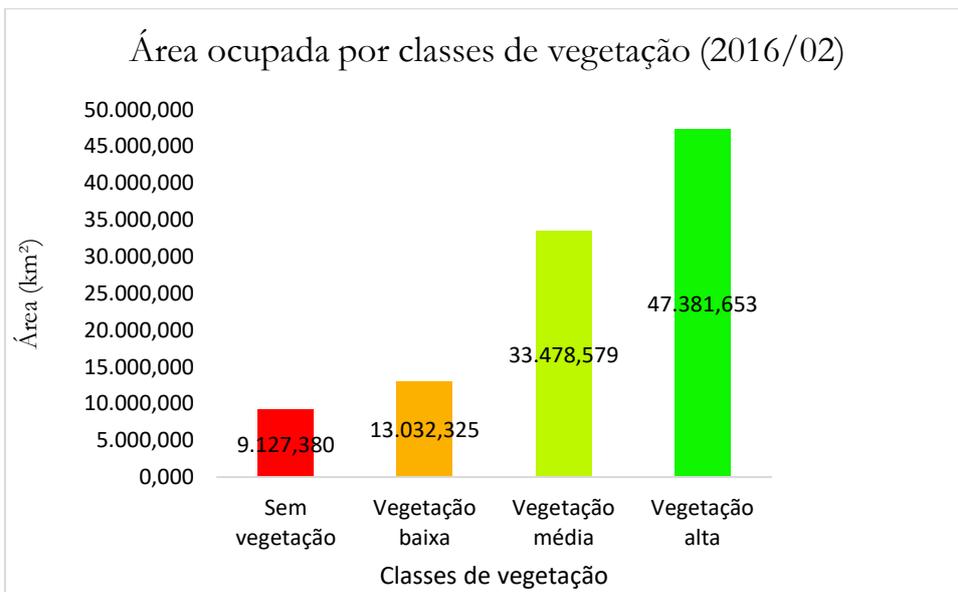


Figura 6:Densidade de vegetação (2016/02)

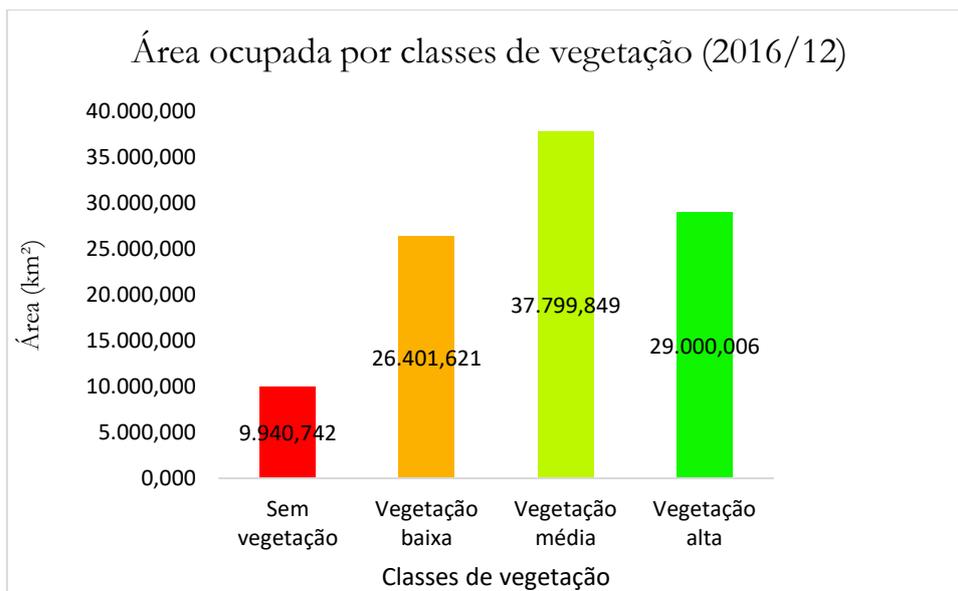


Figura 7: Densidade de vegetação (2016/12)

De acordo com a validação feita o índice *kappa* para o mês de fevereiro de 2000 e 2016 foi de 0,9800000, segundo Landis e Koch (1977) e é classificado como sendo excelente, para o mês de dezembro com 0,98110 e classificado como excelente e para o mês de dezembro de 2016 foi de 0,98889.

## 5.2 Detecção de Mudanças

A figura 8 e figura 9 ilustram as áreas de mudanças a partir do NDVI. As áreas de mudanças para os Meses de fevereiro e dezembro (2000-2016), registra uma alteração de 4 997,29 km<sup>2</sup>- 411,83 km<sup>2</sup> para a classe de densidade de sem vegetação e alta vegetação, de 4 996,07 km<sup>2</sup>- 1 257,50 km<sup>2</sup> para a classe de densidade de vegetação baixa e vegetação alta, 28 337,99 km<sup>2</sup> – 4 388,87 km<sup>2</sup> para a classe de densidade de vegetação alta e vegetação alta, o que indica uma fraca densidade do índice de vegetação. De forma detalhada seguem os gráficos, tabelas e mapas abaixo:

