



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

**ANÁLISE DE USO E COBERTURA VEGETAL DA TERRA NAS
ZONAS AFECTADAS PELO TERRORISMO NO DISTRITO DE
MOCÍMBOA DA PRAIA, CABO-DELGADO**

Januário Aurélio Inguane

Maputo
2024

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

ANÁLISE DE USO E COBERTURA VEGETAL DA TERRA NAS
ZONAS AFECTADAS PELO TERRORISMO NO DISTRITO DE
MOCÍMBOA DA PRAIA, CABO-DELGADO

Januário Aurélio Inguane

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
Co-orientador: Msc. Anastácio Aguiar Mussa

Maputo
2024

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**ANÁLISE DE USO E COBERTURA VEGETAL DA TERRA NAS
ZONAS AFECTADAS PELO TERRORISMO NO DISTRITO DE
MOCÍMBOA DA PRAIA, CABO-DELGADO**

Januário Aurélio Inguane

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 ____ de _____ de 2024, por:

Doutor. Adelino Martins
(Arguente – DMI-UEM)

Prof. Doutor. Orlando Zacarias
(Presidente – DMI-UEM)

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

Mestre. Anastácio Aguiar Mussa
(Co-orientador – FADM)

Maputo
2024

Dedicatória

Este trabalho é dedicado a minha querida e amada esposa.

Declaração

Declaro por minha honra que, este trabalho, nunca foi apresentado para obtenção de qualquer grau ou num outro âmbito e que o mesmo constitui o resultado do meu labor.

Todas as fontes usadas para este trabalho foram citadas e constam na lista de referências.

Este trabalho é apresentado em cumprimento parcial, dos requisitos para obtenção do grau de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável, da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Julho de 2024

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, e pela graça e misericórdia.

Ao meu orientador Prof. Doutor. Ernesto Lenathy Muheca pela orientação e todo apoio académico prestado e ao Co-orientador Msc. Anastácio Aguiar Mussa.

A Repartição de Cartografia Militar, Departamento de Operações Militares do Estado Maior General das Forças Armadas de Defesa de Moçambique, pela oportunidade de estágio que me concedeu.

A todos os colegas do curso de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica para o Desenvolvimento Sustentável, pela colaboração no estudo colectivo.

A minha amada e querida esposa Lúcia Maria Guambe Inguane, pelo seu companheirismo.

RESUMO

Moçambique é um país que desde Outubro de 2017 vem sofrendo ataques terroristas na província de Cabo-Delgado, perpetrados por um grupo armado, provocando deslocamentos forçados da população das suas zonas habituais de vivência. No entanto, estes deslocamentos forçados têm obrigado a população a migrar para novas zonas seguras, causando assim o uso desordenado da terra, tornando susceptível a terra a dinâmicas, sobretudo no uso e cobertura vegetal da terra. Portanto, analisou-se o uso e cobertura vegetal da terra nas zonas afectadas pelo terrorismo no distrito de Mocímboa da Praia, Cabo-Delgado; determinou-se o uso e cobertura vegetal da terra com imagens satélites MODIS e Landsat-8 e identificou-se as zonas que sofreram mudanças. Para tal, com as técnicas de sensoriamento remoto foram obtidos dados espaciais Sistemas de Informação Geográfica (SIG) os mesmos, foram processados e analisados no ambiente do Software ArcGIS Pro versão 2.9 e a plataforma do Google Earth Engine para a geração de uso e cobertura vegetal da terra no período de 2010 a 2023, por meio de índices de vegetação. Neste contexto, foram gerados mapas com um Índice Kappa de 0.88, a floresta densa apresentou maior perda em 18537.66 hectares correspondente a 6.33%, e savana apresentou maior ganho com 16445.36 hectares correspondente 5.37%, e os índices NDVI, NDBI e BSI com variabilidades das classes com intervalos satisfatórios, apresentando um estado fenológico da vegetação bom, que apresentou eficazmente a interface na determinação das classes, permitindo assim rápida identificação de mudanças de vegetação temporal. Desta feita, irá contribuir na monitorização e planeamento estratégico, sob ponto de vista da variabilidade temporal e circunstancial do momento de cobertura vegetal, contribuindo assim para operações de reconhecimento militar na tomada de decisão para defesa e segurança na área de estudo.

