UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA E INFORMÁTICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA PRODUÇÃO DE MAPAS A PARTIR DA ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA PARA O MONITORAMENTO E ANÁLISE DA SAÚDE DA VEGETAÇÃO E SUAS MUDANÇAS NOS ANOS 2016 E 2023

CASO DE ESTUDO: DISTRITO DE MACHAZE, PROVÍNCIA DE MANICA

EUFRIGÍNIA NATÁLIA MANJAZE

MAPUTO

2025

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA E INFORMÁTICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA PRODUÇÃO DE MAPAS A PARTIR DA ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA PARA O MONITORAMENTO E ANÁLISE DA SAÚDE DA VEGETAÇÃO E SUAS MUDANÇAS NOS ANOS 2016 E 2023

CASO DE ESTUDO: DISTRITO DE MACHAZE, PROVÍNCIA DE MANICA

EUFRIGÍNIA NATÁLIA MANJAZE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Em Sistemas de Informação Geográfica Para o Desenvolvimento Sustentável da Universidade Eduardo Mondlane, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof. Doutor Ernesto Lenathy Muheca

MAPUTO

2025

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA E INFORMÁTICA

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

EUFRIGÍNIA NATÁLIA MANJAZE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Em Sistemas de Informação Geográfica Para o Desenvolvimento Sustentável da Universidade Eduardo Mondlane, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável.

Aprovado em-

:20 de Agosto de 2025, por:

Prof. Doutor Alberto Chicafo Mulenga
(Arguente - DMI-UEM)

Doutor Silvino Pedro Cumbane
(Presidente – DMI-UEM)

Prof. Doutor Ernesto Lenathy Muheca
(Orientador – DMI-UEM)

Maputo

2025

Dedicatória

Este trabalho é dedicado à minha mãe, meu filho e ao Pirata.

AGRADECIMENTOS

Começo por agradecer a Deus todo Poderoso por nunca me ter abandonado e por iluminar a minha caminhada. A Ele toda a honra, gloria, louvor e exaltação ontem, hoje, amanhã e SEMPRE.

Agradecer ao meu supervisor, Prof. Doutor Ernesto Lenathy Muheca (UEM) e ao meu Co-orientador dr. António Miambo por todos conselhos que me deram, pela sua disponibilidade por todo seu apoio, generosidade, amabilidade e ensinamentos durante a elaboração escrita e prática deste relatório.

Agradecer ao CENACARTA I.P pela oportunidade de estágio e pelo acolhimento.

Gostaria também de agradecer a toda minha turma e professores do mestrado. Agradecer de forma especial aos meus colegas Horácio Januário e Paulo Jorge Martinho que durante a formação foram meus pilares nos estudos e elaboração dos projectos. Já diz o ditado "Quer ser bom, junte-se aos melhores".

Por fim e não menos importante, deixo um agradecimento especial à minha mãe e ao meu filho pois, estes são a minha força, coragem, determinação e motivação para alcançar metas para além do meu potencial

pois, o seu apoio incondicional e sacrifício não têm preço e nem palavras que eu possa proferir para demonstrar a minha profunda gratidão. Mãe, tudo que há de bom e do melhor em mim, as minhas maiores conquistas eu devo a si. Vos amo com todas forças do meu coração. Ao Pirata Suto pelo apoio incondicional, pela participação, providência e comprometimento durante todo percurso, as minhas irmãs pelo encorajamento, aos meus sobrinhos, a minha neta, aos meus amigos e a todos os que me incentivaram e motivaram a atingir o objectivo de completar esta etapa do mestrado.

Epígrafe

“Nem Jesus Cristo, quando veio à Terra, se propôs resolver o problema particular de alguém. Ele se limitou a nos ensinar o caminho, que necessitamos palmilhar por nós mesmos”. (Chico Xavier)

RESUMO

A aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), no contexto do processamento digital na produção cartográfica a partir da Análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada tem auxiliado a confecção de mapas gerais, temáticos, cartas e plantas topográficas de forma eficiente e rápida em relação a aplicação dos métodos clássicos na produção cartográfica. A Cartografia Digital apresenta dados, resultados ou indicações sob forma numérica, por oposição a analógica implicando o envolvimento de ambiente computacional. Os principais mapas produzidos no Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção Instituto Público com essa tecnologia são os mapas temáticos e Plantas urbanas. O estudo apresentado tem como objectivo a aplicação do SIG no processamento digital e produção de mapas cartográficos para a análise do uso e cobertura da terra, do Posto Administrativo de Machaze, com a mesma designação de Distrito, está localizado na província de Manica, no centro de Moçambique, com sede na povoação de Chitobe. Todas etapas foram realizadas no ambiente de geoprocessamento, no software Erdas Imagine 10.4 e ArcGIS Pro 10.3.2 como já referido pela autora acima e das imagens no acervo do *Google Earth Engine*. Os anos escolhidos (2016 e 2023) foram representativos para a geração dos índices, eles não se mantiveram iguais ao longo do tempo, os valores foram decaindo conforme os anos passaram. No geral, houve uma alteração entre as classes de NDVI em 2016 e 2023. As florestas Decídua, Floresta Sempervirente e Pântanos com Vegetação reduziu significativamente em 2023. Este trabalho demonstrou que entre os anos de 2016 e 2023, a distribuição das áreas das classes de NDVI no distrito de Machaze apresentou mudanças significativas. Essas mudanças refletem alterações no uso do solo e nas condições ambientais do distrito de Machaze, destacando tendências de degradação em áreas de vegetação densa e um aumento nas áreas de vegetação escassa e moderada.

Palavras-chave: Classificação de Imagens, NDVI, Processamento de Imagens.

ABSTRACT

The application of Geographic Information Systems (GIS) in the context of digital processing in cartographic production based on Normalised Difference Vegetation Index analysis has helped to produce general and thematic maps, charts and topographic plans efficiently and quickly compared to the application of classic cartographic production methods. Digital cartography presents data, results or indications in numerical form, as opposed to analogue form, involving the use of a computer environment. Digital cartography presents data, results or indications in numerical form, as opposed to analogue form, involving the use of a computer environment. The main maps produced by the National Centre for Cartography and Remote Sensing of the Public Institute (CENACARTA I.P) using this technology are thematic maps and urban plans. The aim of the study presented is to apply GIS to digital processing in the production of cartographic maps for analysing land use and land cover in the Machaze Administrative Post, with the same district designation, located in the province of Manica, in the centre of Mozambique, with headquarters in the village of Chitobe. All the steps were carried out in the geoprocessing environment, using the Erdas Imagine 10.4 and ArcGIS Pro 10.3.2 software, as already mentioned by the author above, and the images in the Google Earth Engine collection. The years chosen (2016 and 2023) were representative for generating the indices; they did not remain the same over time; the values decreased as the years passed. Overall, there was a shift between the NDVI classes between 2016 and 2023. Deciduous Forests, Evergreen Forests, and Vegetated Swamps saw significant reductions in 2023. This study demonstrated that between 2016 and 2023, the distribution of NDVI classes in the Machaze district showed significant changes. These changes reflect changes in land use and environmental conditions in the Machaze district, highlighting degradation trends in areas with dense vegetation and an increase in areas with sparse and moderate vegetation.

Keywords: Image Classification, NDVI, Image Processing.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ESTRUTURA INTERNA DO CENACARTA 2
FIGURA 2: FLUXOGRAMA DAS ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE O ESTÁGIO 4
FIGURA 3: TIPOS DE REPRESENTAÇÃO DE DADOS GEO-ESPACIAIS 10
FIGURA 4: CAMADAS DE REPRESENTAÇÃO DE DADOS GEO-ESPACIAIS 10
FIGURA 5: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 16
FIGURA 6: CONSULTA NA BASE DE DADOS 17
FIGURA 7: PONTOS DE CONTROLE 18
FIGURA 8: METADADOS DA IMAGEM 19
FIGURA 9: MUDANÇA DA PROJECÇÃO 20
FIGURA 10: ESQUEMA DE FOLHAS DE ESCALA 1:250000 21
FIGURA 11: ESQUEMA DE FOLHAS DE ESCALA 1: 50000 22
FIGURA 12: CORTE DA FOLHA 23
FIGURA 13: CORTE DAS FOLHAS 79 DE ESCALA 1:250000 23
FIGURA 14: MOSAICO DAS FOLHA 924 E 925 NA ESCALA 1:50000 24
FIGURA 15: REAMOSTRAGEM DA IMAGEM. (FONSECA E FERNANDES, 2004) 27
FIGURA 16: VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO 28
FIGURA 17: DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE NDVI EM 2016 29
FIGURA 18: ÁREAS ESTIMADAS PARA AS CLASSES DO NDVI 2016 30
FIGURA 19: MAPA NDVI 2023 31
FIGURA 20: ÁREAS ESTIMADAS PARA AS CLASSES DO NDVI 2023 32
FIGURA 21: VARIAÇÃO DO NDVI 2016 E 2023 34
FIGURA 22: ANÁLISE DAS PRINCIPAIS PERDAS E GANHOS DE NDVI, 2016 E 2023 36
FIGURA 23: MAPA DE USO E COBERTURA, DISTRITO DE MACHAZE 2016 37
FIGURA 24: MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA, DISTRITO DE MACHAZE 2023 38

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: ANÁLISE DAS PRINCIPAIS PERDAS E GANHOS DE NDVI 2016 E 2023 33
QUADRO 2: MUDANÇAS OCORRIDAS NA UTILIZAÇÃO DO SOLO NO PERÍODO 2016 E 2023 35
QUADRO 3: ORÇAMENTO 43
QUADRO 4: CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES 44

LISTA DE ABREVIATURAS

CD	Compact Disc
CENACARTA I.P	Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção, Instituto Público
DR	Detecção Remota
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
GEE	Google Earth Engine
NR	Níveis Radiométricos
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TM	Thematic Mapper
UTM	Universal Transverso de Mercator

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA I

AGRADECIMENTOS II

EPÍGRAFE III

RESUMO IV

LISTA DE FIGURAS VI

LISTA DE QUADROS VII

LISTA DE ABREVIATURAS VIII

SUMÁRIO IX

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. FLUXOGRAMA DAS ACTIVIDADES DO ESTÁGIO 4

1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO 5

1.3. PROBLEMA DO ESTUDO 5

1.4. OBJECTIVOS DO TRABALHO 6

1.4.1. OBJECTIVO GERAL 6

1.4.2. OBJECTIVOS ESPECÍFICOS 6

1.5. JUSTIFICAÇÃO 6

2. REVISÃO DE LITERATURA 7

3. QUESTÕES ÉTICAS 13

4. METODOLOGIA 14

4.1. MATERIAL 14

4.2. MÉTODOS 15

4.2.1. INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS NDVI 15

4.2.1.1. ESCALA DE CORES 15

4.2.1.2. VALORES NDVI 15

4.2.2. DETECÇÃO DE MUDANÇAS 15

5. ÁREA DE ESTUDO 16

5.1. ETAPAS PARA O PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM NO CENACARTA. 17

5.2. CORRECÇÃO GEOMÉTRICA 18

5.3. PROJECÇÃO DA IMAGEM 20

5.4. CORTE DE IMAGEM 21

5.5. MOSAICO DE IMAGENS 24
5.6. MELHORAMENTO DA RESOLUÇÃO DA IMAGEM 25
5.7. CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA E SUPERVISIONADA 25
5.8. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA 26
5.9. CRITÉRIOS DE REAMOSTRAGEM 27
5.10. VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO 28
6. RESULTADO E DISCUSSÃO **29**
6.1. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS CLASSES DE NDVI EM 2016 29
6.2. DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS CLASSES DE NDVI EM 2023 31
6.3. COMPARAÇÃO DO NDVI 2016 E 2023 33
6.4. ANÁLISE DAS PRINCIPAIS PERDAS E GANHOS DE NDVI, 2016 E 2023 34
6.5. MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DO DISTRITO DE MACHAZE (2016 E 2023) 37
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES **40**
7.1. CONCLUSÕES 40
7.2. RECOMENDAÇÕES 40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **41**
APENDICES **43**

1. INTRODUÇÃO

A aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), no contexto do processamento digital na produção cartográfica tem auxiliado a confecção de mapas gerais, temáticos, cartas e plantas topográficas de forma eficiente e rápida em relação aplicação dos métodos clássicos na produção cartográfica.

Desde os tempos da pré-história, antes mesmo da invenção da escrita, o Homem vem anotando e armazenando os conhecimentos sobre a superfície da Terra na forma de mapas, confecionados com técnicas rudimentares e valendo-se dos materiais disponíveis, como placas de argilas (babilônios), papiros (egípcios), além dos maias, esquimós, chineses, astecas, entre outros, cada qual reflectindo a cultura própria de sua sociedade, tendo como objectivo conhecer e administrar o uso do espaço geográfico que ocupavam.

Actualmente vivemos em um mundo cada vez mais digital, onde o mapeamento com recurso a Drones e os mapas digitais estão mudando a maneira como interagimos e navegamos em nossos espaços (Almeida, 2005).

A Cartografia Digital apresenta dados, resultados ou indicações sob forma numérica, por oposição a analógica implicando o envolvimento de ambiente computacional. Isso por sua vez resulta na necessidade de se buscar compreender a organização dos dados num computador, o que na primeira vista pode parecer algo trivial, além de todos os aspectos de interatividade com dados.

A Cartografia Digital é a ciência que se ocupa do processamento, armazenamento, recuperação e representação de mapas cartográficos em formato digital. Pois, a tecnologia da digitalização consiste em uso de ferramenta flexível de arquivamento, conservação e acesso a documentos por meio de armazenamento de imagens em formato digital, e tem se tornado cada vez mais relevante com os avanços na tecnologia de geoprocessamento e aplicação de técnicas de Geografia, Topografia, e outros ramos de ciências afins. Os principais mapas produzidos no Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção, Instituto Público (CENACARTA, I.P) com a tecnologia da digitalização são os mapas temáticos e Plantas topográficas urbanas. Esses mapas fornecem informações importantes para diversas áreas, tais como planeamento estratégico urbanístico, análise de dados espaciais e identificação de terrenos baldios e violações de normas e posturas urbanísticas de construções.

CENACARTA, I.P é o órgão de administração central do Estado, tutelado pelo Ministério da Terra e Ambiente (MTA), e é responsável pela planificação, coordenação e execução das actividades Geo-cartográficas e de Teledetecção, a nível Nacional, (Decreto 38/90, de 27 de Dezembro de 2004).

Estrutura e Funções das Unidades Orgânicas do CENACARTA

Nos termos do artigo 16, do Decreto 38/90, de 27 de Dezembro de 2004), a sua estrutura orgânica do CENACARTA compreende:

a) Direcção;

b) Gabinete de Estudos e Difusão;

c) Departamento de Cartografia e Teledetecção;

d) Departamento de Geodesia e Fotogrametria;

e) Departamento de Administração e Recursos Humanos;

f) Repartição de Aquisições;

g) Repartição de Tecnologias de Informação, Comunicação e Gestão Documental; e

h) Repartição de Assessoria Jurídica.