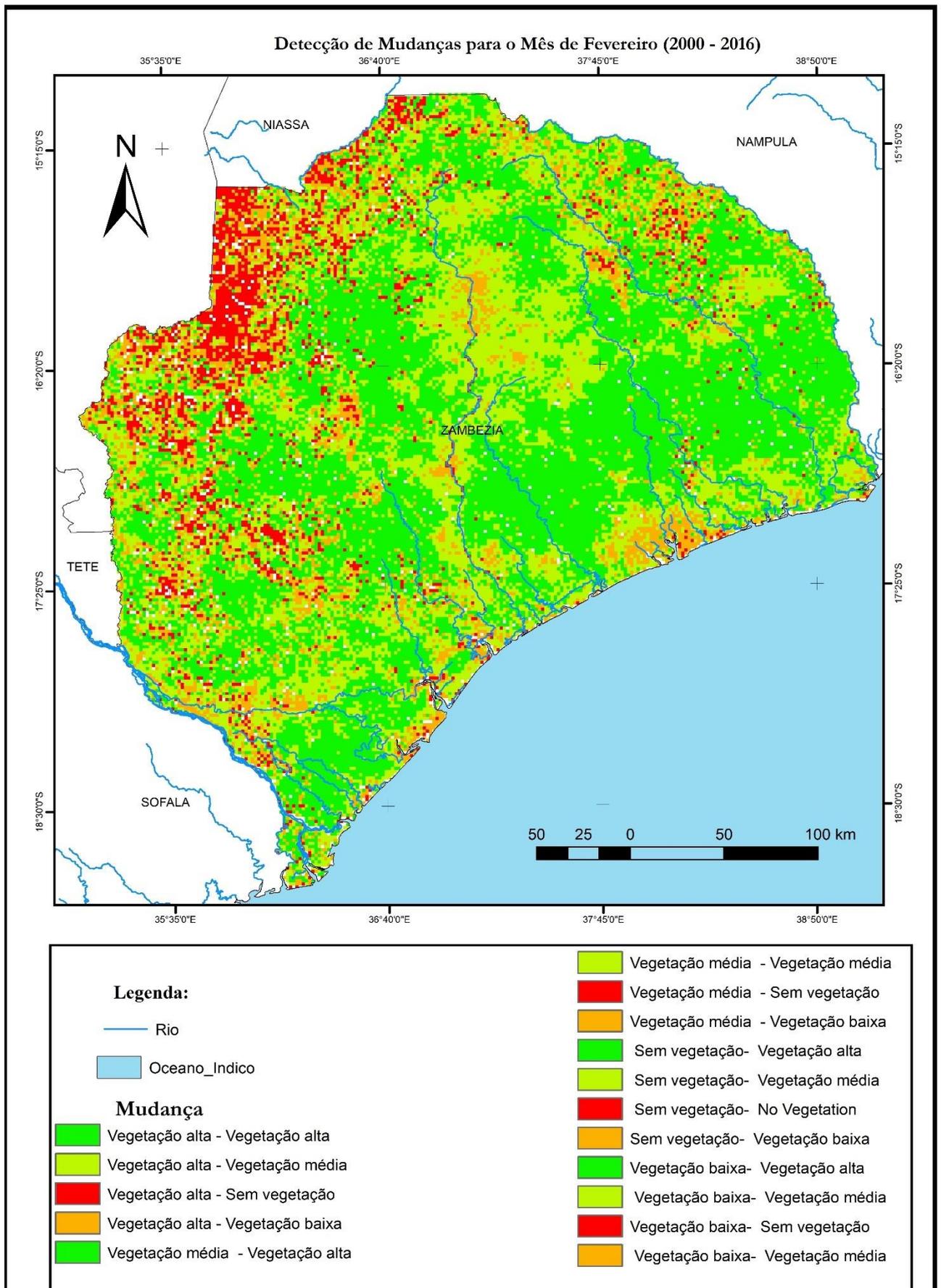


Figura 8: Deteccção de mudanças para o ano de 2000/02 a 2016/02

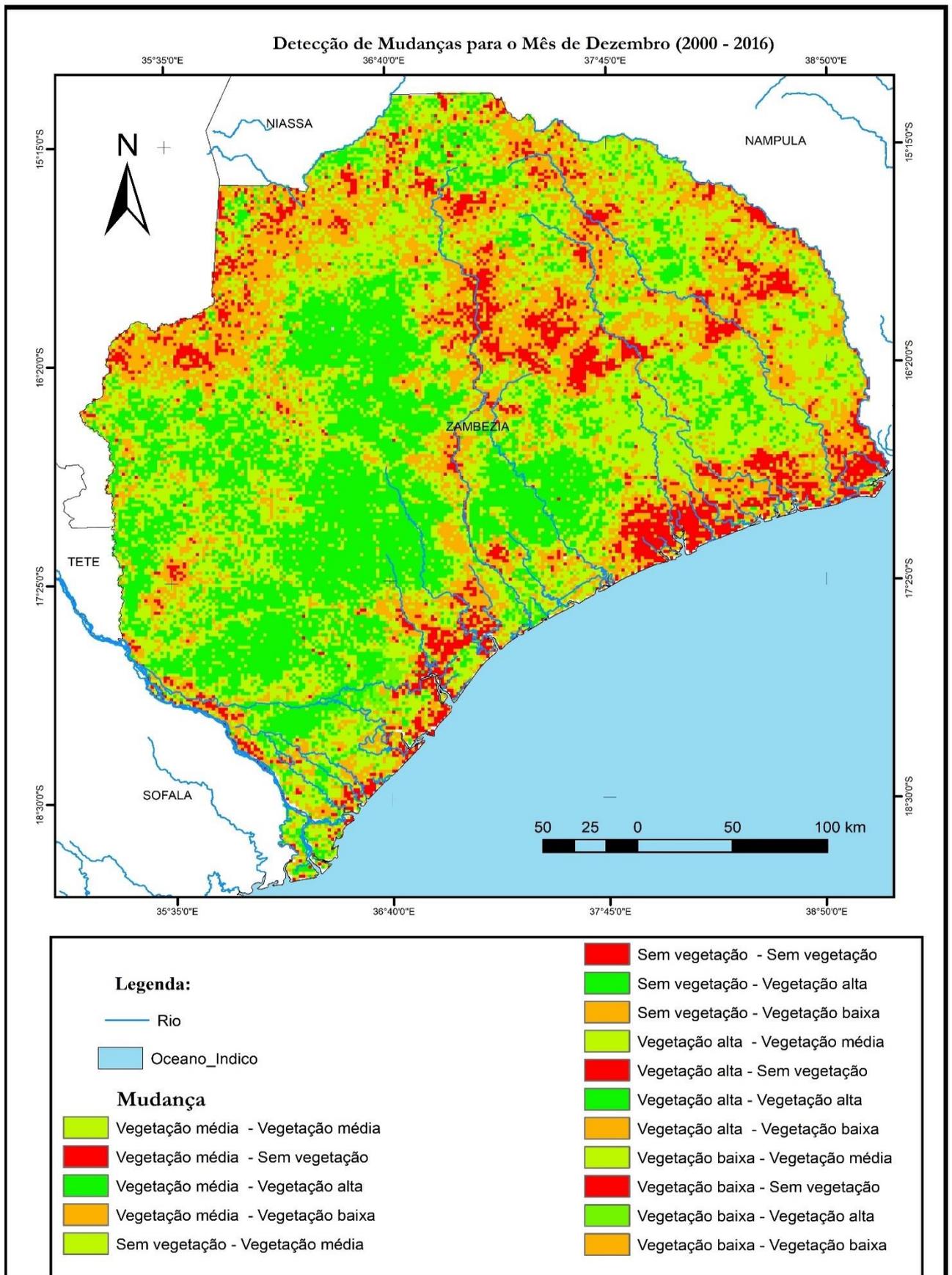


Figura 9: Detecção de mudanças para o ano de 2000/12 a 2016/12

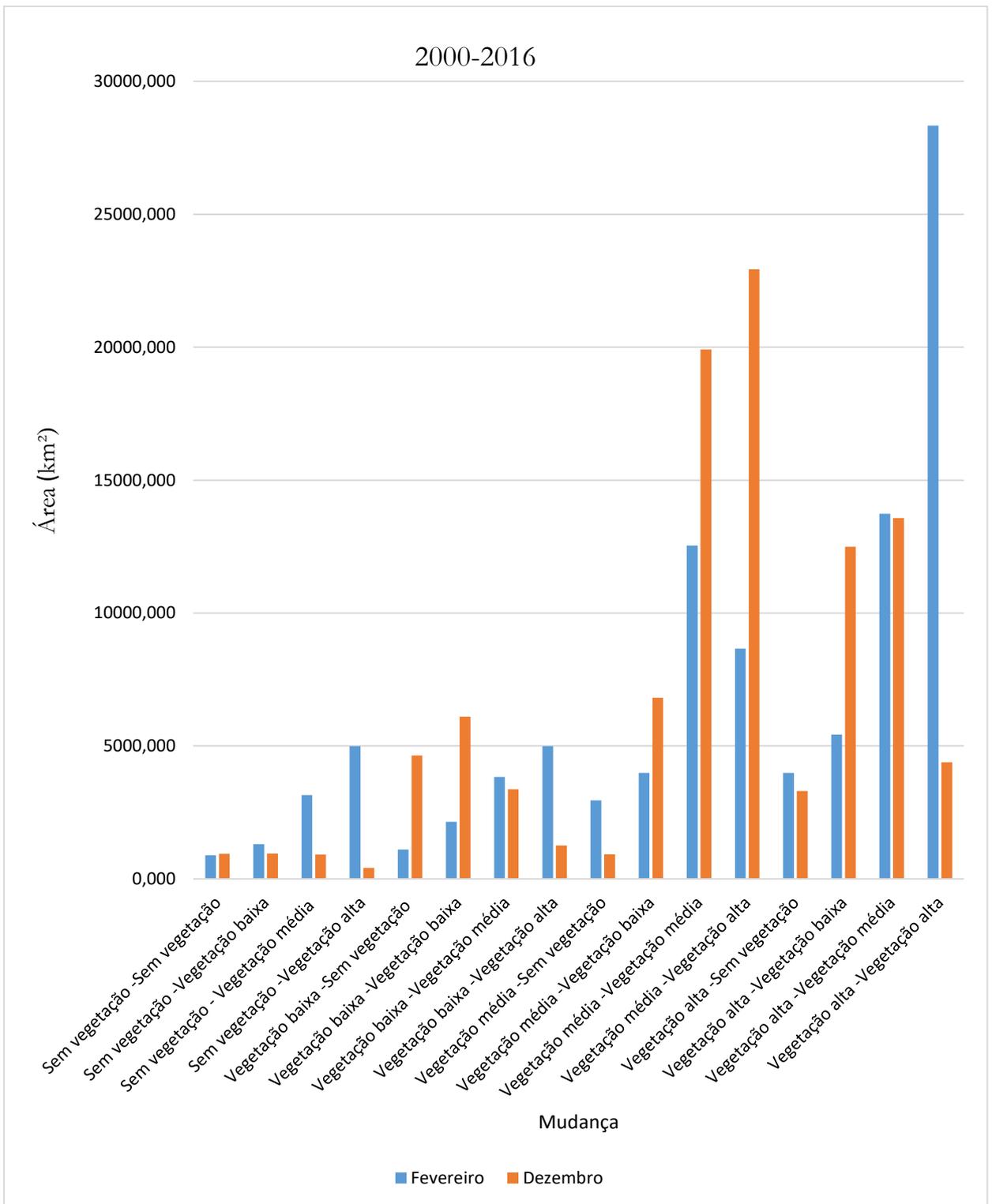


Figura 10: Área de mudanças para o ano de 2000/02 a 2016/02

Mudanças (2000-2016)	Fevereiro	Dezembro
Sem vegetação - Sem vegetação	891,809 km <sup>2</sup>	947,988 km <sup>2</sup>
Sem vegetação – vegetação baixa	1 306,713 km <sup>2</sup>	954,468 km <sup>2</sup>
Sem vegetação - vegetação média	3 151,544 km <sup>2</sup>	912,203 km <sup>2</sup>
Sem vegetação - vegetação alta	4 997,295 km <sup>2</sup>	411,830 km <sup>2</sup>
vegetação baixa - Sem vegetação	1 109,378 km <sup>2</sup>	4 644,790 km <sup>2</sup>
vegetação baixa - vegetação baixa	2 150,070 km <sup>2</sup>	6 098,065 km <sup>2</sup>
vegetação baixa - vegetação média	3 837,727 km <sup>2</sup>	3 372,288 km <sup>2</sup>
vegetação baixa - vegetação alta	4 996,072 km <sup>2</sup>	1 257,504 km <sup>2</sup>
vegetação média - Sem vegetação	2 959,197 km <sup>2</sup>	930,025 km <sup>2</sup>
vegetação média - vegetação baixa	3 989,618 km <sup>2</sup>	6 815,959 km <sup>2</sup>
vegetação média - vegetação média	12 538,310 km <sup>2</sup>	19 920,030 km <sup>2</sup>
vegetação média - vegetação alta	8 665,696 km <sup>2</sup>	22 933,125 km <sup>2</sup>
vegetação alta - Sem vegetação	3 984,122 km <sup>2</sup>	3 304,826 km <sup>2</sup>
vegetação alta - vegetação baixa	5 426,288 km <sup>2</sup>	12 496,783 km <sup>2</sup>
vegetação alta - vegetação média	13 732,699 km <sup>2</sup>	13 571,508 km <sup>2</sup>
vegetação alta - Vegetação alta	28 337,993 km <sup>2</sup>	4 388,870 km <sup>2</sup>