Palavras-chave: Mocímboa da Praia, Sensoriamento remoto, Cobertura vegetal, MODIS e Índice de vegetação.

ABSTRACT

Mozambique is a country that since October 2017 has suffered terrorist attacks in the province of Cabo-Delgado, perpetrated by an armed group, causing forced displacement of the population from their usual living areas. However, these forced displacements have forced the population to migrate to new safe zones, thus causing disorganized land use, making the land susceptible to dynamics, especially in land use and vegetation cover. Therefore, was analyzed the land use and vegetation cover in the areas affected by terrorism in the district of Mocímboa da Praia, Cabo Delgado; we determined land use and vegetation cover using MODIS and Landsat-8 satellite images and identified the areas that have changed. To this end, using remote sensing techniques, spatial data was obtained from Geographic Information Systems (GIS) and processed and analyzed using ArcGIS Pro software version 2.9 and the Google Earth Engine platform to generate land use and vegetation cover for the period 2010 to 2023, using the vegetation index. In this context, maps were generated with a Kappa Index of 0.88, dense forest showed the greatest loss at 18537.66 hectares corresponding to 6.33%, and savannah showed the greatest gain with 16445.36 hectares corresponding to 5.37%, vegetation index NDVI, NDBI and BSI with class variability with satisfactory intervals, showing a good phenological state of the vegetation, which effectively presented the interface in determining the classes, thus allowing rapid identification of temporal vegetation changes. In this way, it will contribute to monitoring and strategic planning, from the point of view of the temporal and circumstantial variability of the moment of vegetation cover, thus contributing to military reconnaissance operations in decision-making for defense and security in the study area.

Keywords: Mocímboa da Praia, Remote sensing, Vegetal cover, MODIS and Vegetation index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem de sensor MODIS.....	8
Figura 2: Imagem de um sensor Landsat: (a) OLI e (b) TIRS.	10
Figura 3: Série de Satélite Sentinel.	12
Figura 4: Organigrama do local de estágio.....	20
Figura 5: Mapa de localização da área de estudo.	21
Figura 6: Fluxograma metodológico.	29
Figura 7: Mapa de classe de cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2010.	30
Figura 8: Mapa de classe de cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2017.....	31
Figura 9: Mapa de classe de cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2023.....	31
Figura 10: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2010.....	32
Figura 11: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2017.....	32
Figura 12: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2023.....	33
Figura 13: Diferença de áreas (ha) para cada uso e cobertura vegetal da terra na época seca de (2010-2023)	34
Figura 14: Mudanças no NDVI (2010-2023).	35
Figura 15: Mudança de área (ha) de uso e cobertura vegetal da terra, do distrito de Mocímboa da Praia (2010-2023).....	37
Figura 16: Conversão das classes de uso e cobertura vegetal do distrito de Mocímboa da Praia.....	38
Figura 17: Mapa final de mudança de uso cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia (2010-2023)	39
Figura A1: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2010.....	48
Figura A2: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2017.....	48
Figura A3: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2023.....	49
Figura B1: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2010 a 2023.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Série Sentinel.....	9
Tabela 2: Intervalo de aceitação dos resultados do Índice de Kappa.....	17
Tabela 3: Classificação de uso e cobertura de solo com base nos valores de índices de vegetação.....	27
Tabela 4: Matriz de confusão	36
Tabela 5: Estatísticas de mudança de cobertura da terra no distrito de Mocímboa da Praia	37

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Índice de Diferença Normalizada de Vegetação	13
Equação 2: Índice de Diferença Normalizada de Água.....	13
Equação 3: Índice de diferença Normalizada de Áreas Construídas.....	13
Equação 4: Índex de Vegetação Melhorado	13
Equação 5: Índice de Vegetação da Ampla Faixa Dinâmica	14
Equação 6: Índice de Solo Exposto	14
Equação 7: Índice Kappa.....	16

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CENACARTA	Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção
EUA	Estados Unidos de América
FADM	Forças Armadas de Defesa de Moçambique
FDS	Forças de Defesa e Segurança
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
MAE	Ministério de Administração Estatal
MITADER	Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MICOA	Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
OMR	Observatório de Meio Rural
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SIGM	Sistemas de Informação Geográfica Militar
TM	<i>Thematic Map</i>