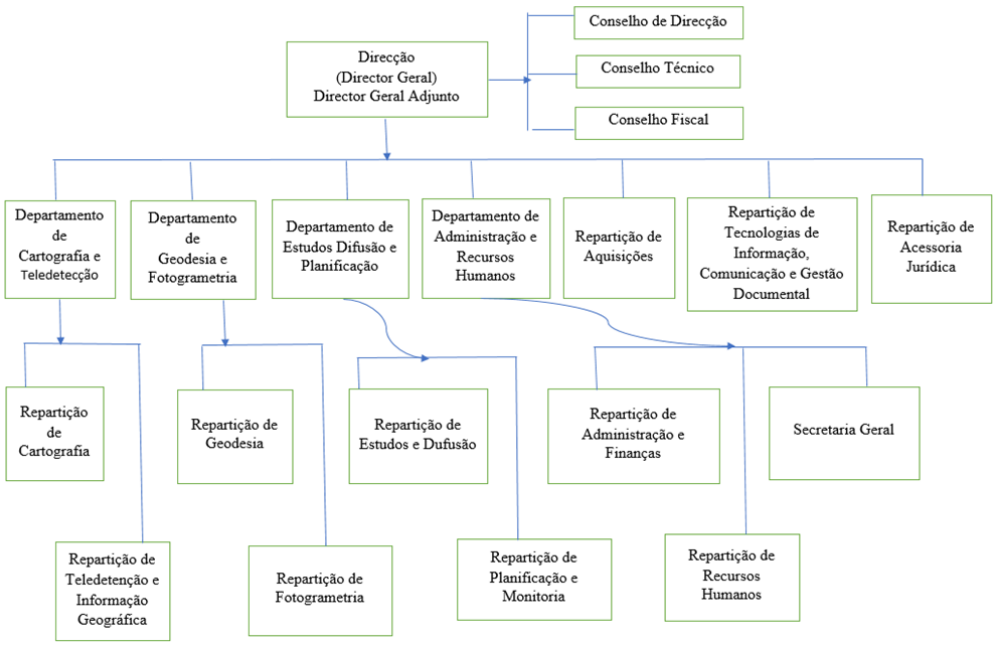

Figura 1: Estrutura interna do CENACARTA
Fonte de dados: CENACARTA

Sendo um requisito do curso de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável, a realização do estágio profissional em uma empresa pública ou privada, para a sua culminação, nesses termos, o presente relatório insere-se ao Departamento de Cartografia e Teledetecção, para o Processo Digital de Produção Cartográfica.
São atribuições do Departamento de Cartografia e Teledetecção, nos termos do artigo 20, (Decreto 38/90, de 27 de Dezembro de 2004):

a) executar trabalhos cartográficos de base para suporte adequado à elaboração de cartas geográficas, topográficas e temáticas;

b) estruturar, elaborar e desenvolver sistemas de gestão de bases de dados georreferenciados, que permitam suportar dados normalizados para o desenvolvimento de tarefas de análise e produção de mapas e estatísticas;

c) adquirir e processar imagens de satélite, garantindo a sua ortorectificação e correcção geométrica;

d) executar trabalhos de interpretação visual e digital de imagens de satélite;

e) garantir o levantamento toponímico para os documentos cartográficos, em coordenação com outras instituições tais como Conselho Municipal, Ministro da Administração Estatal e Função Pública, Ministério da Agricultura, Ambiente e Pescas, etc; e

f) garantir a impressão, reprodução e o arquivo de documentos cartográficos.

1.1. Fluxograma das actividades do estágio

A realização do Processo Digital de Produção Cartográfica é uma fase crucial na compreensão dos processos para a concepção de mapas e compreende as representadas na figura 2:

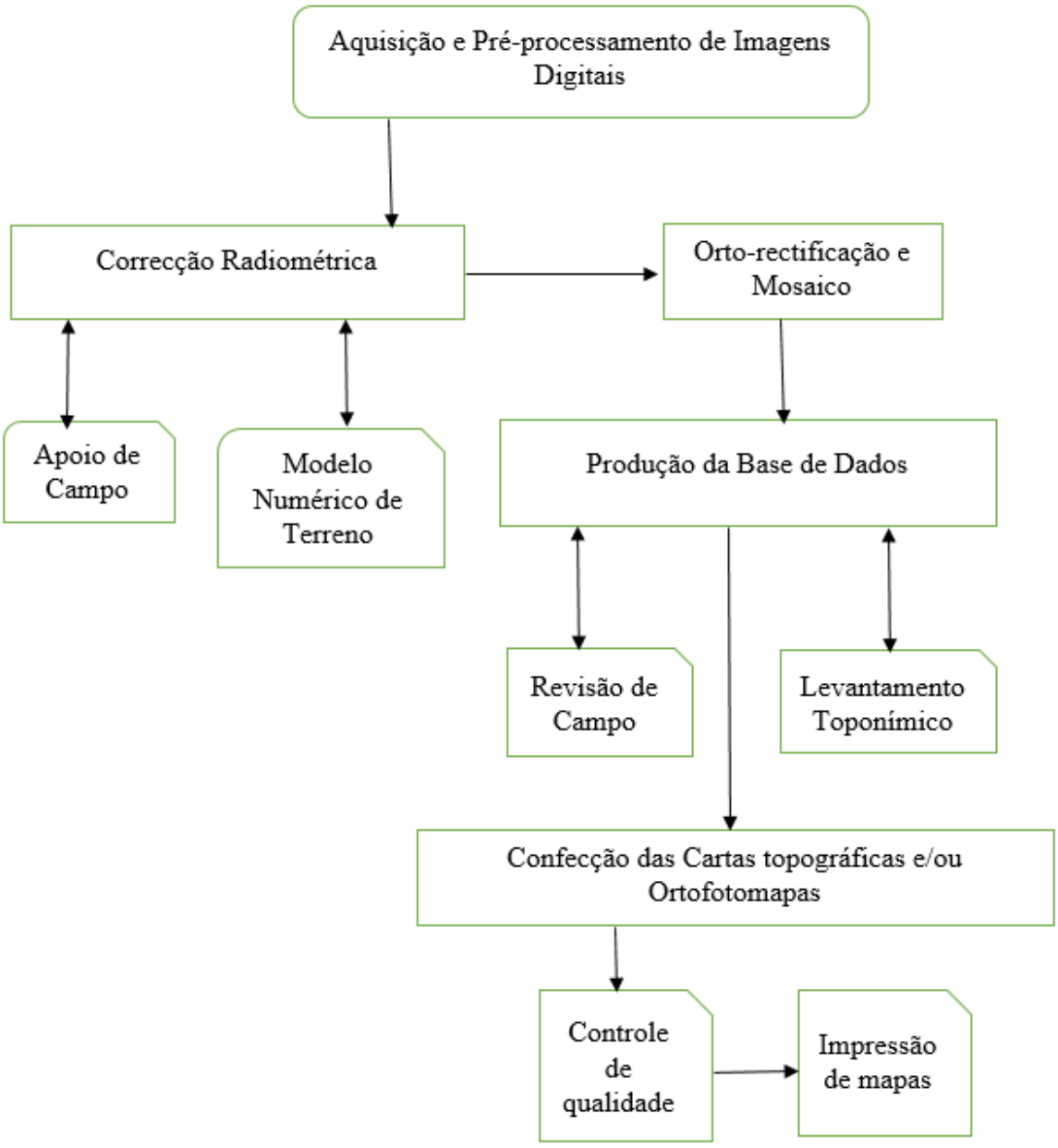

Figura 2: Fluxograma das actividades realizadas durante o estágio

Fonte de dados: CENACARTA

1.2. Contextualização do Estudo

Moçambique tem vários tipos de vegetação, incluindo florestas, savanas, e formações mistas de gramíneas e arbustos. Em meio a essas variedades, o Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento (MITADER) desempenha um papel fundamental no estudo e análise do uso e cobertura da terra.

A vegetação é fundamental para a regulação do clima e da umidade, assim como a manutenção nutricional e estrutural do solo. Diante disso, pode-se dizer que a vegetação é uma grande aliada para actividade agrícola, visto que ela promove as condições ambientais adequadas para produtividade nas lavouras. A agricultura é uma actividade económica fundamental em Moçambique, que sustenta a subsistência de mais de 80% da população. É também o segundo maior sector contribuinte para o Produto Interno Bruto (PIB) do país. Cabe destacar que a manutenção da vegetação promove a melhor absorção de nutrientes pelas plantas, arbustos e culturas, além de evitar que haja a erosão do solo. Nessa perspetiva, o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) mostra-se eficaz na medida em que permite obter informação sobre o uso do solo e estabelecer a interação com os diversos fenómenos que nele ocorrem.

1.3. Problema do Estudo

Moçambique perdeu, entre 2001 e 2016, mais de 2,97 milhões de hectares de floresta. As províncias que mais sofreram de desmatamento localizam-se nas zonas Norte e Centro do país, sendo as províncias do Sul as menos desmatadas. As províncias mais desmatadas no país são Nampula, Zambézia e Manica. Para além da perda da área florestal, resultante do desmatamento, verifica-se a degradação florestal a qual não está ainda devidamente quantificada no país, mas que representa, muito provavelmente, perdas socioeconómicas substanciais, para além do desaparecimento da biodiversidade (Sitoe, et al., 2016).

O presente trabalho, caracteriza-se como uma pesquisa de natureza quantitativa exploratória e fundamenta-se na análise crítica do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que é um índice usado para medir a saúde e a densidade da vegetação através de imagens de satélite, auxiliando no monitoramento das lavouras, e nas tomadas de decisão relacionadas ao manejo da cultura.

1.4. Objectivos do trabalho

1.4.1. Objectivo geral

Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica a Produção de Mapas a partir da Análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

1.4.2. Objectivos específicos

São objectivos específicos:

- ✓ Executar a correção geométrica das imagens satélites;
- ✓ Fazer o mosaico das imagens satélites;
- ✓ Analisar as classes do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;
- ✓ Produzir mapas de uso e cobertura da terra da área de estudo.

1.5. Justificação

A escolha da área de estudo deve se ao facto de se verificar que os recursos florestais na província de Manica estão a escassear devido à elevada exploração de lenha e carvão vegetal que tem se verificado nos últimos sete anos (Direcção Nacional de Florestas –[DINAF], 2023). A aplicação do SIG em várias escalas por meio de visualização e análise de dados em imagens de satélite de natureza muito diversa através de um único espaço, facilitando a compreensão do problema geral, servirá de análise nas relações espaciais, obtidas e armazenadas em SIG e para desvendar os processos que resultaram na análise da dinâmica do uso e cobertura da terra. A digitalização de imagens é importante porque permite o armazenamento e o acesso fácil a grandes volumes de imagens. Além disso, facilita a manipulação e o compartilhamento dessas imagens, possibilitando a colaboração entre profissionais de diferentes áreas.

As técnicas de processamento digital de imagens, além de permitirem analisar uma cena nas várias regiões do espectro eletromagnético, também possibilitam a integração de vários tipos de dados, devidamente georreferenciados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são abordados os temas referentes ao processamento digital de produção cartográfica no Modelo Simplificado na visão de vários autores que sustentam a pesquisa através de um assentamento teórico.

Segundo Lillesand e Kiefer (2003), a Detecção Remota - É a ciência e a arte de obter informações sobre um objecto, área, ou fenómeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contacto com o objecto, área ou fenômeno sob investigação.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –[IBGE], 1998), Mapa é a representação no plano, normalmente em escala pequena, dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície de uma Figura planetária, delimitada por elementos físicos, político-administrativos, destinada aos mais variados usos, temáticos, culturais e ilustrativos

Segundo o IBGE (1998), a cartografia é o conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas que, tendo por base os resultados de observações directas, ou da análise de documentação, se voltam para a elaboração de mapas, cartas e outras formas de expressão ou representação de objectos, elementos, fenómenos e ambientes físicos e socioeconômicos, bem como a sua utilização.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – [INPE], 2007), Correcção Geométrica - A primeira razão para a realização de correcção geométrica de imagens é a existência de distorções sistemáticas introduzidas durante a aquisição das imagens. Para poderem ser utilizadas cartograficamente é necessário corrigir geometricamente as imagens numéricas orbitais. As distorções que se pretendem corrigir podem ter várias origens como a variação de altitude, latitude ou velocidade do satélite. Também podem ser devidas à curvatura da Terra, refração atmosférica, desfasamento do relevo, ou provocadas pelo movimento de rotação da Terra durante o período de aquisição da imagem.

Segundo Rocha (2000), o geoprocessamento é um conjunto de tecnologias voltadas a colecta e tratamento de informações espaciais para um objectivo específico. As actividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados de

Sistemas de Informação Geográfica. Sistema de geoprocessamento é o destinado ao processamento de dados referenciados geograficamente (ou georreferenciados), desde a sua coleta até a geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, etc; devendo prever recursos para a sua gestão, manipulação e análise.

Segundo Câmara e Madeiros (1998), o geoprocessamento utiliza de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação espacial e por meio do conjunto de ferramentas que viabilizam este processo caracteriza-se o Sistemas de Informação Geográfica. Assim, por meio do SIG é possível desenvolver processos complexos que posteriormente são utilizados na composição da análise dos resultados pretendidos.

Segundo Kumar e Mutanga (2018), o *Google Earth Engine* (GEE) – é um sistema de Sensoriamento Remoto (RS) que vêm coletando grandes volumes de conjuntos de dados há décadas, cujo gerenciamento e análise não são práticos usando pacotes de software comuns e recursos de computação de mesa. Nesse sentido, o Google desenvolveu uma plataforma de computação em nuvem, chamada *Google Earth Engine* (GEE), para enfrentar de forma eficaz os desafios da análise de *big data*. Em particular, esta plataforma facilita o processamento de grandes dados geográficos em grandes áreas e a monitorização do ambiente durante longos períodos de tempo.

Segundo Santos (2003), a Cartografia Digital surge da necessidade crescente de informações georreferenciadas e tem motivado um interesse maior pela cartografia sistemática digital, ainda Santos afirma que a cartografia digital é o processamento digitalizado de dados que envolvem: a imagem digital, a concepção de objectos, a vectorização, a rasterização (digitalização matricial de imagens), entre outros. A cartografia digital para além de garantir a revisão continuada da base de dados, possibilita a avaliação dos dados antes da impressão.

Segundo Kumar e Mutanga (2018), a Plataforma *Google Earth Engine* - é definida como sendo uma plataforma baseada na nuvem para análise geoespacial à escala planetária a partir de recursos computacionais da *Google* para reduzir o tempo de processamento de um arquivo maciço de dados de sensoriamento remoto.

Esta plataforma é de fácil acesso e fácil utilização, proporcionando um ambiente conveniente para dados interativos e desenvolvimento de algoritmos. Os usuários também podem adicionar e organizar seus próprios dados enquanto utilizam os recursos de nuvem do Google para realizar todo o processamento. O resultado é que isso agora permite que cientistas, pesquisadores independentes, amadores e nações minerem essa massa armazenamento de dados para deteção de mudanças, mapear tendências e quantificar recursos na superfície. Disponível na Plataforma: *Google Engine* https://www.google.com/intl/pt-BR_ALL/earth/education/tools/google-earth-engine/

Entrada de dados geo-espaciais - A entrada de dados em SIG requer, que o usuário do sistema tenha acesso a informações relevantes sobre os dados disponibilizados por tais instituições/organizações (Metadados), tais como, escala de representação, projecção cartográfica utilizada, sistema de coordenadas empregado, Datum (horizontal e/ou vertical), unidades de medida, ano de obtenção/produção dos dados originais, entre outros, bem como, das transformações matemáticas necessárias à compatibilização destes dados, provenientes de fontes variadas, em formatos variados, e muitas vezes incompatíveis.