Tabela 4: Áreas de Mudança para o Mês de Fevereiro e Dezembro de 2000 e 2016

## Conclusões e Recomendações

De forma geral, o método mostrou-se eficiente para avaliação do espaço-tempo da cobertura vegetal, estudar a dinâmica da cobertura vegetal. De acordo com os resultados, as áreas de mudanças para os Meses de fevereiro e dezembro (2000-2016), regista uma alteração de 4 997,29 km<sup>2</sup>- 411,83 km<sup>2</sup> para a classe de densidade de sem vegetação para vegetação alta, de 4 996,07 km<sup>2</sup>- 1 257,50 km<sup>2</sup> para a classe de densidade de vegetação baixa para alta vegetação, 28 337,99 km<sup>2</sup> – 4 388,87 km<sup>2</sup> para a classe de densidade de vegetação alta para vegetação alta, o que indica uma fraca densidade do índice de vegetação. Os resultados deste estudo permitem identificar senários futuros do comportamento da vegetação, afim de se traçar medidas para a preservação da cobertura vegetal.

Desta forma recomenda-se que seja explorado o tema para as outras áreas de Moçambique e se explore as diversas técnicas de detecção de mudanças, visto que vários projetos são realizados por via a preservação de florestas em Moçambique, desta forma a detecção de mudanças permite identificar senários futuros da vegetação.

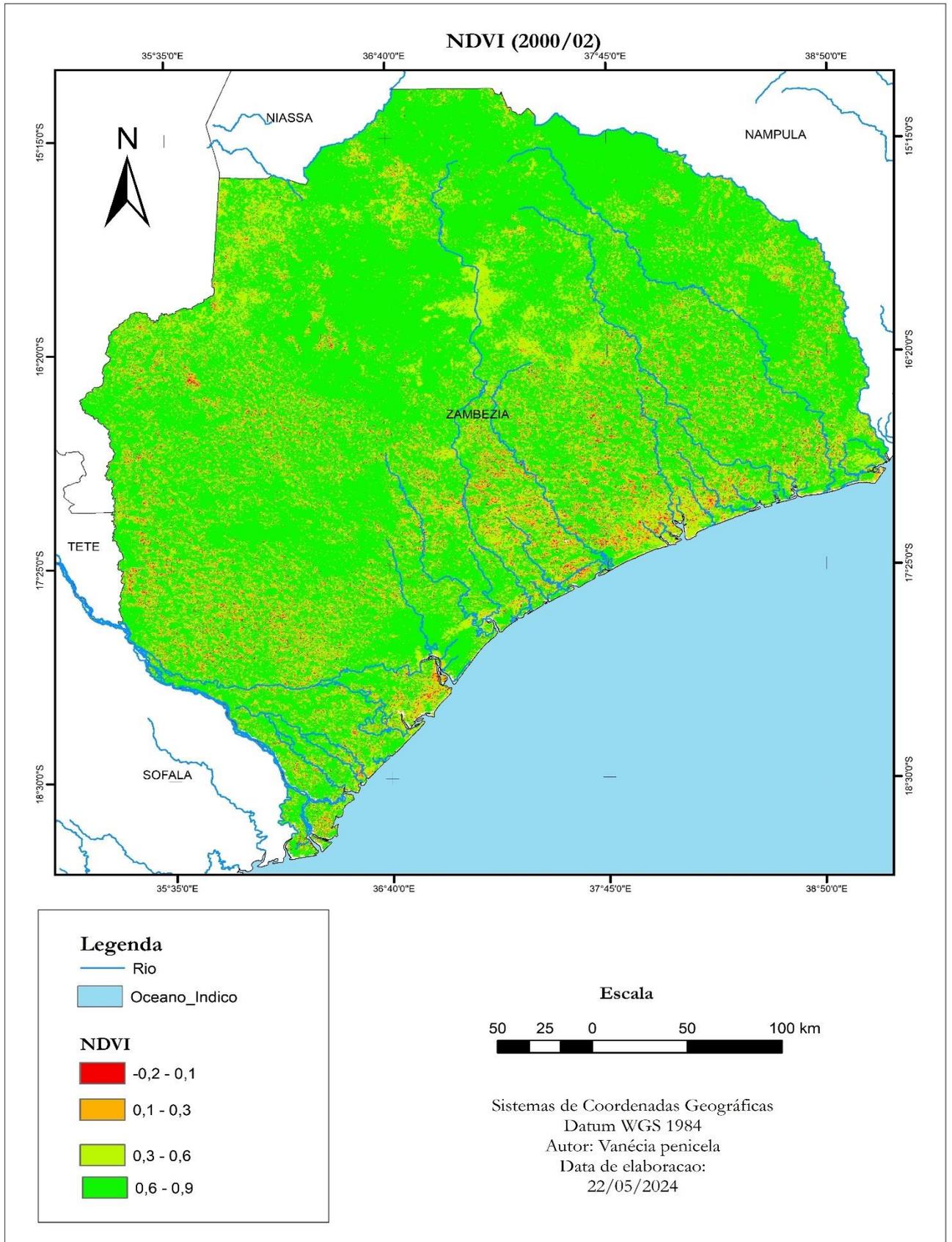
## Referências Bibliográficas

- ANDRÉA DE OLIVEIRA PASSOS, Índices de Reflectância, Ndvi e Evi como Indicadores de Níveis de Degradação das Pastagens Tropicais, Câmpus de Jaboticabal, 52p, 2021.
- Antunes J. (2005). Aplicação de Lógica Fuzzy para Estimativa de Área Plantada da Cultura de Soja Utilizando Imagens AVHRR-NOAA . dissertacao para o grau de Mestre. 105p. Universidade Estadual de Campinas.
- Banco mundial (2018). Fortalecendo os Meio de subsistência e conversação das florestas em Moçambique. 20p.
- Caeiro,S. (2003). Sistemas de Informação Geográfica: Principais conceitos. 4: 41p.
- COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. International Journal of Remote Sensing, v. 25, n. 9, p. 1565–1596, 2004.
- Dias I. (2017). RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO ESTADO DE SERGIPE . dissertacao para o grau de Mestre. 131p. Universidade Federal do Paraná.
- DNCI. 2018. Plano operacional da comercializacao agricola zambezia. 50p.
- Henrique V. e Hélio B. (2013). Geração de imagens sintéticas para utilização em estudos de detecção. 7p.
- Ibraimo M. 2004. Ambientes Relacao Solo- Homem, Pedogenese e Absorcao de Fosforo em Solos da Provincia da Zambezia, Mocambique. 163p.
- Kasoro et al (2021). Spatial and temporal changes of vegetation cover in China based on MODIS NDVI – 1371.
- Marelo, L (2003). Espaço & Geografia. SENSOR MODIS: CARACTERÍSTICAS GERAIS E APLICAÇÃO , 91:121, ISSN: 1516-9375.
- MARZOLI A. (2007) Inventário florestal nacional. Relatório final. Direcção Nacional de Terras e Florestas. Ministério da Agricultura. Maputo, Mozambique.
- MITAFER. 2018. Inventario Florestal Nacional. 118p.
- MITADER. 2018b. Inventário Florestal Nacional: Relatório final. Maputo, Moçambique: MITADER (Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural). 118pp
- Monte Mabu, uma floresta sagrada e fascinante | Biofund.