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE EQUAÇÕES	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Definição do problema	2
1.2. Justificação	2
1.3. Contribuições do estudo	3
1.4. Objectivos.....	3
1.4.1. Objectivo geral	3
1.4.2. Objectivos específicos.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra.....	5
2.2. Sensoriamento Remoto.....	6
2.3. Sistemas de Sensores Usados nos Satélites	6
2.3.1. Sensor MODIS	7
2.3.2. Série Landsat	9
2.3.3. Série Sentinel.....	10
2.4. Índices de Vegetação	12
2.5. Google Earth Engine.....	15
2.6. Avaliação de exatidão de resultados.....	16
2.7. Alguns estudos relacionados.....	17
3. METODOLOGIA	19
3.1. Caracterização de local de estágio	19
3.1.1. Missão da Repartição de Cartografia Militar	19
3.1.2. Estrutura Orgânica da Repartição de Cartografia Militar.....	19
3.2. Descrição da área de estudo.....	21
3.2.1. Características Físico-geográficas	22
3.2.2. Caracterização Sócio-económico	25
3.3. Materiais	26
3.4. Métodos	27
3.4.1. Determinação de classes de uso e cobertura da Terra.....	27
3.4.2. Produção de mapas temáticos.....	28
3.4.3. Detecção de mudanças	29

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1.	Classificação de Uso e Cobertura Vegetal da Terra	30
4.2.	Mudanças no NDVI no período de 2010 a 2023	34
4.3.	Análise de exatidão dos resultados	35
4.4.	Análise das mudanças da vegetação	36
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
5.1.	Conclusões.....	41
5.2.	Recomendações	42
6.	REFERÊNCIAS	43
7.	APÊNDICES	48

1. INTRODUÇÃO

O terrorismo é um problema global que tem atraído grande atenção, especialmente após os acontecimentos de 11 de setembro de 2001 nos EUA (Martens et al., 2014). De acordo com Hao et al., (2019), foram registados mais de 98 773 ataques terroristas entre 2001 e 2016, que resultaram em cerca de 238 808 mortes . Estes incidentes estão espacialmente agregados no Médio Oriente, no Sul da Ásia e no Norte de África, que são consideradas regiões geopoliticamente vulneráveis (Li, 2016).

Segundo Hyden (2006), o continente africano é caracterizado pelo baixo conflito entre Estados, mas em contrapartida, altos índices de conflitos internos (guerras civis e golpes de Estado). O continente africano é tido como o palco preferido de grandes atentados terroristas e Moçambique é tido como um dos países do mundo com altos riscos de terrorismo e de crimes transfronteiriços (Nota, 2020).

Desde Outubro de 2017, Moçambique, na província de Cabo-Delgado, tem cosnstituído um palco de violência armada, por conta de ataques terroristas perpetrados por um grupo armado, traduzindo-se em destruições de infraestruturas, saques de bens públicos e privados e assassinatos de populações civis (OMR, 2021).

O primeiro ataque terrorista, deu-se no distrito de Mocímboa da Praia e mais tarde foi se alastrando para outros distritos da província tais como, distrito de Palma, Nangade, Quissanga, Macomia, Chiure, Muidumbe e Ancuabe (OMR, 2020).

De acordo com ONU (2021), o conflito e seus massivos deslocamentos induzidos, estão tendo impactos profundos no uso do solo e posse da terra. A deslocação forçada de mais de meio milhão de indivíduos coloca um forte desafio à assistência humanitária, mas também em termos de reassentamento populacional (OMR, 2020).

Detectar mudanças é o processo de identificar alterações no estado de um objecto ou fenómeno observando-o em momentos diferentes (Penha & Francisco, 2017). A obtenção de informações satisfatórias sobre mudanças deve abranger: variação de área de mudança, distribuição espacial dos tipos alterados, trajectórias de tipos de cobertura da terra, e avaliação da precisão da detecção de mudança.

Segundo Ribeiro et al., (2016), a era moderna a ferramenta de sensoriamento remoto na perspectiva do estudo da paisagem geográfica e seus produtos, é uma ferramenta bastante utilizada para o monitoramento da cobertura vegetal e suas mudanças.

1.1. Definição do problema

O distrito de Mocímboa da Praia é um dos mais importantes distritos, na dinamização da economia do norte da província de Cabo-Delgado, tal como é o caso de abastecimento dos distritos vizinhos em quase todo tipo de produtos e bens. Portanto, a intensificação da violência armada por parte de grupos armados, na província de Cabo-Delgado, coloca a população em situação de deslocamentos forçados, crescendo assim a demanda pelas novas áreas seguras para habitação. Como consequência, tem originado ocupação desordenada do solo que propicia mudanças bruscas no uso e cobertura vegetal da terra.