Formas de representação de dados geo-espaciais - A representação de cada entidade ou fenómeno observado na superfície da Terra é feita, em meio digital, por dois tipos de dados geo-espaciais, ver figura 3, comumente denominados de vectoriais e matriciais (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2023).

Dados Raster, também conhecidos como dados matriciais ou bitmap são matrizes formadas por linhas e colunas de pixels, onde cada pixel possui um valor digital. O formato matricial generaliza a cena para uma grade de células, cada uma com um código para indicar a feição apresentada. Neste formato, a cena tem uma estrutura de células de grade. A cada célula da grade uma identidade de feição única é atribuída, normalmente um número (p.ex., montante de chuva, ou um código numérico de uma categoria de uso do solo) ou um rótulo textual (um nome ou um código de letras). A célula é a unidade mínima de mapeamento, o que significa que é o menor tamanho com que qualquer feição da paisagem pode ser representada e mostrada. Todos os objectos presentes na região coberta por uma célula são acumulados e combinado em uma única identificação; isso é uma generalização da paisagem e de suas feições (ESRI, 2023).

Os Dados Vectoriais se baseiam na utilização de vectores, os quais são conhecidos como primitivas gráficas. Com isso, são mais leves do que os dados matriciais, ocupando menos espaço de armazenamento. O formato vectorial tem polígonos que parecem normais, muito parecidos com um mapa. As linhas são analógicas, isto é, não são quebradas em células ou em fragmentos, mas são contínuas do seu início ao seu final. Portanto, a forma representada é mais exacta, como um mapa real, ver figura 4. De facto, os dados vectoriais são muito mais exactos do que os dados matriciais (ESRI, 2023).

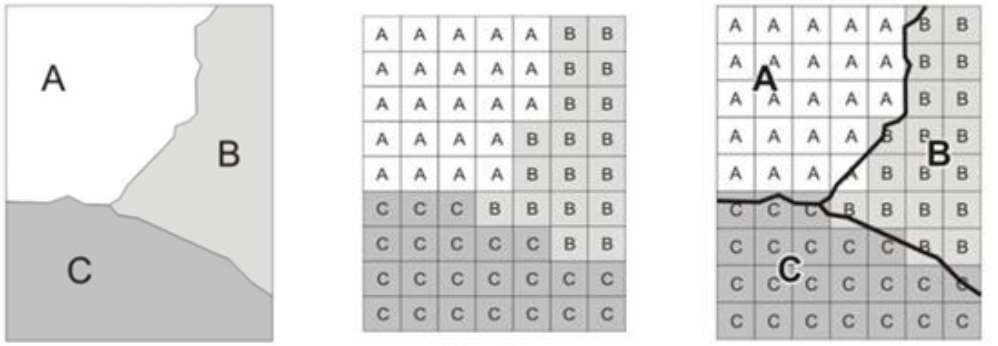

Figura 3: Tipos de representação de dados geo-espaciais

Fonte: adaptado de ESRI (2023)

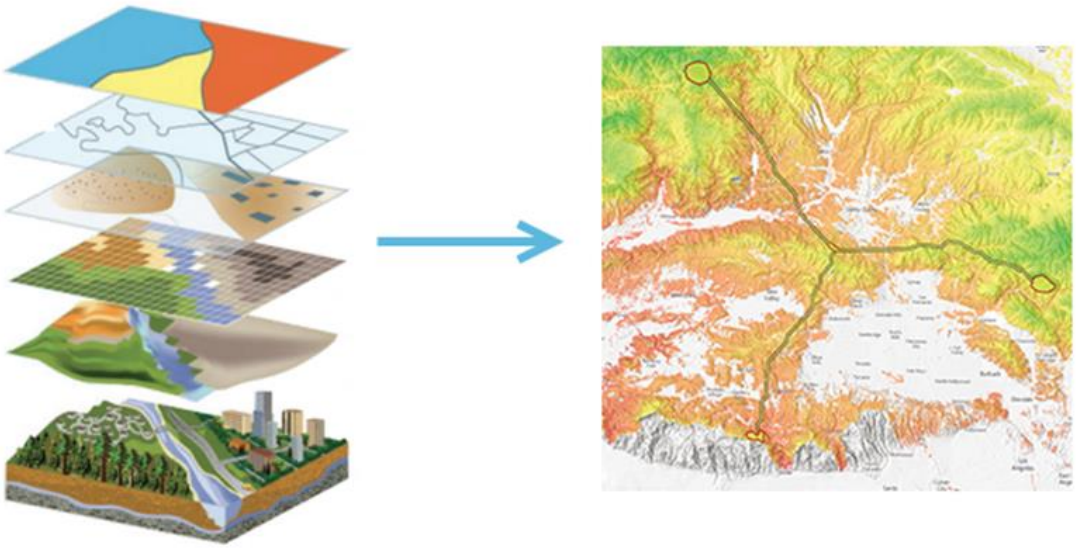

Figura 4: Camadas de representação de dados geo-espaciais.

Fonte: disponível em: https://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/reference/geo-info.htm

2.1. Tipos de Mapas existentes no CENACARTA

Por inerências de suas competências estatuárias, (Decreto 38/90, de 27 de Dezembro de 2004) o CENACARTA produz e difunde vários tipos de mapas do território nacional, nomeadamente:

- ✓ Mapas gerais;
- ✓ Mapas de divisão político-administrativo;
- ✓ Mapas da actividade económica;
- ✓ Mapas físico-geográficos
- ✓ Mapas topográficos de diferentes escalas;
- ✓ Mapas temáticos, e
- ✓ Entre outros mapas específicos de acordo com a solicitação de utentes e, cada um deles representando um determinado aspecto físico-geográfico.

Para o presente trabalho importa apenas referenciar dois deles, nomeadamente os mapas topográficos e os mapas temáticos que irão servir de base de consulta.

- Mapa topográfico – é caracterizado pelo uso de escala maior, oferecendo maiores detalhes dos acidentes naturais e artificiais da superfície terrestre de forma mensurável, mostrando as posições planimétricas e altimétricas.

Actualmente no CENACARTA tem 3 (três) tipos de cartas topográfica de escala 1:250 000 em número de 102 cartas, sendo que esta cobre todo o país, 1: 50 000 (1207) e 1:25 000 (1816), respectivamente.

Tanto a cartografia 1:50 000 bem como a 1:250 000 foram produzidas no período colonial com base em fotografia aérea à escala 1:40.000, datada entre 1958 e 1974, sendo por isso a informação bastante desatualizada. Relativamente a escala 1:50 000 existe uma área composta por 83 folhas denominada Bloco O3 cobrindo parte das províncias de Cabo Delgado e Niassa, no norte do país que ainda não foi cartografada, criando uma grande lacuna em termos de disponibilidade de mapa topográficos.

Há também uma cobertura considerável na escala 1:25 000 composta por um total de 1816 folhas, das quais 1495 são da zona 36 e as restantes 321 da zona 37, cobrindo parte das províncias de Manica, Sofala, Tete e Zambézia respetivamente. Essa cartografia é relativamente recente comparando com as escalas anteriormente mencionadas, uma vez que foram produzidas entre 2015 e 2017.

- Mapas Temáticos – são produzidos a partir de mapas de base e normalmente destacam determinadas informações temáticas. No caso concreto do CENACARTA pode encontram-se diversos tipos de mapas temáticos, a saber: Divisão política administrativa do país (províncias, distritos e postos administrativos), mapa rodoviário representando as principais vias de comunicação, mapa da rede hidrológica e mapas de uso e cobertura da Terra.

No caso dos mapas de uso e cobertura da terra foram produzidos a partir de zoneamentos agrogeológicos sendo que o último é datado de 2013 e estão representados os diversos usos da terra que constitui um instrumento importante para a tomada de decisão por exemplo no que toca a questão de terra disponível para vários tipos de investimentos.

3. QUESTÕES ÉTICAS

Durante o estágio, de certeza que serão partilhadas informações de uso exclusivo da instituição. Face a isto, assumo o compromisso de manter confidencialidade e sigilo sobre todas as informações e documentos confidenciais a que tiver acesso durante o decorrer do estágio no CENACARTA.

Por este Termo de Confidencialidade e Sigilo comprometo-me:

1. A não utilizar as informações confidenciais a que tiver acesso, para gerar benefício próprio exclusivo e/ou unilateral, presente ou futuro, ou para o uso de terceiros;
2. A não efetuar nenhuma gravação, fotografia ou cópia de documentação, base de dados, sistemas computacionais, informações ou outras tecnologias a que tiver acesso, exceção feita sempre e quando houver autorização expressa da chefia imediata ou da Direção;
3. A não me apropriar de material confidencial e/ou sigiloso, de informações e documentos pessoais que venham a estar disponíveis;
4. A não repassar o conhecimento das informações que tiver acesso, responsabilizando-me por todas as pessoas que vierem a ter acesso às informações por meu intermédio, e me obrigando, assim, a ressarcir a ocorrência de qualquer dano e/ou prejuízo oriundo de uma eventual quebra de sigilo das informações fornecidas;
5. A não divulgar de nenhuma maneira ou por qualquer meio as informações e/ou documentos a que tiver acesso.
6. Entende-se como informação e documentos confidenciais: quaisquer informações, dados, processos, fórmulas, códigos, cadastros, fluxogramas, diagramas lógicos, dispositivos, modelos ou outros materiais de propriedade do CENACARTA.

Pelo não cumprimento do presente Termo de Confidencialidade e Sigilo, fica o abaixo assinado ciente de todas as sanções administrativas, judiciais e penais que poderão advir. Estou ciente de que a confidencialidade é obrigatória mesmo após o encerramento de minhas funções perante o Ministério Público do Estado.

4. METODOLOGIA

A realização do presente trabalho de estágio profissional obedecerá as seguintes etapas:

1. Pesquisa Bibliográfica, para aprofundar a temática do trabalho e obter um suporte teórico;
2. Análise documental com recurso ao Acervo interno do CENACARTA, nomeadamente *Shape files*, mapas digital e de formato físicos de diferentes escalas, fotografias aéreas e imagens de satélite referentes a área de estudo, que servirá de base de trabalho do estágio;
3. Observação de normas e procedimentos técnicos na execução da produção Cartográfica.

4.1. Material

Para a realização do presente trabalho foi necessário o seguinte material:

Dados	Tipo de Dados	Software
Imagens Landsat 7+ETM	Raster	ERDAS Imagem, versão 9.2
Esquema de imagens	Vectoriais	ArcGis Pro 3.28.26
Cartas topográficas	Formato Físico	QGIS Desktop 3.28.11
Computador		TRATDEC

Para avaliar o estado de classificação do uso e cobertura do solo na área de estudo, foram utilizados dados do sensor MODIS/TERRA cdo ano de 2016 e 2023, composição RGB das bandas 4-3-2, resolução espacial de 10 metros, disponíveis na base de dados do GEE. As imagens foram filtradas segundo a grade de articulação do projecto Sentinel, órbita “21KYT”, e cobertura de nuvem menor que 1%. Para composição da imagem final foi aplicado um filtro de mediana no conjunto de imagens Sentinel, utilizando o comando “ee.ImageCollection().median()” resultando em uma imagem única e representativa para o ano de 2016 e outra para o ano de 2023 do Distrito de Machaze.

4.2. Métodos

Para a identificação das áreas de cada classe NDVI na imagem de satélite, foram feitas combinações de índices espectrais que reflectem melhor cada uma das classes nas imagens.

4.2.1. Interpretação das imagens NDVI

Para interpretar imagens NDVI foi necessário entender a escala de cores e os valores que representam. Confira abaixo:

4.2.1.1. Escala de Cores

a) Verde Escuro: Áreas com alta densidade de vegetação saudável e vigorosa. Geralmente, indica locais com maior biomassa vegetal;

b) Verde Claro: indica áreas com vegetação moderada ou em estágios iniciais de crescimento;

c) Amarelo/Laranja: sugere áreas com pouca vegetação, solo exposto ou vegetação sob estresse;

d) Vermelho: representa áreas sem vegetação, como solo nu, água ou áreas urbanas.

4.2.1.2. Valores NDVI

a) Valores Negativos (-1 a 0): indicam água, neve, nuvens ou áreas com pouca ou nenhuma vegetação;

b) Valores Próximos a Zero (0 a 0,2): Áreas com solo exposto, rochas ou vegetação muito esparsa;

c) Valores Positivos (0,2 a 1): Presença de vegetação. Quanto maior o valor, maior a densidade e o vigor da vegetação.

4.2.2. Detecção de Mudanças

Os resultados do NDVI foram relacionados às mudanças de classes de vegetação para os dois períodos em estudo, 2016 e 2023. Para análise de mudanças foram feitas combinações de operações matemáticas tais como a subtração e intersecção, utilizando o software ArcGis Pro 3.28.26, com a extensão geoprocessamento. A ferramenta originou área de mudanças para cada classe que indica a área de mudança de uma classe para outra em relação aos dois periodos, como mostram os gráficos 3 e 4.

5. ÁREA DE ESTUDO

A área do estudo localiza-se no extremo Sul da Província de Manica. Faz fronteira a Norte com o Distrito de Mussorize - Província de Manica, a Sul com os Distritos de Massangena - Província de Gaza e Distrito de Mabote - Província de Inhambane, a Este com os Distritos de Chibabava e Machanga - Província de Sofala e a Oeste com a República do Zimbabwe (MAE, 2014).