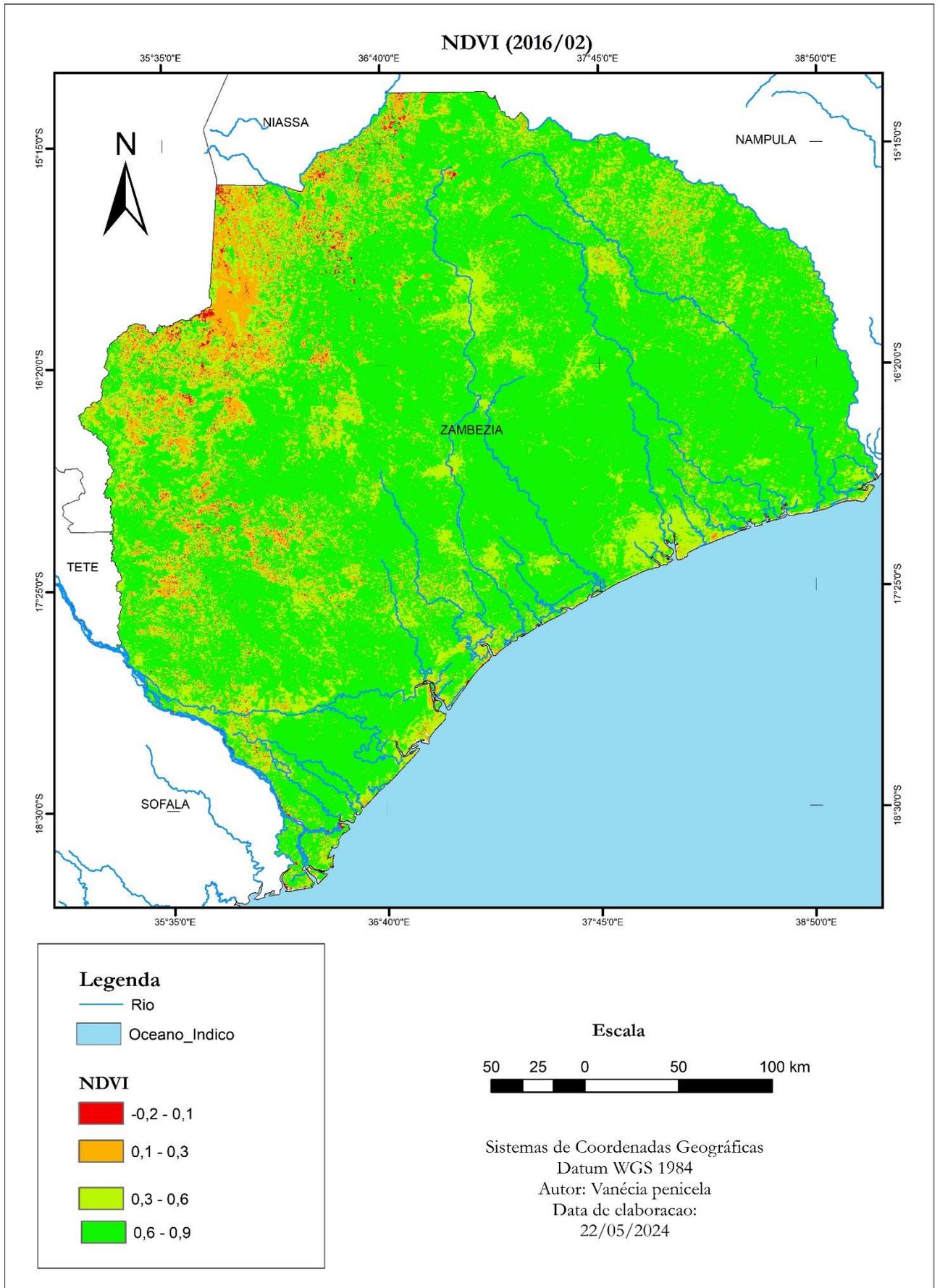
- Relatório do Inventário Florestal da Província da Zambézia: anexo do IV Inventário Florestal Nacional (actualização), Maputo, 2021.
- Ricardo Tanscheit, Sistemas Fuzzy . RJ.
- Rwanga, S. S., e Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy Assessment of Land Use / Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. 2017, 611–622. <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033>.
- SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing, v. 10, n. 6, p. 37–41, 1989.
- U, D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. International journal of remote sensing, v. 25, n. 12, p. 2365-2401, 2004.
- Zanda J. F 2005. Variacao espacial do uso dos solos no distrito de Magude e sua relação com o fenómeno de degradação. UEM. Mputo.