No entanto, o conhecimento das dinâmicas de transformação do uso e cobertura da terra mostra-se é importante para compreensão espaço-temporal, possibilitando inferir tendências de cenários futuros, do terreno do distrito de Mocímboa da Praia.

1.2. Justificação

A defesa da segurança e integridade territorial do distrito de Mocímboa da Praia, face a violência armada, permite o regresso das populações as suas zonas de origem, e desenvolvimento de suas actividades económicas.

A combinação das tecnologias de Sistemas de SIG e sensoriamento remoto, possibilita a aquisição de imagens satélites em tempo real e a baixo custo, para geração de produtos cartográficos essenciais para monitoramento da superfície terrestre.

Portanto, por meio deste estudo, permitirá identificar zonas com mudanças significativas associadas a ocupação desordenada do solo, denunciando novos solos expostos e áreas prováveis a acampamentos dos grupos armados, para além daqueles que ordenamento territorial estabeleceu através de Serviço Distrital de Planeamento e Infraestruturas (SDPI),

entretanto, servindo de fonte de tomada de decisões para as operações de defesa e segurança das populações.

1.3. Contribuições do estudo

Analisar as mudanças de uso e cobertura vegetal na área de estudo no período em análise, vai contribuir sobremaneira na monitorização e um planeamento estratégico, sob ponto de vista ambiental e para operações de reconhecimento militar e também na actualização de novos espaços da população refugiada, e para actualização de cartas topográficas.

Com o domínio da situação ambiental, sobretudo aspectos da cobertura vegetal da terra na área de estudo, vai contribuir para as FADM na facilidade de identificação, de forma pontual e com exactidão os trilhos e esconderijos dos terroristas, por um lado, e outros métodos operacionais para o combate e defesa das populações no geral e em particular na área de estudo.

A partir dos dados dos sensores de satélite, as informações geográficas que podem ser produzidas, constituem uma grande ferramenta no estudo de mudança do uso e cobertura vegetal do distrito da Mocímboa da Praia, pois poderá proporcionar um suporte de tomada de decisão, nos estudos ambientais e para as FADM.

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo geral

Analisar o uso e cobertura vegetal da terra no período do ano 2010 e 2023, nas zonas afectadas pelo terrorismo em Mocímboa da Praia, de modo a servir de fonte de tomada de decisões para as operações de defesa e segurança das populações.

1.4.2. Objectivos específicos

- Determinar o uso e cobertura vegetal nas zonas afectadas pelo terrorismo por meio de imagens satélites MODIS e Landsat-8 de 2010, 2017 e 2023;
- Produzir os mapas temporais de uso e cobertura vegetal;
- Identificar as mudanças significativas de uso e cobertura vegetal associadas as deslocções bruscas e massivas das populações;
- Comparar as variações de uso e cobertura vegetal da terra.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra

O uso e cobertura da terra é a interface entre a atmosfera e a biosfera para troca de materiais e energia (Twisa & Buchroithner, 2019). Entretanto, Ferrão (2005), considera que uso da terra é, normalmente, referido como qualquer modificação do padrão natural da terra, resultante de actividade humana. Por sua vez, cobertura da terra refere-se a vegetação natural e artificial, água, solo e outros elementos resultantes da dinâmica natural das transformações na terra.

Na óptica de Arastoo e Ghazaryan (2013), mudanças na cobertura terrestre são fenômenos inerentes ao mundo dinâmico e podem ocorrer em diferentes escalas e a diferentes taxas ao longo do tempo. A dinâmica dos tipos de mudança depende de fatores naturais ou artificiais e podem afetar seriamente o meio ambiente e os processos ambientais.

As mudanças de uso e cobertura da terra são desencadeadas pela interação de fatores socio-económicos e ambientais naturais. Inapropriadas práticas agrícolas, sobrepastoreio, rápido crescimento da população humana (Twisa & Buchroithner, 2019).