Segundo dados do Censo populacional de 2017, o Distrito de Machaze tem uma área 13328.6ha e 126.488 habitantes, dos quais 55.294 (43.7%) homens e 71.794 (56.3%) mulheres.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO DISTRITO DE MACHAZE

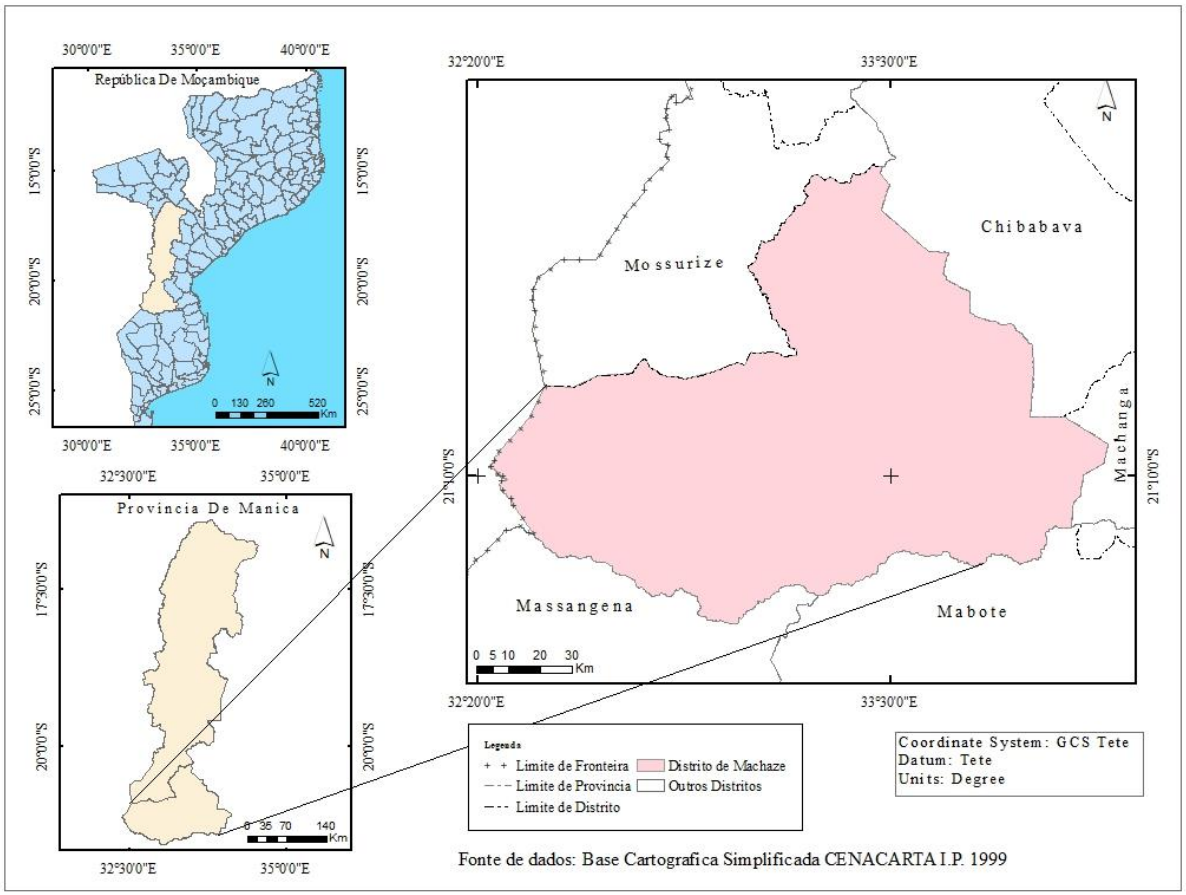

Figura 5: Mapa de localização da área de estudo.

Fonte de dados: CENACARTA

5.1. Etapas para o processamento digital de imagem no CENACARTA.

O processamento das imagens iniciou com a consulta na Base de Dados existente no CENACARTA, que foi criada com o intuito de facilitar a localização das imagens, visto que estão arquivadas em discos compactos devidamente enumerados. A figura 6, ilustra o mecanismo usado para a consulta da base de dados.

Figura 6: Consulta na base de dados

5.2. Correcção geométrica

Existem alguns mecanismos para fazer a correcção geométrica. Neste caso concreto, foi utilizado o processo imagem-imagem que consiste na correcção da imagem a partir de uma já previamente corrigida (vide figura 7). A razão principal que nos leva a corrigir geometricamente a imagem de satélite é para permitir que ela tenha o mesmo sistema de referência em termos de coordenadas e por conseguinte todos os dados que forem extraídos a partir dela sejam compatíveis com os que já tiver em arquivo. Isso é importante sobretudo na sobreposição dos nossos dados bem como no processo de actualização de uma carta topográfica ou mesmo temática.

O exemplo ilustrado na figura 7, é do processo da correcção da imagem *Landsat* TM com número 168-75 de 15 de Junho de 2001, que cobre a nossa área de estudo. Para tal recorrer-se a uma imagem já corrigida com o número 168-75 de 17 de Novembro de 1999. Ambas as imagens estão registadas na Base de Dados do CENACARTA e arquivadas em CD´s com os números 213 e 25, respectivamente.

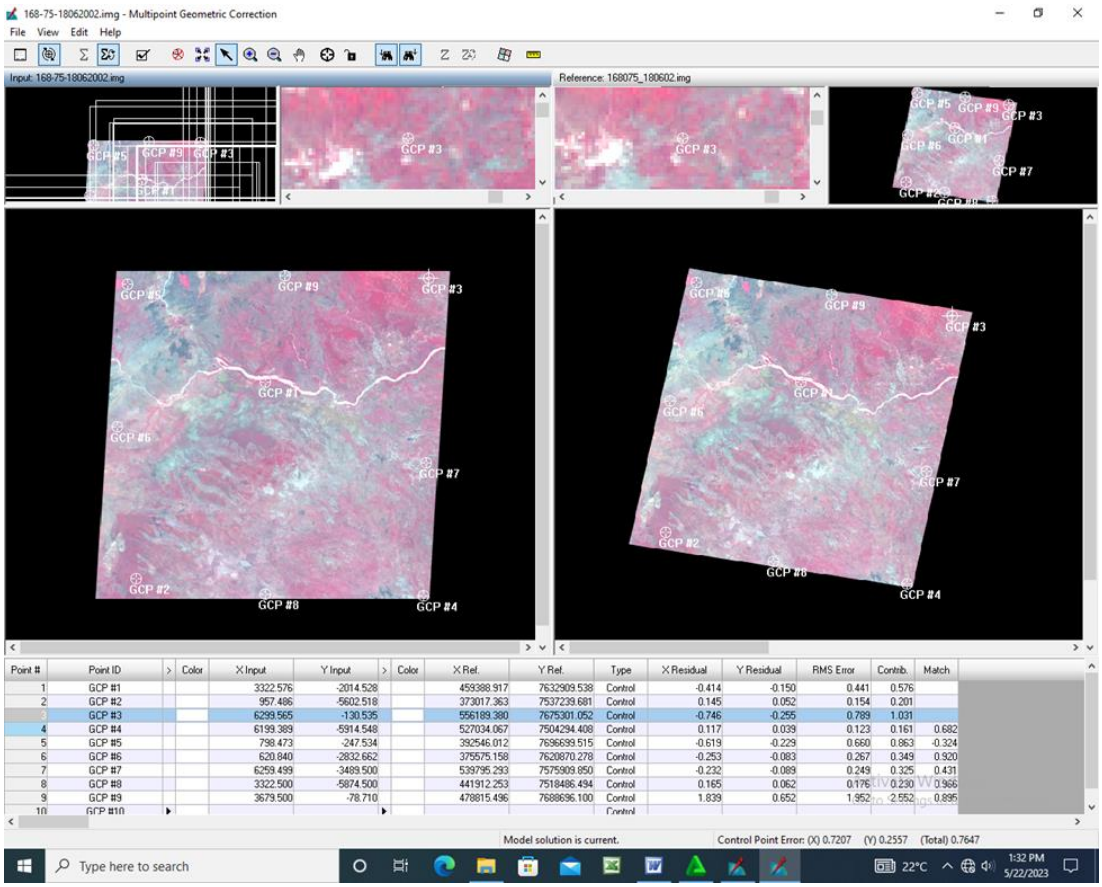

Figura 7: Pontos de controle

Depois de corrigida geometricamente, cada pixel é referenciado além da sua posição em linha e coluna (coordenadas imagem), também em M e P (coordenadas cartográficas), relativamente a um dado sistema de projecção cartográfica, ver figura 8.

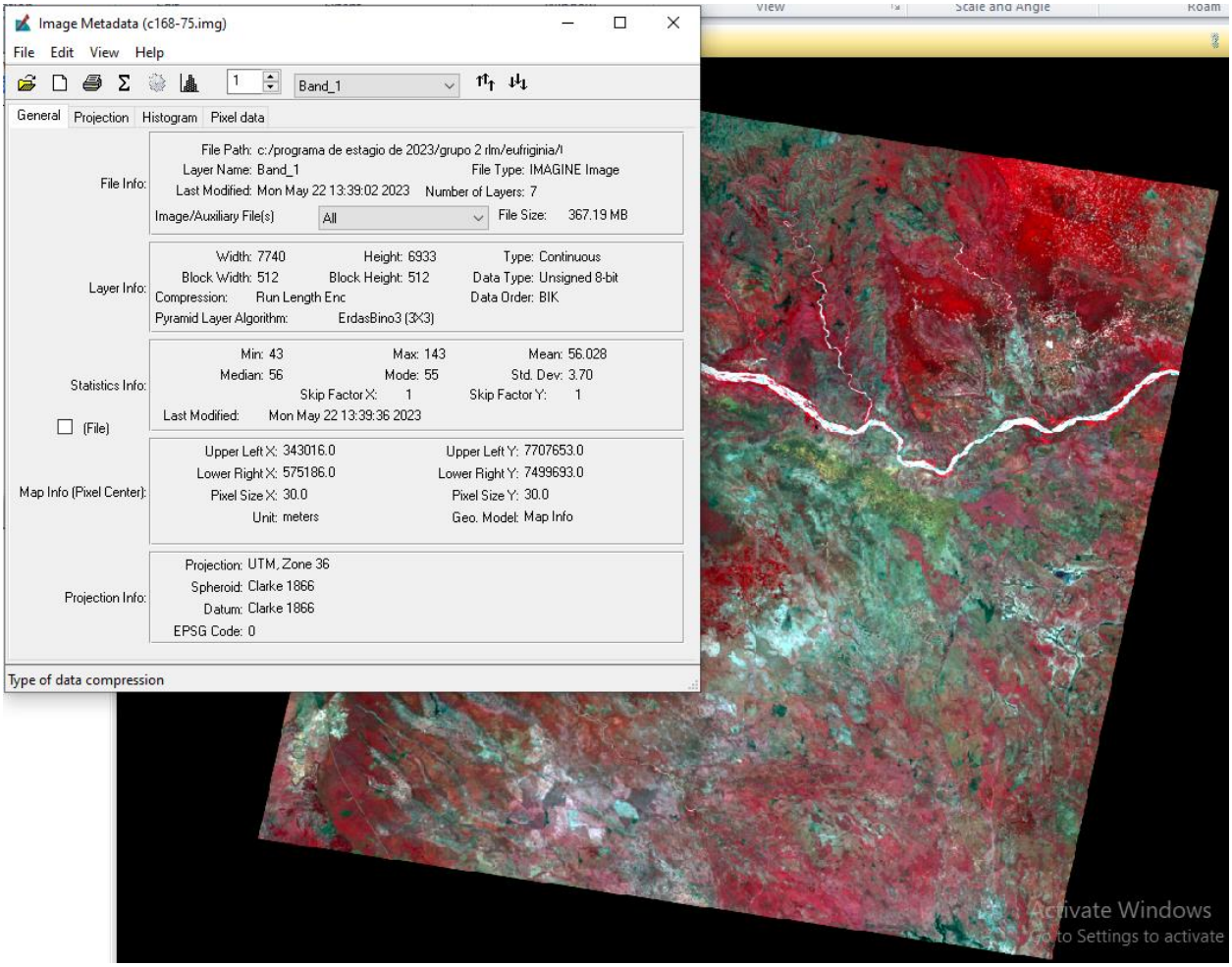

Figura 8: Metadados da imagem

As novas posições dos pixels não se sobrepõem com as suas posições originais obrigando, por isso, à reamostragem da imagem, ou seja, calcular um novo valor para o Níveis Radiométricos (NR) dos diferentes pixels.

5.3. Projecção da imagem

Com a necessidade de usar as imagens no sistema de projecção que melhor se adequa, surge a necessidade de fazer a conversão do sistema de projecção de UTM, Elipsoide Clarke, 1866 para o Elipsoide WGS, 1984. Esta pode ser feita de duas formas, a directa que tem como resultado a sobreposição do sistema de projecção e consequentemente perda da imagem com o sistema inicial e a forma indirecta tendo como resultado uma nova imagem com o novo sistema de projecção sem que se perca a primeira imagem no sistema UTM Elipsoide Clarke, 1866, conforme é apresentado nos metadados da figura 9.

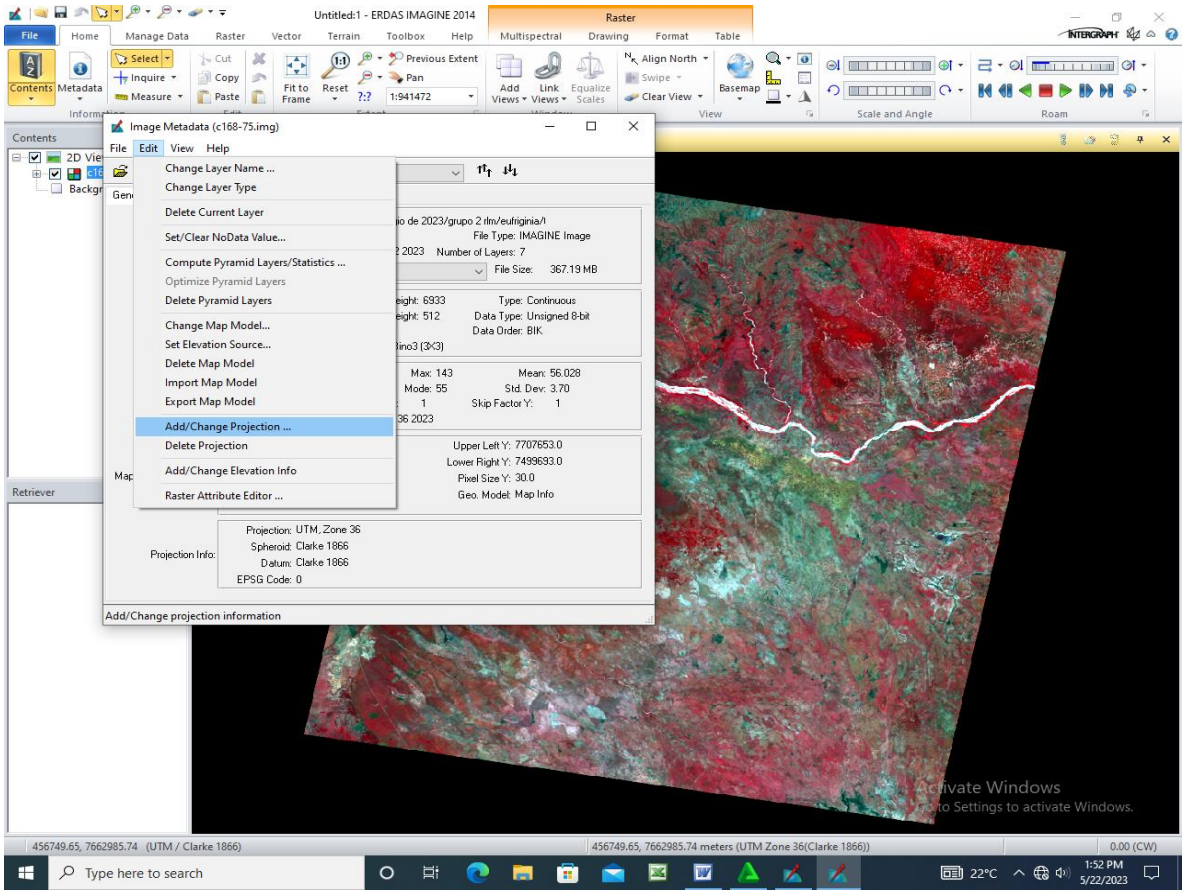

Figura 9: Mudança da projecção

Os metadados de imagem são informações de texto pertencentes a um arquivo de imagem incorporado ao arquivo ou salvo em um arquivo separado associado ao arquivo de imagem. Os metadados da imagem incluem detalhes relevantes para a própria imagem e para a sua produção. Alguns metadados são gerados automaticamente pelo sistema capturando ou cria a imagem.