# Anexos

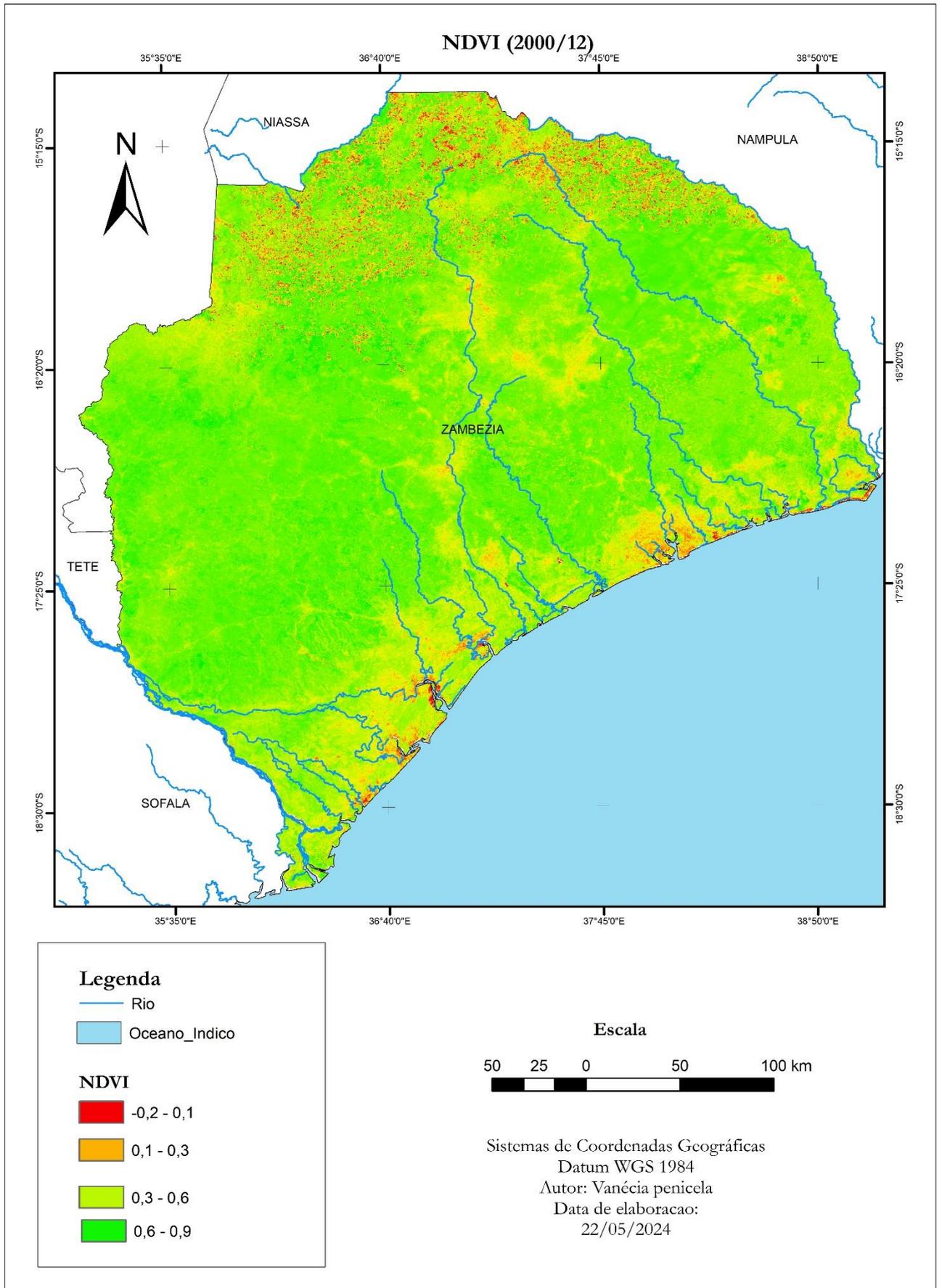
## Anexo 1: NDVI para o Mês de Fevereiro de 2000



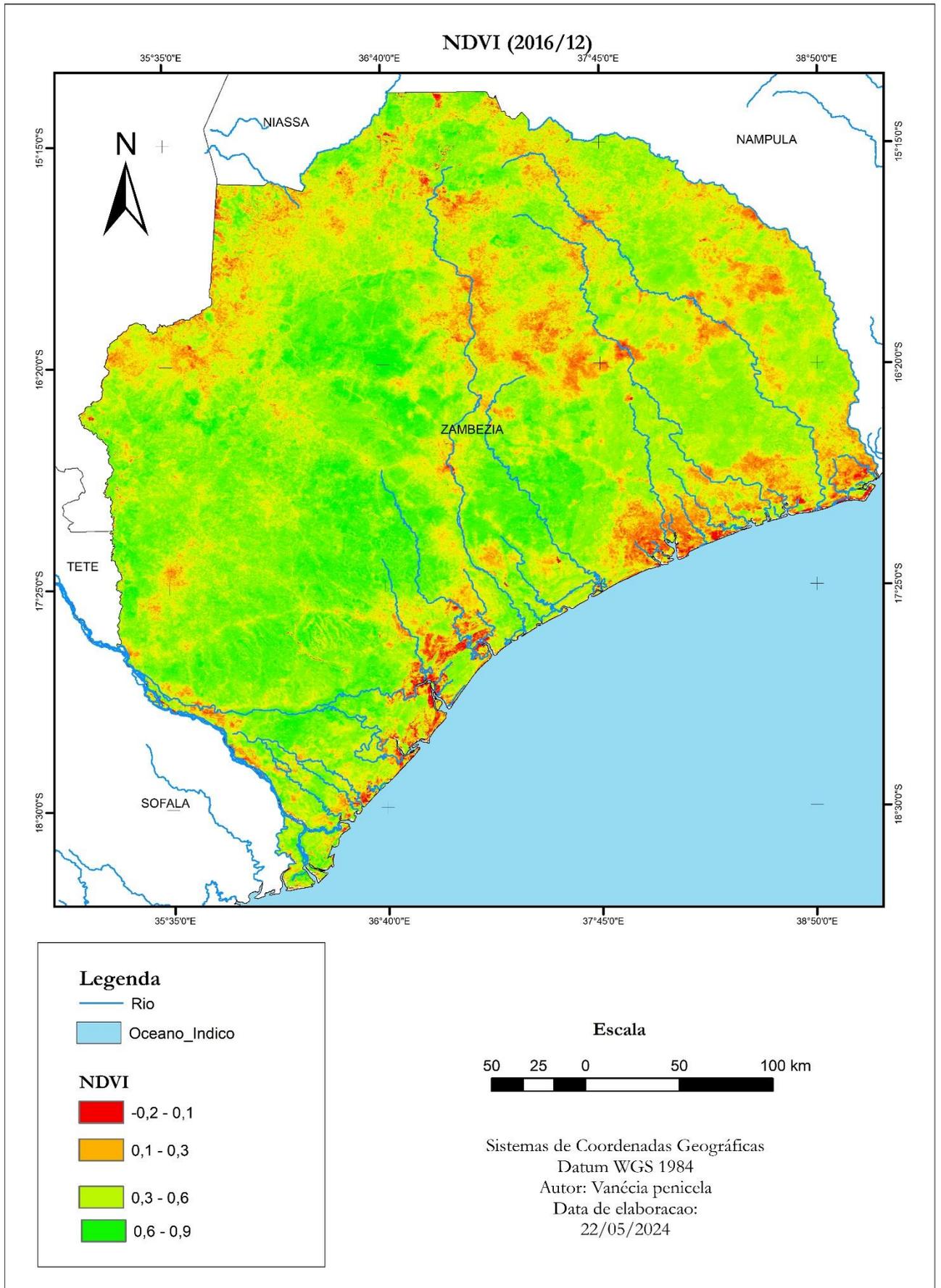
## Anexo 2: NDVI para o Mês de Fevereiro de 2016