Portanto, Lu et al., (2004), separam a condução de uma análise de detecção de mudanças, utilizando dados provenientes de sensoriamento remoto que também conduzirão este estudo, a destacar o seguinte:

- Descrição da natureza dos problemas de detecção de mudanças;
- Selecção de dados adequados;
- Pré-processamento dos dados;
- Selecção de variáveis adequadas;
- Selecção do algoritmo de análise;
- Avaliação dos resultados.

2.2. Sensoriamento Remoto

De acordo com Novo (2010), o Sensoriamento Remoto remete a utilização de sensores para aquisição de informações sobre objectos ou fenómenos da superfície, sem que haja contacto directo entre eles.

Segundo Lillesand et al., (2015), o Sensoriamento Remoto é a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área, ou fenómeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não é em contato com o objeto, área ou fenómeno sob investigação.

Portanto, escolha das imagens adquiridas em tempos diferentes é directamente proporcional ao tipo de mudança que se deseja identificar. Isso justifica-se, pelo facto, de que a mudança esperada deve ser detectável nas datas escolhidas.

Utilizando diversos sensores, colectam-se remotamente dados que podem ser analisados para obter informações sobre os objetos, áreas ou fenómenos que estão sendo investigados. E podem assumir muitas formas, incluindo variações nas distribuições de força, distribuições de ondas acústicas ou distribuições de energia eletromagnética (Lillesand et al., 2015).

Afirma ainda que, os sistemas de sensores são instrumentos a bordo dos satélites e sua função é captar e registrar a energia electromagnética proveniente dos objectos na superfície terrestre. A um nível pormenorizado, existem muitas características técnicas de concepção e funcionamento que podem diferenciar um sistema de teledeteção por satélite de outro em termos de adequação a uma determinada aplicação.

2.3. Sistemas de Sensores Usados nos Satélites

Os sistemas de sensores são instrumentos a bordo dos satélites, para captar e registrar a energia electromagnética proveniente dos objectos na superfície terrestre. Os sensores podem ser classificados de várias formas, porém existe uma diferença básica que permite caracterizá-los em ativos (emite energia) e passivo (não emite energia) (Ferrão, 2005).

O autor supracitado acrescenta ainda que, os sistemas de sensores são caracterizados pela sua resolução, isto é, a sua capacidade em registrar informação, nas distintas curvas de reflectância espectral. A resolução depende da capacidade que o sensor possui para distinguir as variações da energia electromagnética, discriminar o detalhe espacial e espectral e, ainda, a frequência da sua passagem sobre o mesmo objecto . Portanto, a imagem satélite pode-se caracterizar pelos seguintes tipos de resolução:

- Resolução espacial – às vezes designada simplesmente por resolução, define o tamanho do pixel que corresponde à unidade mínima de informação de uma imagem satélite;
- Resolução espectral – é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema de sensores e pela amplitude do intervalo de comprimento de onda de cada banda;
- Resolução radiométrica – é a sensibilidade do sensor, isto é, a sua capacidade de detectar as diversas variações de radiância espectral que recebe;
- Resolução temporal – é a periodicidade com que o sensor capta a mesma porção de imagem na superfície terrestre.

Contudo, são vários os sistemas de sensores que são utilizados no sensoriamento remoto, porém, este estudo vai debruçar-se sobre as características gerais o sensor MODIS e as séries Landsat e Sentinel.

2.3.1. Sensor MODIS

Segundo Justice et al., (2002), MODIS é um sensor a bordo dos dois satélites do sistema de observação da Terra (Aqua e Terra), que se destina a fornecer dados abrangentes sobre terra, oceano e processos atmosféricos em simultâneo. A sua concepção tem origem em vários sensores anteriores, ou "instrumentos de herança" como o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) e *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS), como pode-se ver na Figura 1.

No entanto, o MODIS é um sucessor altamente melhorado desses sistemas anteriores. O MODIS não só fornece uma cobertura global repetida de dois dias com maior resolução

espacial (250, 500 ou 1000 m, dependendo do comprimento de onda) do que o AVHRR, mas também recolhe dados em 36 bandas espectrais cuidadosamente escolhidas, com sensibilidade radiométrica de 12 bits, altitude 700 km, ângulo de imageamento de $\pm 55^\circ$ e faixa imageada de 2330 km. Para além disso, os dados MODIS são caracterizados por uma retificação geométrica e uma calibração radiométrica melhoradas (Lillesand et al., 2015).



Figura 1: Imagem de sensor MODIS.

Fonte: NRC, 2013.