5.4. Corte de Imagem

O processo de corte de imagem visa fundamentalmente produzir um extracto da mesma, conforme a área desejada. No caso concreto ilustra-se o procedimento usado no CENACARTA no qual é feito no *Erdas e ArcGis* usando coordenadas das cartas topográficas nas escalas 1:250000, figura10 e 1:50000, figura 11, respectivamente.

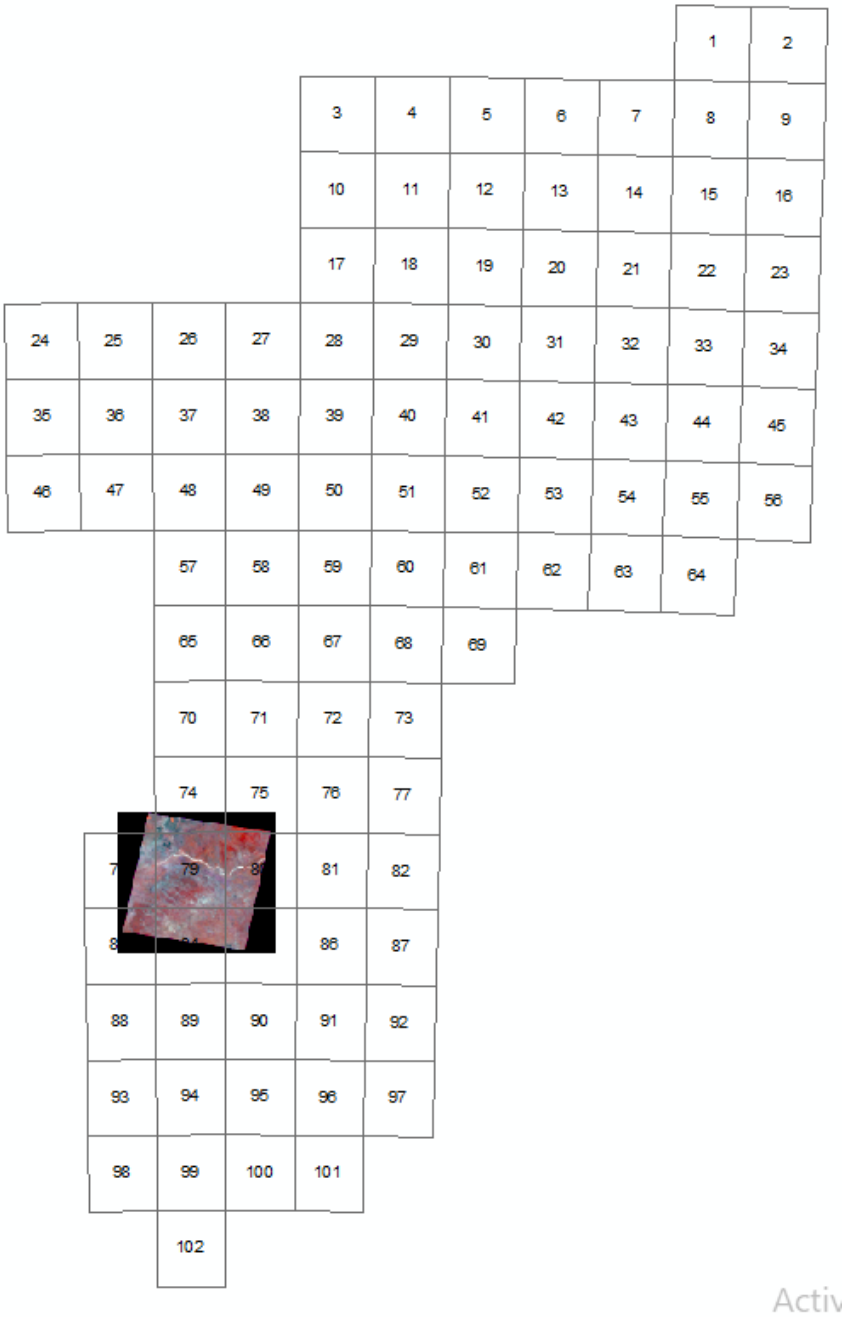

Figura 10: Esquema de folhas de escala 1:250000

Figura 11: Esquema de folhas de escala 1: 50000

Neste processo são extraídas coordenadas das folhas previamente seleccionadas na fase anterior. Para a folha na escala 1: 50 000 usa-se o software Tradect, neste software introduz-se o número da folha extraído no ArcGis, que para este caso é a folha 924 e 925 e obteve-se as seguintes coordenadas P_1 (474017, 767769) e P_3 (500000, 7650322). Para a folha na escala 1: 250000 recorreu-se á carta topográfica número 79 e extrai-se as coordenadas como mostra a figura 12. Desta feita obteve-se o corte da imagem, ver figura 13.

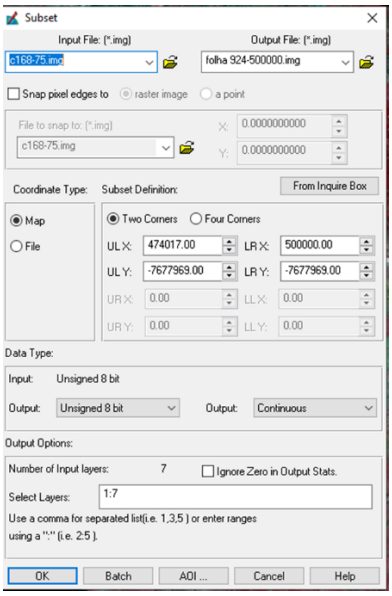

Figura 12: Corte da folha

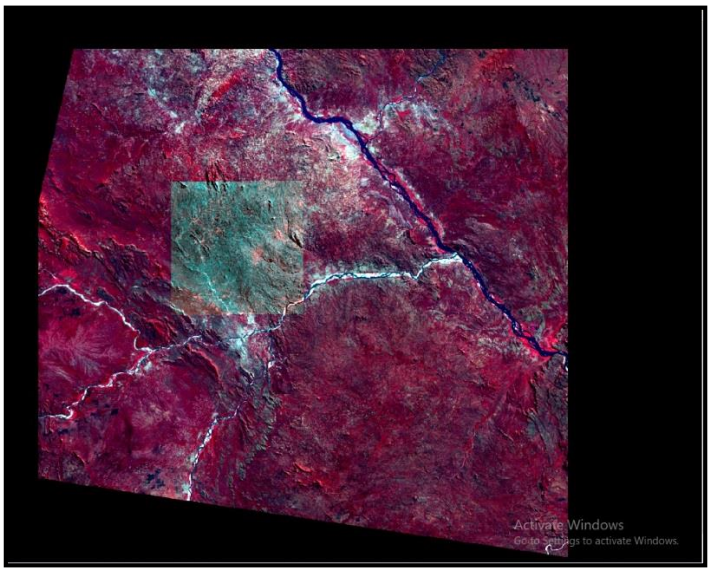

Figura 13: Corte das folhas 79 de escala 1:250000

5.5. Mosaico de Imagens

O processo de composição do mosaico é aplicado quando se pretende juntar duas ou mais cenas de imagens de modo a formar uma única. É muito usado sobretudo para casos em que uma determinada área de interesse é coberta por mais de uma imagem e para facilitar a sua manipulação pelo usuário opta-se pela criação de um mosaico, figura 14.

No entanto, para que este processo tenha êxito é necessário que as imagens estejam georreferenciadas no mesmo sistema de coordenadas.

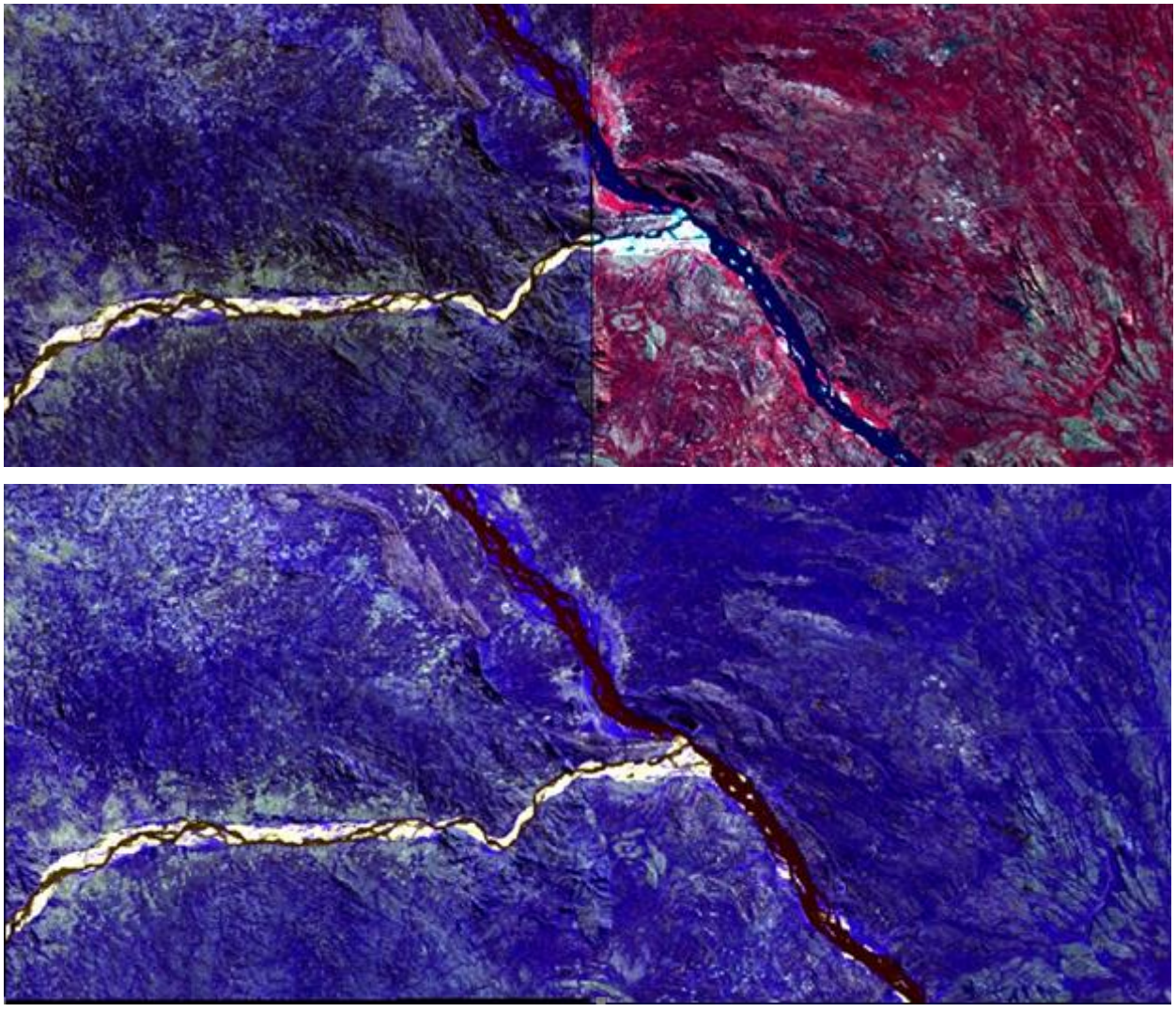

Figura 14: Mosaico das folha 924 e 925 na escala 1:50000

5.6. Melhoramento da resolução da imagem

O *merge* consiste na fusão de uma imagem de satélite multiespectral com 30 metros de resolução e uma outra imagem pancromática com 15 de resolução. O objectivo deste processo é obter uma imagem multiespectral com 15 metros de resolução onde é possível visualizar com alguma nitidez algumas feições geográficas que não eram fáceis de ver na imagem originalmente pancromática. Um aspecto a realçar é que as imagens a usar neste processo devem estar georreferenciadas no mesmo sistema de coordenadas.

5.7. Classificação Não Supervisionada e Supervisionada

A classificação não supervisionada está a tornar-se cada vez mais popular junto das agências envolvidas na manutenção de base de dados de SIG a longo prazo, principalmente porque há agora sistemas que usam os procedimentos de aglomeração que são extremamente rápidos e requerem pouco sobre a natureza dos parâmetros operacionais. Está assim a ser possível treinar analistas de SIG (que têm somente uma familiaridade geral com a deteção remota), de forma a que possam empreender classificações que apresentem os padrões de exigência da elaboração dos mapas. Com os procedimentos apropriados da avaliação da verdade no terreno e da sua exactidão, esta ferramenta pode fornecer meios notavelmente rápidos de produzir dados de cobertura de solo com uma boa qualidade e numa base continua.

Como a classificação não supervisionada identifica todos os *clusters* espectrais sem necessariamente conhecer no mapa final quais deles são tematicamente significativos, estes processos detêm por inerência uma vantagem sobre os métodos supervisionados, que é não ser necessário especificar previamente as classes e a sua expressão espectral.

O método não supervisionado também têm desvantagens pois uma vez que tentam classificar todos os pixels em classes homogéneas, podem deixar escapar detalhes específicos, mas relevantes, o que não acontece nos métodos supervisionados porque o analista conhece as classes de interesse, por mais insignificantes que elas sejam.

5.8. Classificação Supervisionada

Na classificação supervisionada, identificam-se exemplos das classes de informação (isto é, tipos de cobertura do solo) com interesse na imagem. Estes são chamadas locais de treino. O software é então usado de forma a desenvolver uma caracterização estatística da reflectância para cada classe de informação na imagem. Este estágio é frequentemente chamado análise da assinatura espectral e pode envolver o desenvolvimento de uma caracterização tão simples quanto a média ou a variação da reflectância em cada banda, ou tão complexa quanto análises detalhadas da média, da variância e da covariância em todas as faixas. Uma vez que a caracterização estatística foi conseguida para cada classe de informação, a imagem é então classificada examinando a reflectância para cada pixel e fazendo uma decisão sobre que assinaturas se assemelham à maioria. Há diversas técnicas para fazer estas decisões, e estes são denominados frequentemente classificadores. A maioria dos softwares de processamento de imagem oferecerá mais do que um classificador. Os três classificadores supervisionados vulgarmente usados são: por paralelepípedo, pela distância mínima à média, e pela probabilidade de máxima verosimilhança. Cada um destes emprega uma lógica diferente para atribuir pixels às classes.

A classificação supervisionada assume que algumas localizações das classes de ocupação do solo são conhecidas, estimando parâmetros estatísticos característicos destas classes através dos quais são classificadas as restantes localizações.