### Anexo 3: NDVI para o Mês de Dezembro de 2000



Anexo 4: NDVI para o Mês de Dezembro de 2016



## Anexo 5: Validação estatística para o mês de fevereiro de 2000

ACCURACY ASSESSMENT

LOCATION: temp\_location

Wed Sep 27 14:58:21 2023

MASK: none

MAPS: MAP1 = (untitled) (rast\_651426aaab1b229 in PERMANENT)

MAP2 = (untitled) (rast\_651426aaab1b228 in PERMANENT)

Error Matrix (MAP1: reference, MAP2: classification)

Panel #1 of 2

		MAP1				
cat#		1	2	4	5	7
M	1 7253696		0	0	0	0
A	2 0	404540128		0	0	0
P	4 0	0	8394794		0	0
2	5 0	0	0	13519351		0
	7 0	0	0	0	3723588	
	8 0	0	0	0	0	
	9 0	0	0	0	0	
	10 0	0	0	0	0	
	11 0	0	0	0	0	
Col Sum		7253696	404540128	8394794	13519351	3723588

Panel #2 of 2

		MAP1			
cat#		8	9	10	11

M	1	0	0	0		
A	2	0	0	0		
P	4	0	0	0		
2	5	0	0	0		
	7	0	0	0		
	8	1026129	0	0	0	
	9	0	365	0	0	
	10	0	0	2802	0	
	11	0	0	0	596730246	
Col Sum		1026129	365	2802	596730246	

cat# Row Sum

r	1	0	0	0	0	0
a	2	0	0	0	0	0
s	4	0	0	0	0	0
t	5	0	0	0	0	0
_	7	0	0	0	0	0
6	8	1026129	0	0	0	1026129
5	9	0	365	0	0	2052623
1	10	0	0	2802	0	3081919
4	11	0	0	0	596730246	600841461

607002132

Cats	% Commission	% Omission	Estimated Kappa
1	0.000000	0.000000	1.000000
2	0.000000	0.000000	0.990000
4	0.000000	0.000000	0.960000

5	0.000000	0.000000	0.9000000
7	0.000000	0.000000	1.000000
8	0.000000	0.000000	1.000000
9	0.000000	0.000000	1.000000
10	0.000000	0.000000	1.000000
11	0.000000	0.000000	1.000000

Kappa          Kappa Variance          MCC

0.9800000      0.000000      -1.000000

Obs Correct    Total Obs      % Observed Correct

1035191099          1035191099          98.000000

#### MAP1 Category Description

1: (Vegetacao alta)

2: (Vegetacao media)

4: (Vegetacao baixa)

5: (Sem vegetacao)

7: (Água)

8: (no description)

9: (no description)

10: (no description)

11: (no description)

#### MAP2 Category Description

1: (Floresta)

2: Vegetação Arbustiva)

4: (Agricultura/Culturas)

5: (Urbano / Área construída)

7: (Água)

8: (no description)

9: (no description)

10: (no description)

11: (no description)

## Anexo 6: Validação estatística para o mês de dezembro de 2000

### ACCURACY ASSESSMENT

LOCATION: temp\_location

Wed Sep 27 14:58:21 2023

MASK: none

MAPS: MAP1 = (untitled) (rast\_651426aaab1b229 in PERMANENT)

MAP2 = (untitled) (rast\_651426aaab1b228 in PERMANENT)

Error Matrix (MAP1: reference, MAP2: classification)

Panel #1 of 2

		MAP1				
cat#		1	2	4	5	7
M	1 7253696		0	0	0	0
A	2 0	404540128		0	0	0
P	4 0	0	8394794		0	0
2	5 0	0	0	13519351		0
	7 0	0	0	0	3723588	
	8 0	0	0	0	0	
	9 0	0	0	0	0	
	10 0	0	0	0	0	
	11 0	0	0	0	0	
Col Sum		7253696	404540128	8394794	13519351	3723588

Panel #2 of 2

		MAP1			
cat#		8	9	10	11
M	1 0	0	0	0	
A	2 0	0	0	0	
P	4 0	0	0	0	
2	5 0	0	0	0	
	7 0	0	0	0	
	8 1026129	0	0	0	
	9 0	365	0	0	
	10 0	0	2802	0	
	11 0	0	0	596730246	
Col Sum		1026129	365	2802	596730246

cat#	Row Sum					
r	1	0	0	0	0	0
a	2	0	0	0	0	0
s	4	0	0	0	0	0
t	5	0	0	0	0	0
_	7	0	0	0	0	0
6	8	1026129	0	0	0	1026129
5	9	0	365	0	0	2052623
1	10	0	0	2802	0	3081919
4	11	0	0	0	596730246	600841461
						607002132

Cats	% Commission	% Omission	Estimated Kappa
1	0.000000	0.000000	1.000000
2	0.000000	0.000000	0.988889
4	0.000000	0.000000	0.978888
5	0.000000	0.000000	0.970000
7	0.000000	0.000000	1.000000
8	0.000000	0.000000	1.000000
9	0.000000	0.000000	1.000000
10	0.000000	0.000000	1.000000
11	0.000000	0.000000	1.000000

Kappa	Kappa Variance	MCC
-------	----------------	-----

0.98110	0.000000	-1.000000
---------	----------	-----------

Obs Correct	Total Obs	% Observed Correct
-------------	-----------	--------------------

1035191099	1035191099	98.000000
------------	------------	-----------

MAP1 Category Description

1: (Vegetacao alta)

2: (Vegetacao media)

4: (Vegetacao baixa)

5: (Sem vegetacao)

7: (Água)

8: (no description)

9: (no description)

10: (no description)

11: (no description)

MAP2 Category Description

- 1: (Floresta)
- 2: Vegetação Arbustiva)
- 4: (Agricultura/Culturas)
- 5: (Urbano / Área construída)
- 7: (Água)
- 8: (no description)
- 9: (no description)
- 10: (no description)
- 11: (no description)

**Anexo 7: Validação estatística para o mês de fevereiro de 2016**

ACCURACY ASSESSMENT

LOCATION: temp\_location

Wed Sep 27 14:58:21 2023

MASK: none

MAPS: MAP1 = (untitled) (rast\_651426aaab1b229 in PERMANENT)

MAP2 = (untitled) (rast\_651426aaab1b228 in PERMANENT)

Error Matrix (MAP1: reference, MAP2: classification)

Panel #1 of 2

		MAP1				
cat#		1	2	4	5	7
M	1 7253696		0	0	0	0
A	2 0 404540128			0	0	0
P	4 0 0 8394794				0	0
2	5 0 0 0 13519351					0
	7 0 0 0 0 3723588					
	8 0 0 0 0 0					

	9	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0
Col Sum			7253696	404540128	8394794	13519351 3723588

Panel #2 of 2

		MAP1			
cat#		8	9	10	11
M	10	0	0	0	
A	20	0	0	0	
P	40	0	0	0	
2	50	0	0	0	
	70	0	0	0	
	8	1026129	0	0	0
	9	0	365	0	0
	10	0	0	2802	0
	11	0	0	0	596730246
Col Sum		1026129	365	2802	596730246

cat#	Row Sum					
r	1	0	0	0	0	0
a	2	0	0	0	0	0
s	4	0	0	0	0	0
t	5	0	0	0	0	0
_	7	0	0	0	0	0
6	8	1026129	0	0	0	1026129

5 9 0 365 0 0 2052623  
 1 10 0 0 2802 0 3081919  
 4 11 0 0 0 596730246 600841461

607002132

Cats	% Commission	% Omission	Estimated Kappa
------	--------------	------------	-----------------

1	0.000000	0.000000	1.000000
2	0.000000	0.000000	1.000000
4	0.000000	0.000000	0.970000
5	0.000000	0.000000	0.990000
7	0.000000	0.000000	1.000000
8	0.000000	0.000000	1.000000
9	0.000000	0.000000	1.000000
10	0.000000	0.000000	1.000000
11	0.000000	0.000000	1.000000

Kappa	Kappa Variance	MCC
-------	----------------	-----

0.9800000	0.000000	-1.000000
-----------	----------	-----------

Obs Correct	Total Obs	% Observed Correct
-------------	-----------	--------------------

1035191099	1035191099	99.000000
------------	------------	-----------

MAP1 Category Description

- 1: (Planta muito saudável)
- 2: (Planta moderadamente saudável)
- 4: (Planta não saudável)
- 5: (Planta morta)
- 7: (Água)

- 8: (no description)
- 9: (no description)
- 10: (no description)
- 11: (no description)

MAP2 Category Description

- 1: (Floresta)
- 2: Vegetação Arbustiva)
- 4: (Agricultura/Culturas)
- 5: (Urbano / Área construída)
- 7: (Água)
- 8: (no description)
- 9: (no description)
- 10: (no description)
- 11: (no description)

**Anexo 8: Validação estatística para o mês de dezembro de 2016**

ACCURACY ASSESSMENT

LOCATION: temp\_location

Wed Sep 27 14:58:21 2023

MASK: none

MAPS: MAP1 = (untitled) (rast\_651426aaab1b229 in PERMANENT)

MAP2 = (untitled) (rast\_651426aaab1b228 in PERMANENT)

Error Matrix (MAP1: reference, MAP2: classification)

Panel #1 of 2

		MAP1				
cat#		1	2	4	5	7
M	1 7253696	0	0	0	0	0

A	2	0	404540128	0	0	0	
P	4	0	0	8394794	0	0	
2	5	0	0	0	13519351	0	
	7	0	0	0	0	3723588	
	8	0	0	0	0	0	
	9	0	0	0	0	0	
	10	0	0	0	0	0	
	11	0	0	0	0	0	
Col Sum			7253696	404540128	8394794	13519351	3723588

Panel #2 of 2

		MAP1			
cat#		8	9	10	11
M	1	0	0	0	
A	2	0	0	0	
P	4	0	0	0	
2	5	0	0	0	
	7	0	0	0	
	8	1026129	0	0	0
	9	0	365	0	0
	10	0	0	2802	0
	11	0	0	0	596730246
Col Sum		1026129	365	2802	596730246

cat# Row Sum

r	1	0	0	0	0	0
a	2	0	0	0	0	0

s	4	0	0	0	0	0
t	5	0	0	0	0	0
_	7	0	0	0	0	0
6	8	1026129	0	0	0	1026129
5	9	0	365	0	0	2052623
1	10	0	0	2802	0	3081919
4	11	0	0	0	596730246	600841461

607002132

Cats	% Commission	% Omission	Estimated Kappa
1	0.000000	0.000000	1.000000
2	0.000000	0.000000	0.980000
4	0.000000	0.000000	0.990000
5	0.000000	0.000000	0.990000
7	0.000000	0.000000	1.000000
8	0.000000	0.000000	1.000000
9	0.000000	0.000000	1.000000
10	0.000000	0.000000	1.000000
11	0.000000	0.000000	1.000000

Kappa	Kappa Variance	MCC
0.988889	0.000000	-1.000000

Obs Correct	Total Obs	% Observed Correct
1035191099	1035191099	99.000000

#### MAP1 Category Description

- 1: (Planta muito saudável)
- 2: (Planta moderadamente saudável)
- 4: (Planta não saudável)
- 5: (Planta morta)
- 7: (Água)
- 8: (no description)
- 9: (no description)
- 10: (no description)
- 11: (no description)

#### MAP2 Category Description

- 1: (Floresta)
- 2: Vegetação Arbustiva)
- 4: (Agricultura/Culturas)
- 5: (Urbano / Área construída)
- 7: (Água)
- 8: (no description)
- 9: (no description)
- 10: (no description)
- 11: (no description)