5.9. Critérios de reamostragem

Uma vez definida a transformação ente a geometria da imagem original e a geometria na qual se pretende fazer o novo registo geométrico, procede-se à reamostragem da imagem. A concordância entre o centro dos pixels e as novas coordenadas quase nunca acontece (Figura 15), para contornar este factor tem de ser aplicado critérios de reamostragem da imagem:

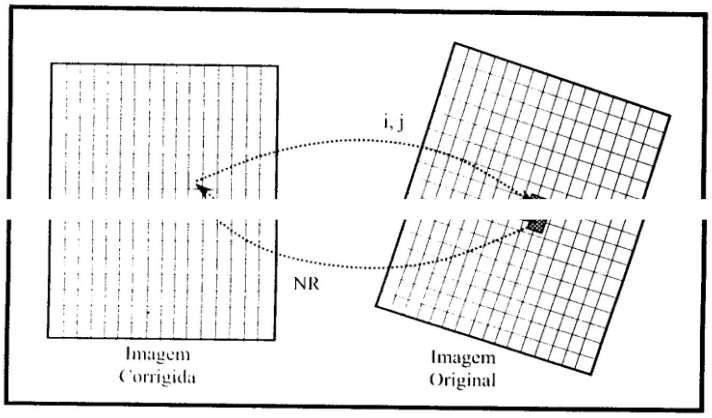

Figura 15: Reamostragem da imagem.
Fonte: Fonseca e Fernandes (2004)

- Critério do vizinho mais próprio – este critério é escolhido pelos utilizadores que pretendem manter os níveis radiométricos (NR) com os seus valores originais. Para a nova localização vai ser escolhido o pixel que está a menor distância.

- Método de interpolação bilinear ou cúbica – estes critérios calculam as médias dos NR, funcionando como filtros, que fazem uma média para um determinado conjunto de NR, que estão mais próximos da nova coordenada. Estes critérios não preservam os NR originais e atenuam a diferença de intensidade entre os elementos de imagem, o que altera os resultados obtidos de procedimentos posteriores às imagens.

5.10. Validação da Classificação

Cada procedimento tem de ser validado, isto é, a sua qualidade e viabilidade têm que ser julgadas. Tecnicamente, a validação do presente trabalho foi executada de maneira automática no software do programa no computador, neste caso foi no Erdas Imagem. O erro residual não deve ser superior a um pixel, conforme mostra a figura 16, no canto inferior direito.

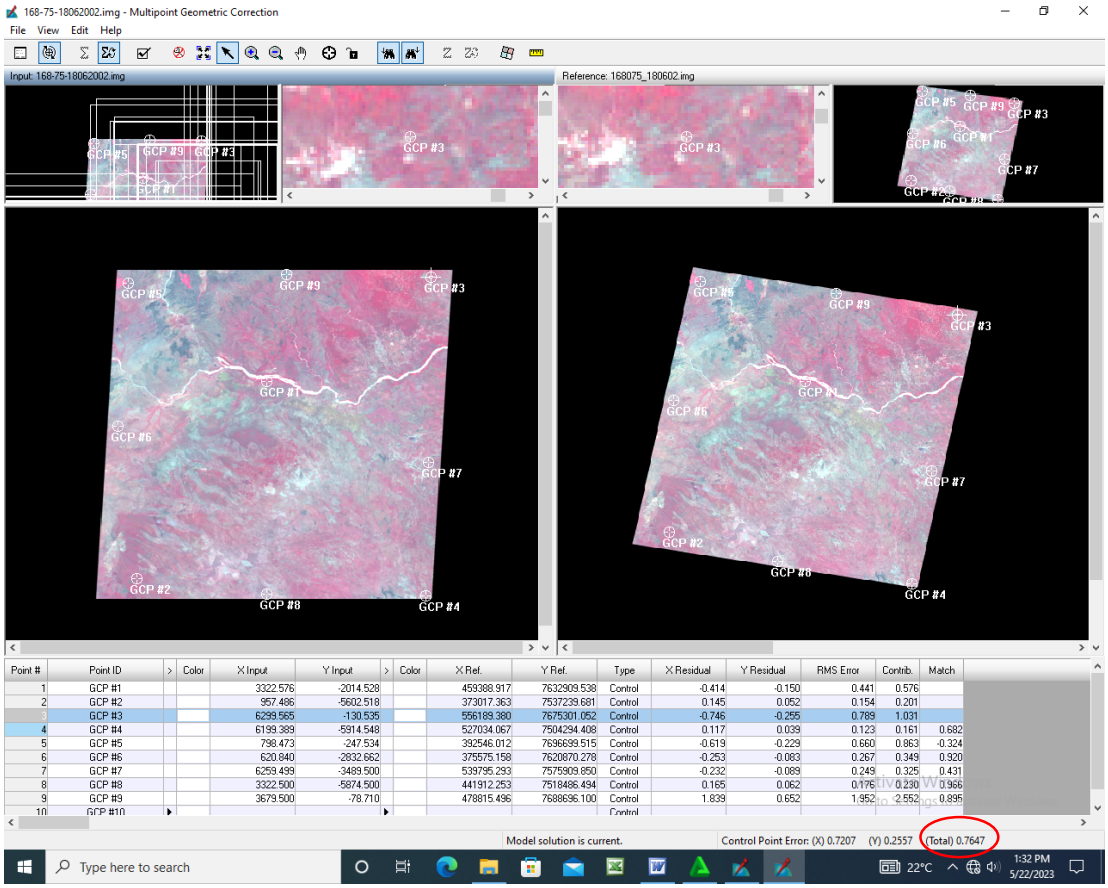

Figura 16: Validação da classificação

6. RESULTADO E DISCUSSÃO

6.1. Descrição das Áreas das Classes de NDVI em 2016

No ano de 2016, a distribuição da vegetação do Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI) no Distrito de Machaze apresentou-se da seguinte forma: a classe Solo Exposto e Rochas teve uma área de 73.22 hectares, indicando áreas com pouca ou nenhuma vegetação. A Vegetação Escassa cobriu 251.71 hectares, caracterizando regiões com vegetação rala. A classe Vegetação Moderada foi a terceira maior, com 2569.45 hectares, reflectindo áreas com uma densidade vegetal intermediária, figura 17.

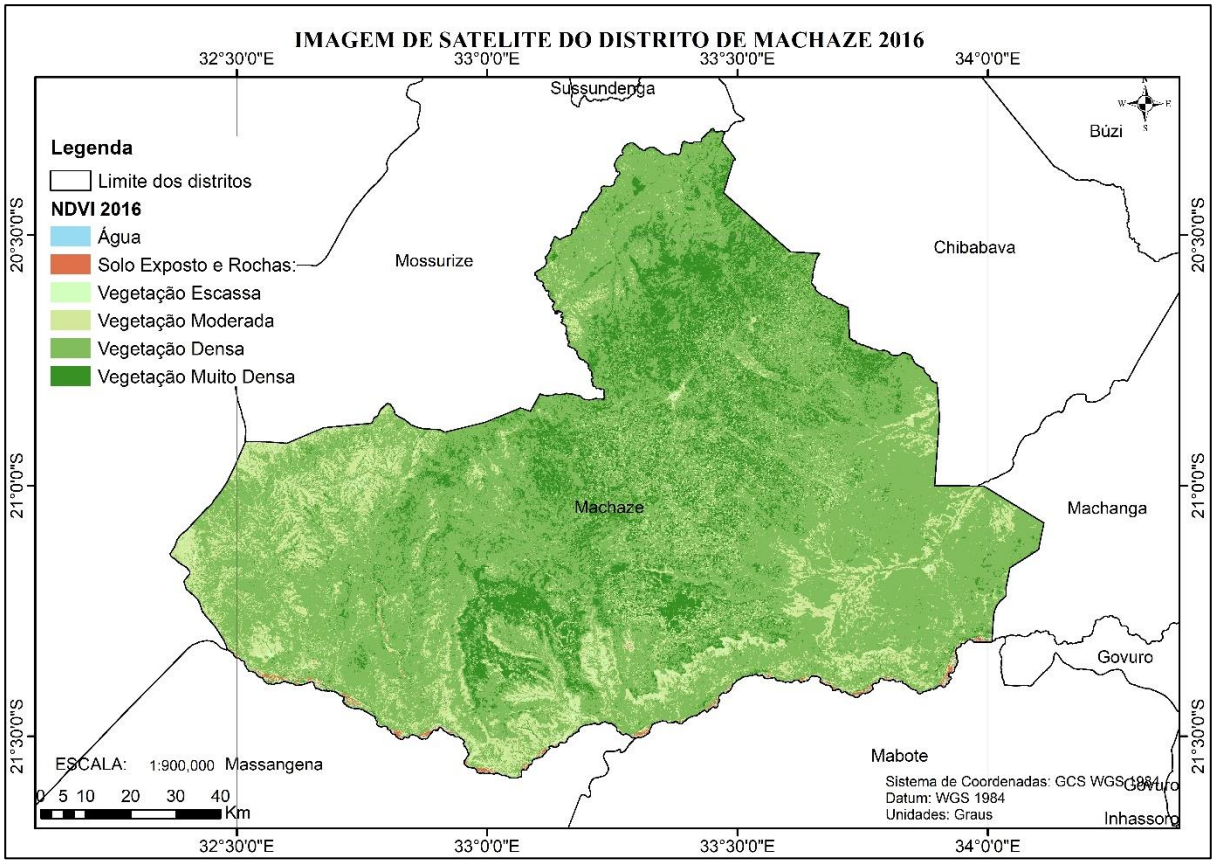

Figura 17: Descrição das classes de NDVI em 2016

A Vegetação Densa dominou a paisagem, com 11694.66 hectares, sendo a classe com a maior área entre todas, evidenciando a presença significativa de vegetação densa. Por fim, a classe Vegetação Muito Densa ocupou 2793.02 hectares, destacando-se como a segunda maior área, indicando regiões com cobertura vegetal extremamente densa.

A classe Água ocupou uma área de 20.15 hectares, representando uma pequena fração da cobertura total, tão insignificante que nem cobre 1%, conforme mostra a figura 18.

Gráfico da Análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, 2016

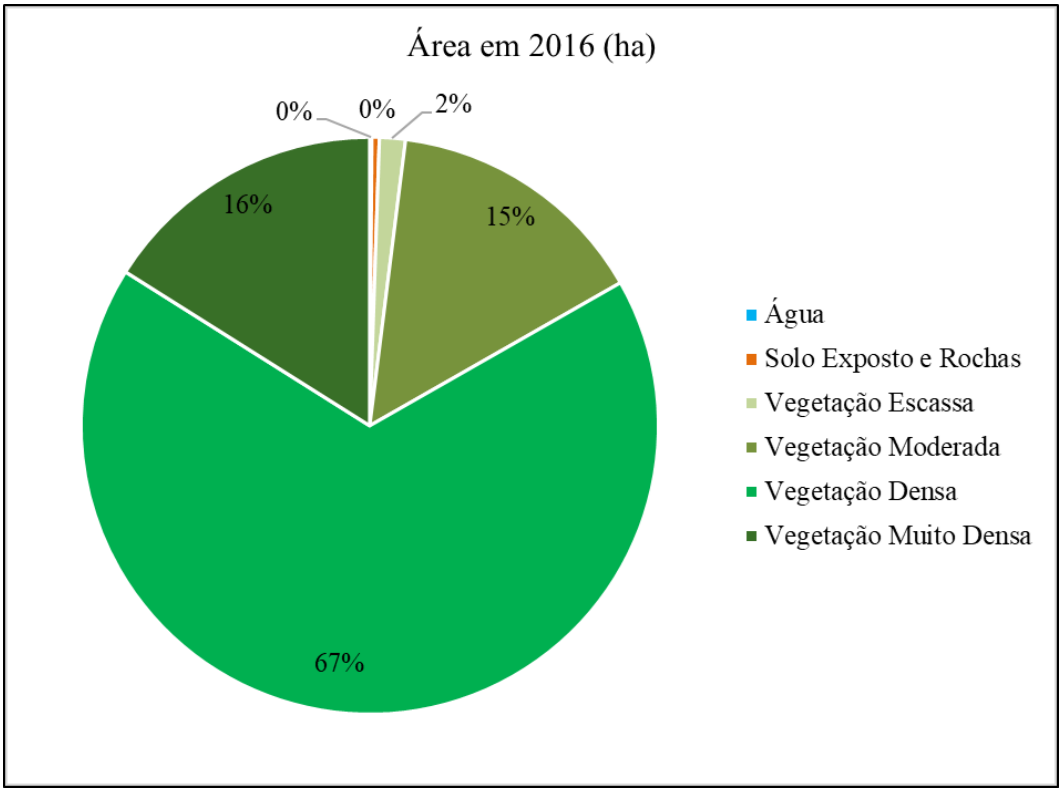

Figura 18: Áreas estimadas para as classes do NDVI 2016

6.2. Descrição das Áreas das Classes de NDVI em 2023

A detecção de mudanças a partir da Diferença de Índices de Vegetação foi realizada a partir da subtração do índice de vegetação NDVI do ano de 2016 e 2023.

A variação de NDVI dos anos 2016 a 2023 tanto na época chuvosa assim como seca, traduz-se em (NDVI>0) manchas verdeadas que representam ganhos, (NDVI=0) manchas amareladas representam áreas que não sofreram mudanças e (NDVI<0) com manchas alaranjadas representam perda de vegetação. Portanto, com a diferença de NDVI na época seca, verificou-se maior perda de área vegetal em relação a época chuvosa. Os valores do NDVI apresentam as maiores discrepâncias na estação chuvosa, uma vez que, o conteúdo de vapor de água na atmosfera afecta intensamente as bandas do infravermelho próximo.

As mudanças acima mencionadas reflectem alterações no uso do solo e nas condições ambientais do distrito de Machaze em 2023, tendo resultado em mapas de NDVI conforme apresentado na figura 19.

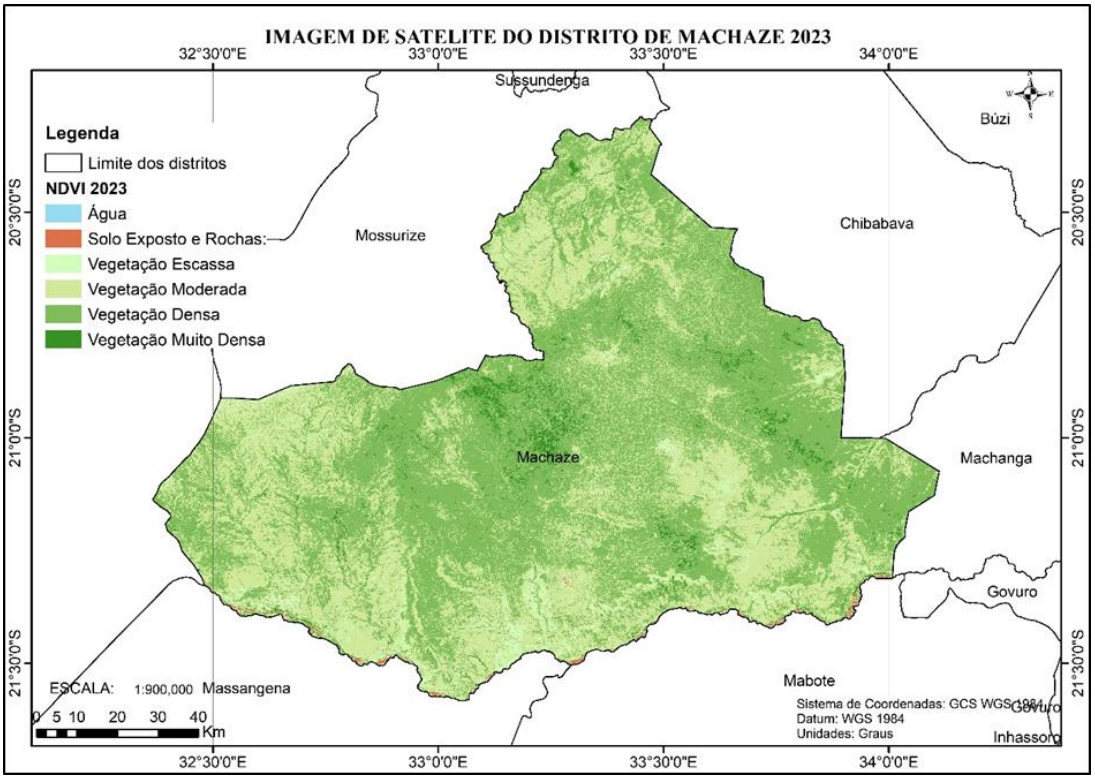

Figura 19: Mapa NDVI 2023

Em 2023, a distribuição das áreas das classes de NDVI no Distrito de Machaze apresentou algumas mudanças notáveis. A classe Água reduziu-se para 12.67 hectares, sugerindo uma diminuição nas áreas de corpos d'água. A classe Solo Exposto e Rochas aumentou para 91.39 hectares, reflectindo uma expansão das áreas com pouca ou nenhuma vegetação. A Vegetação Escassa apresentou um aumento significativo, cobrindo 786.85 hectares, o que pode indicar uma degradação ou mudanças nas práticas de uso do solo. A Vegetação Moderada aumentou drasticamente para 6782.88 hectares, sugerindo uma transição de áreas anteriormente mais densamente vegetadas para uma vegetação de densidade intermediária. Em contraste, a classe Vegetação Densa diminuiu para 9278.46 hectares, mostrando uma redução nas áreas com vegetação densa conforme apresentadas no quadro 1.

Representação Quantitativa das classes de uso, 2023

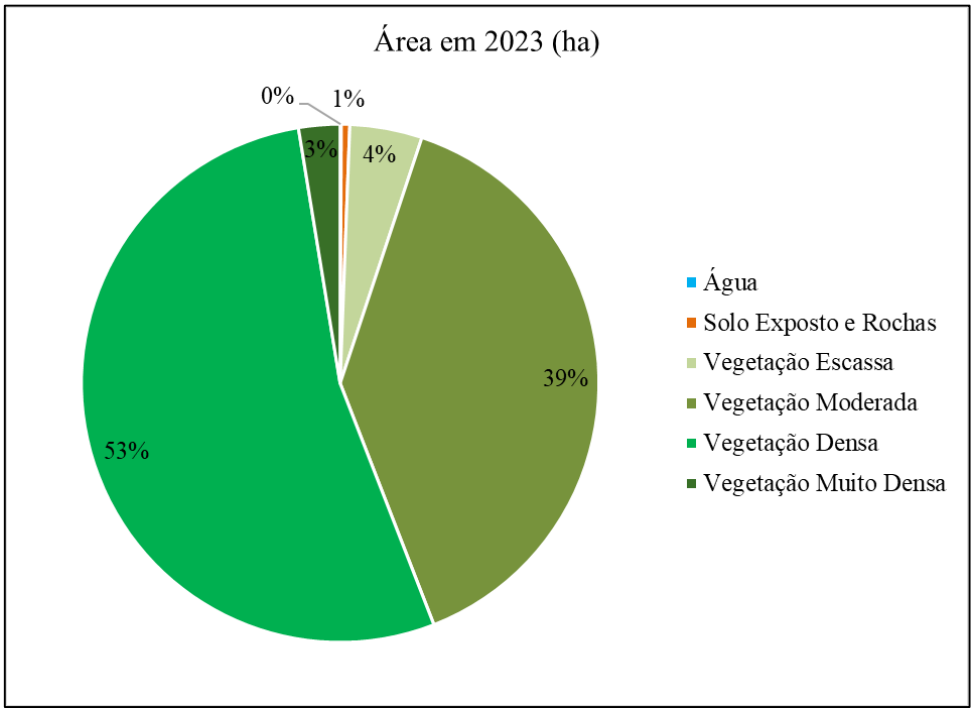

Figura 20: Áreas estimadas para as classes do NDVI 2023

6.3. Comparação do NDVI 2016 e 2023

Entre os anos de 2016 e 2023, a distribuição das áreas das classes de NDVI no distrito de Machaze apresentou mudanças na cobertura vegetal. Em 2016, a classe Água ocupava 20.15 hectares, reduzindo-se para 12.67 hectares em 2023, sugerindo uma diminuição nas áreas de corpos d'água. A área de Solo Exposto e Rochas aumentou de 73.22 hectares para 91.39 hectares, indicando uma expansão das áreas com pouca ou nenhuma vegetação. A Vegetação Escassa experimentou um crescimento substancial de 251.71 hectares para 786.85 hectares, possivelmente reflectindo degradação ou mudanças nas práticas de uso do solo. A Vegetação Moderada teve um aumento dramático de 2569.45 hectares para 6782.88 hectares, sugerindo uma transição de áreas anteriormente mais densamente vegetadas para uma vegetação de densidade intermediária. Por outro lado, a área de Vegetação Densa diminuiu de 11694.66 hectares para 9278.46 hectares, mostrando uma redução nas áreas com vegetação densa. A classe Vegetação Muito Densa sofreu uma redução acentuada de 2793.02 hectares para 449.96 hectares, indicando uma significativa perda de cobertura vegetal extremamente densa. Essas mudanças reflectem alterações no uso do solo e nas condições ambientais do distrito de Machaze, destacando tendências de degradação em áreas de vegetação densa e um aumento nas áreas de vegetação escassa e moderada, ver quadro 1.

Quadro 1: Análise das Principais Perdas e Ganhos de NDVI 2016 e 2023

Classe	2016		2023		Mudança liquida	
	Área (km²)	%	Área (km²)	%	Área (km²)	%
Água	20.15	0.12	12.67	0.07	-7.48	-0.04
Solo Exposto e Rochas	73.22	0.42	91.39	0.53	18.17	0.10
Vegetação Escassa	251.71	1.45	786.85	4.52	535.14	3.08
Vegetação Moderada	2569.45	14.77	6782.88	38.98	4213.43	24.21
Vegetação o Densa	11694.66	67.2	9278.46	53.32	-2416.2	-13.88
Vegetação Muito Densa	2793.02	16.05	449.96	2.59	-2343.06	-13.46
Total	17402.21	100	17402.21	100	-	-

Os dados do NDVI mostram a interação da vegetação ao longo do período em análise para o distrito de Machaze. Esta tendência do comportamento da vegetação está relacionada à uma acção antrópica, na medida em que a população vai erguendo infraestruturas. Estas mudanças

são identificadas em função de alterações nos valores de radiância dos pixels, possibilitando a comparação entre duas datas, como é mostrado na figura 21.

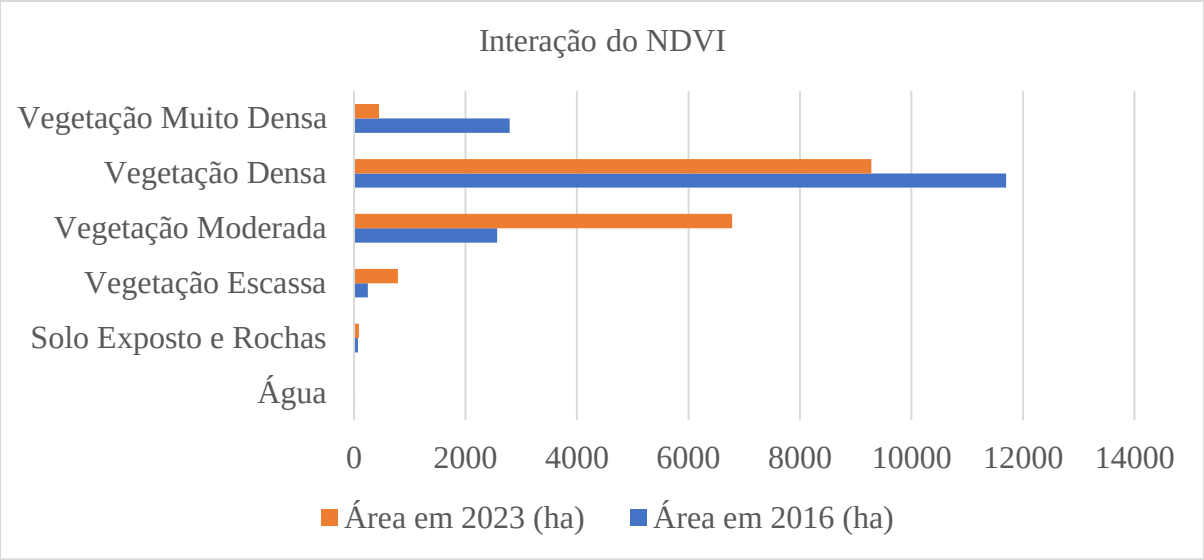

Figura 21: variação do NDVI 2016 e 2023

6.4. Análise das principais perdas e ganhos de NDVI, 2016 e 2023

Entre 2016 e 2023, o Distrito de Machaze experimentou diversas mudanças nas classes de NDVI, reflectindo alterações significativas no uso do solo e nas condições ambientais. A matriz de mudanças revela que a classe Água perdeu 3.84 hectares que se mantiveram como água, enquanto 7.29 hectares passaram para Solo Exposto e Rochas, 4.54 hectares para Vegetação Escassa e 2.64 hectares para Vegetação Moderada.

A Vegetação Muito Densa sofreu uma notável transformação, com apenas 197.36 hectares permanecendo na mesma classe, enquanto 231.66 hectares foram convertidos para Vegetação Densa. As maiores transições ocorreram entre as classes de vegetação: 4499.38 hectares de Vegetação Densa tornaram-se Vegetação Moderada, e 536.35 hectares de Vegetação Muito Densa também passaram para Vegetação Moderada.

A classe Vegetação Escassa cresceu significativamente com 95.49 hectares de Vegetação Moderada e 49.49 hectares de Vegetação Densa sendo reclassificados para essa categoria. As perdas mais expressivas foram observadas nas classes de Vegetação Muito Densa e Vegetação Densa, que foram redistribuídas principalmente para Vegetação Moderada e Vegetação

Escassa, indicando um processo de degradação da cobertura vegetal densa. Desta feita, a nossa matriz de confusão é apresentada na tabela 2.

Quadro 2: Mudanças ocorridas na utilização do Solo no período 2016 e 2023

classes	Água	Solo Exposto e Rochas	Vegetação Escassa	Vegetação Moderada	Vegetação o Densa	Vegetação Muito Densa
Água	3.84	7.29	4.54	2.64	1.58	0.26
Solo Exposto e Rochas	3.41	36.29	16.17	9.1	7.29	0.96
Vegetação Escassa	1.97	14.82	87.51	95.49	49.49	2.43
Vegetação Moderada	1.38	12.48	330.82	1639.92	567.56	17.29
Vegetação Densa	1.88	18.21	303.55	4499.38	6639.98	231.66
Vegetação Muito Densa	0.19	2.3	44.26	536.35	2012.56	197.36

Por outro lado, houve um aumento considerável em áreas de Vegetação Escassa e Vegetação Moderada, refletindo um enfraquecimento geral na densidade da vegetação no distrito de Machaze.

O distrito de Machaze apresentou um declínio substancial nas áreas de Vegetação Densa e Vegetação Muito Densa, refletindo uma degradação da cobertura vegetal mais densa. Em contrapartida, houve um aumento significativo nas áreas de Vegetação Escassa e Vegetação Moderada, sugerindo que áreas anteriormente densamente vegetadas passaram a ter vegetação menos densa.

A classe Água também diminuiu, possivelmente devido a mudanças climáticas ou atividades humanas. Essas mudanças indicam uma tendência de degradação da vegetação densa e uma expansão de áreas com vegetação mais rara no distrito de Machaze entre 2016 e 2023, conforme é apresentado na figura 22.

A figura 22 mostra as principais perdas e ganhos de NDVI para os dois períodos estudados, um húmido (14/02/2016) e outro seco (17/09/2023). O NDVI em declínio indica perda de vegetação, enquanto um aumento indica ganho, verifica-se que nos dois períodos ocorreram valores negativos de NDVI.

Análise das principais perdas e ganhos de NDVI, 2016 e 2023

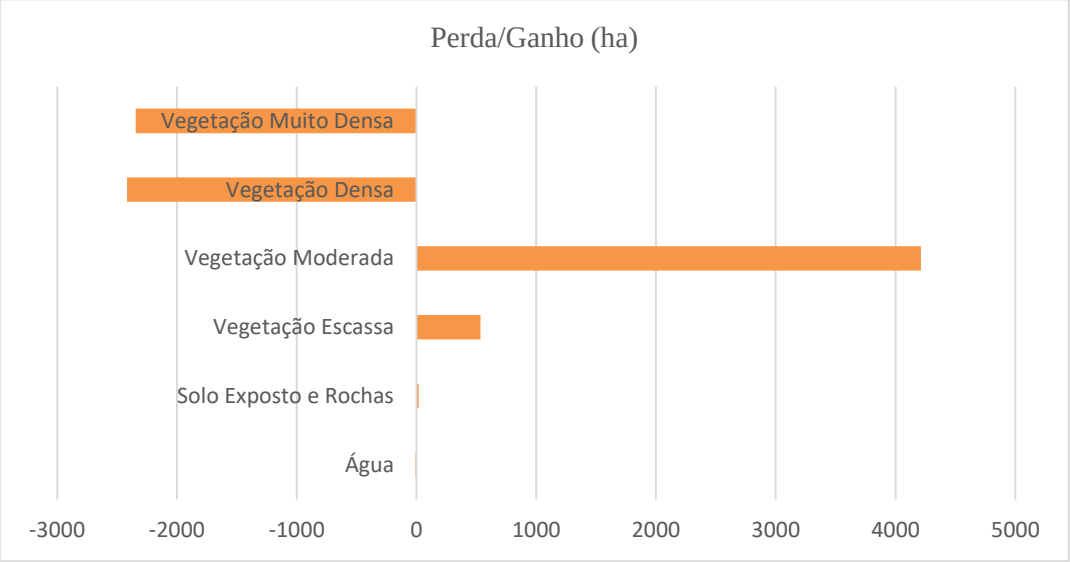

Figura 22: Análise das principais perdas e ganhos de NDVI, 2016 e 2023

6.5. Mapa de uso e cobertura da Terra do Distrito de Machaze (2016 e 2023)

Com os dados de 2016, o mapeamento resultou nas seguintes classes, nomeadamente: floresta Decídua ocupam cerca de 383050.07ha (29%), floresta Mista com 188788.89ha (14%), floresta Sempervirente 489005.67ha (37%), Pântanos com Vegetação 49372.46ha (4%), pastagem herbácea com 99662.16ha (7%), pastagem mista com 78977.18 há (6%), área residencial ou actividades humanas com 30989.25ha (2%) e solo exposto com 9081.57ha (1%), como apresentado na figura 23.

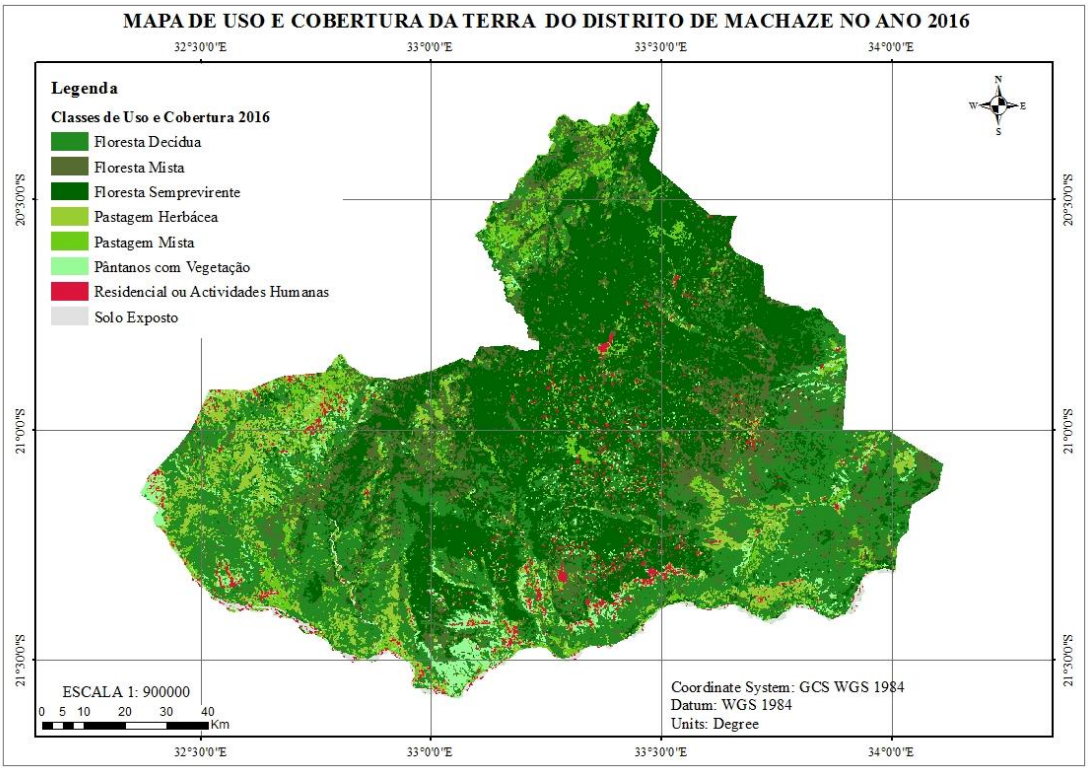

Figura 23: Mapa de uso e cobertura, Distrito de Machaze 2016

Em 2023, o mapeamento resultou nas seguintes classes, nomeadamente: floresta Decídua com uma área de 11025.76ha (1%), floresta Mista com 331480.06ha (25%), floresta emprevirente com 91914.79ha (7%), pastagem herbácea com 414602.08ha (31%), pastagem arbustiva com 351995.03ha (26%), pântanos com vegetação tem 20859.65ha (2%), área residencial ou

actividades humanas com 108073.59ha (8%) e solo exposto com 10577.44ha (1%) como apresentado na figura 24.

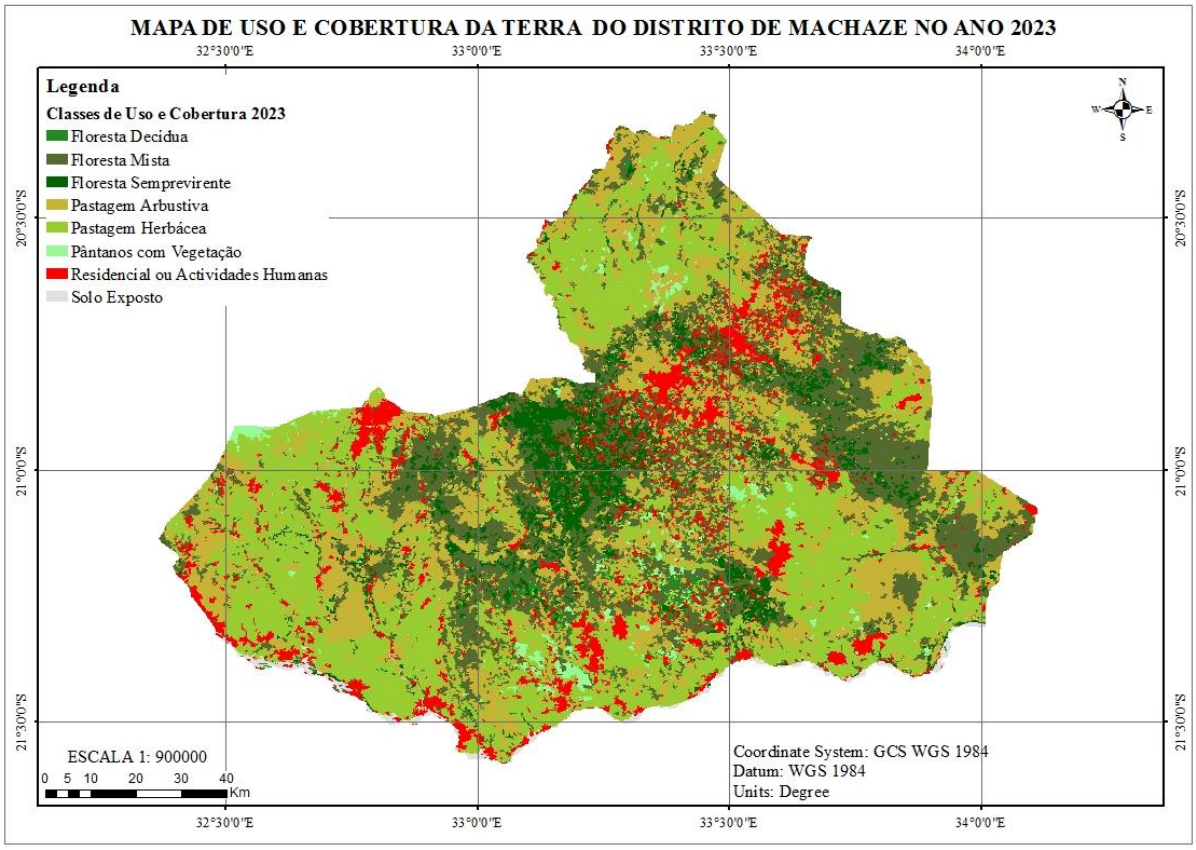

Figura 24: Mapa de uso e cobertura da terra, Distrito de Machaze 2023

No geral, houve uma alteração entre as classes de NDVI em 2016 e 2023. As florestas Decídua, Floresta Sempervirente e Pântanos com Vegetação reduziu significativamente em 2023

Esta redução ocorreu principalmente nas plantações a noroeste de Machaze, onde as plantações foram completamente removidas ou houve uma degradação da cobertura das mesmas.

Em contrapartida, as florestas Mista, Pastagem Herbácea, a área residencial ou actividades humanas aumentaram consideravelmente em 2023.

A figura 23 e 24 ilustram as áreas de mudanças a partir do NDVI. Como pode ser observado nos mapas de NDVI dos anos 2016 e 2023, as áreas que apresentam cores que tendem do amarelo para verde escuro indicam maior densidade de vegetação. Por outro lado, as cores que tendem do amarelo escuro para marrom indicam áreas de menor densidade de vegetação. Pode-se também verificar uma considerável diferença de intensidade de tonalidade entre os dois períodos, ou seja, as áreas com intensidade de cores verde escuro e marrom escuro são mais marcantes no ano de 2023, indicando dois cenários : em 2016 ocorriam extensas áreas de vegetação em estado natural e poucas áreas com nenhuma vegetação, tais como áreas urbanas e industriais; no ano 2023 observa-se uma tendência de modificação da paisagem, as áreas que no ano 2016 se apresentavam com maior intensidade de verde escuro no ano 2016 se mostram menos intensas, as áreas de amarelo para marrom, que predominavam no ano 2023 se mostram mais próximas do marrom escuro para o verde 2023.

De forma geral, a figura 24 apresenta as áreas em sua maior parte com perda do NDVI, executando-se alguns pontos com áreas que aparentemente estão com valores de NDVI inalterados durante o período analisado, ou seja, nem ganho ou perda de vigor vegetativo.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O mapa temático das imagens processadas com o índice estudado permitiu detectar e separar em diferentes classes de cobertura vegetal na região estudada. As informações obtidas da cobertura vegetal em ambos os períodos de estudo, um seco e outro húmido, mostraram as mudanças de vegetação na área de estudo, baseado no resultado do índice de vegetação estudado.

7.1. Conclusões

Os valores obtidos do NDVI estão directamente ligados à disponibilidade hídrica do perfil do solo. Por isso, a imagem do período húmido é mais homogênea e não apresenta visualmente áreas com valores muito baixos, que caracterizariam áreas degradas, as quais são possíveis de serem visualizadas com mais nitidez na porção norte das imagens do período seco.

Os maiores valores de NDVI correspondem aos Números Digitais (ND) mais elevados, que se relacionam às áreas de vegetação com maior vigor. Enquanto os menores valores equivalem aos ND baixos, representando as áreas de vegetação estressada, bem menos densas ou até mesmo áreas desnudas.

7.2. Recomendações

Como recomendações para o CENACARTA I.P, sendo uma entidade de representação a nível nacional, a investir na cria de um sistema de armazenamento centralizado que permite a organização, o gerenciamento e o compartilhamento de dados em uma rede. Este actua como um repositório seguro e acessível, onde os usuários podem armazenar, recuperar e colaborar com documentos relevantes, e não em CDs e discos externos.

Revisar imagens NDVI de temporadas passadas permite aos agricultores identificar áreas de baixo desempenho e refinar suas estratégias de monitoria para as próximas temporadas.

Uso da plataforma *Google Earth Engine* para o mapeamento e monitoramento da vegetação, pois, esta facilita o processamento de grandes volumes de dados geográficos em grandes áreas e a monitorização do ambiente durante longos períodos de tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, E. S., Haddad, E. A. e Hewings, G. J. D. The spatial patterning of crime in Minas Gerais: an exploratory analysis. Brazilian

Bakker, M. P. (1965). *Cartogtafia: Noções Basicas. Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação.*

Batty, M., Almeida, C. M., Câmara, G., Monteiro, A. M., M., L. T., & Kieffer, R. W. (2003). *Remote Sensing and Image Interpretation.* New York: John Wiley e Sons, Inc.

CENACARTA. (2006). *Normas e Procedimentos de Fornecimento e Difusão de Informação Geo-referenciada ao público.* . Maputo-Moçambique. : MINAG.

Crosta, A. P. (1992). *Processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto.* . Campinas: UNICAMP.

Da Silva, E. V., Pacheco, J. A., & Maidjelele, G. B. (2019). *Analise do Uso e Cobertura do Solo no Município de Chimoio, Moçambique.* . Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE.

Ferrão, M. (2007). *A teledetecção em Moçambique - Situação Actual, Perspectivas e Constrangimentos.* . Maputo.

Geodata, M. (2002). *Sensoriamento remoto. Disponível em: www.geodatamz.com Foody, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. Remote Sensing of Environment.* . New York, NY: Elsevier.

Iodeta, I. V. (2000). *Concepção de Bases Cartográficas para Projectos de Engenharia. São Paulo. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia)* – . São Paulo.: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. .

Lillesand, M. T., & Kiefer, F. W. (2003). *Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Inc. 3a ed.* .

Lillesand, T. M., & W., K. R. (2000). *Remote sensing and image interpretation.*

MAE, M. D. (2014). *Perfis Distritais. República de Moçambique.* Maputo.

INA. (2024). *Estatísticas do Distrito de Machaze, 2019 - 2023. Maputo-Moçambique: Instituto*

Nacional de Estatística. https://www.ine.gov.mz

Mazalo, E. C. (2018). *Cartografia de Ocupação da Terra com Imagens Landsat para o Distrito de Machaze – Moçambique.* . Machaze .

Meneses, R., & Netto, J. S. (2001). *Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais.* Brasília, DF.: Embrapa Cerrados.

Pinto, D. (2001). *A Utilização do Sensoriamento remoto e do geoprocessamento como ferramentas aplicadas as ciências da terra e do mar.* UFCS.

Santos, T. A. (2003). *Actualização de Cartografia Temática com imagens de Satélite. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica.* . Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa -Instituto Superior Técnico.

Sitoe, A., Ribeiro, N., Falcão, M., Mate, R., Nhamirre, J., Walker, S., Melo, J. (2016). Identificação e análise dos agentes e causas directas e indirectas do desmatamento e degradação florestal em Moçambique. Maputo.

Whistler, J. L. (1995). *The Kansas State Land Cover Mapping Project: Regional Scale Land Use/Land Cover Mapping Using Landsat Thematic Mapper Data." Proceedings Of The ACSM/ASPRS Annual Convention & Exposition Technical Papers.*

https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview."

https://brasilescola.uol.com.br/geografia/sig.htm

https://pt.scribd.com/oauth/signup?doc_id=488069946

APENDICES

Orçamento

Para a realização dos trabalhos do estágio, esta previsto um orçamento de cerca de 503.500,00 (Quinhentos e três mil e quinhentos meticais).

Segue abaixo o orçamento detalhado para condução da pesquisa no Centro Nacional de Cartografia e Teledeteção Instituto Público (CENACARTA I.P):

Quadro 3: Orçamento

Item	**Quantidade**	**Preço unitário metical**	**Valor total meticais**
Computador	1	100.000,00	170.000,00
Impressora	1	245.000,00	245.000,00
Resma	2	1.000,00	1.000,00
Scanner	1	43.500,00	43.500,00
Mesa para computador	1	27.000,00	27.000,00
Cadeira para a mesa	1	17.000,00	17.000,00
Ajudas de custos	5 dias	30.000,00	30.000,00
Aluguel de carro e combustível	3 dias	40.000,00	40.000,00
Total			**503.500,00**

Nota: Todos os custos do referido protocolo serão arcados pelo próprio CENACARTA I.P

Cronograma das atividades

Plano de estágio

O estágio teve a duração de cinco (5) meses, contados a partir do mês de Agosto à Dezembro de 2023.

Para a execução do pressente trabalho foi seguido o cronograma disposto na tabela abaixo, e cada fase terá a duração de 1 mês podendo, no entanto, o período ser encurtado assim que se verificar uma assimilação rápida dos processos ou estender-se em caso de alguma eventualidade.

Quadro 4: Cronograma das atividades

ACTIVIDADES	**Ano, 2023**				
	Ago	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
Aquisição e Pré-processamento de Imagens Digitais					
Correção Radiométrica, Apoio de Campo e criação do Modelo Numérico de Terreno					
Orto-retificação e Mosaico					
Produção da Base de Dados					
Revisão de Campo e Levantamento Toponímico					
Confecção das Cartas topográficas e/ou Ortofotomapas,					
Controle de qualidade e Impressão de mapas					
Compilação do relatório do estágio					