Os dados MODIS são particularmente úteis para compreender sistemas complexos à escala regional e global, bem como as suas dinâmicas. Uma grande variedade de produtos de dados atmosféricos, oceânicos e de superfície terrestre podem ser obtidos a partir dos dados MODIS.

Os produtos representativos dos oceanos incluem a temperatura da superfície do mar e as concentrações de clorofila e as concentrações de clorofila. Os produtos da superfície terrestre incluem, entre outros: reflectância da superfície, temperatura e emissividade da superfície terrestre, cobertura ou alteração do solo, índices de vegetação, anomalias térmicas ou incêndio, índice de área foliar ou fracção da radiação fotossinteticamente activa, produção primária líquida da vegetação, e conversão da vegetação.

2.3.2. Série Landsat

De acordo com a EMBRAPA (2024), os satélites da série Landsat fazem parte de um programa de estudos dos recursos terrestres, lançado em 1972 que antes designava-se de *Earth Resources Technology Satellites* (ERTS), no âmbito do quadro espacial com o mesmo nome, e a sua evolução é resumidamente apresenta na Tabela 1.

Tabela 1: Série Landsat.

Série Landsat	Ano de lançamento	Situação actual
Landsat-1	23/07/72	Desactivado em 06/01/78
Landsat-2	22/01/75	Desactivado em 25/02/82
Landsat-3	05/03/78	Desactivado em 31/03/83
Landsat-4	16/07/82	Semi-desactivado
Landsat-5	01/03/84	Activo até o momento (condicionado)
Landsat-6	05/10/93	Perdido após o lançamento
Landsat-7	15/04/99	Activo até o momento, mas com anomalias
Landsat-8	11/02/13	Activo

Fonte: adaptado de EMBRAPA, 2024.

O Landsat-8 incorpora dois sensores, o *Operational Land Imager* (OLI) e o sensor de infravermelhos térmicos *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) conforme a Figura 2, órbita polar a uma altitude de 705 km, órbita semelhante a dos Landsat-5 e -7 de 233 órbitas para cobrir todo o globo, tem o tempo de revisita a cada 16 dias (Lillesand et al., 2015).

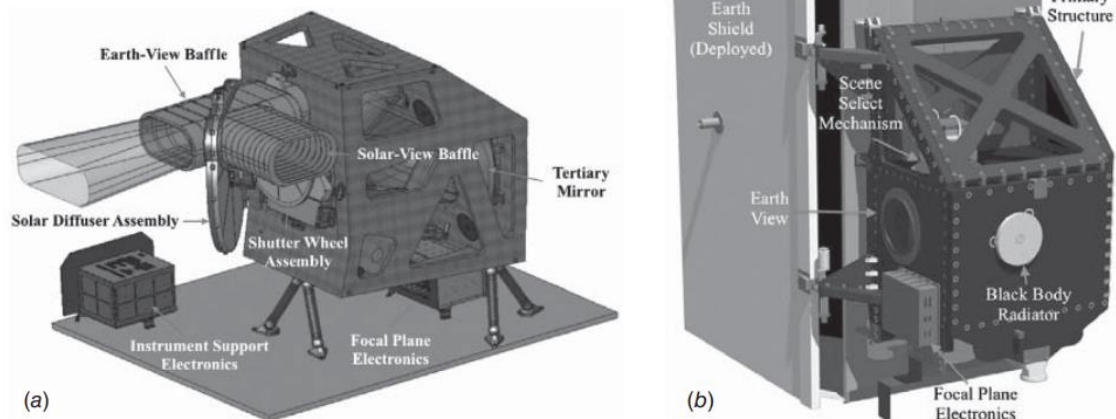


Figura 2: Imagem de um sensor Landsat: (a) OLI e (b) TIRS.

Fonte: Irons e Brasi, 2012.

Têm como principais aplicações os seguintes:

- Mapeamentos temáticos diversos, na área de recursos naturais, agricultura, silvicultura, pedologia, queimadas, proteção e conservação da natureza, monitoramento ambiental, poluição;
- Hidrologia, mapeamentos de áreas alagadas, eutrofização;
- Prospecção geológica, atualização de mapas e cartas, classificação de tipos de rochas, recursos minerais, mapas geomorfológicos;
- Mapas de uso e cobertura das terras, atualização de mapas e dados cartográficos, mapas de aptidão agrícola das terras, identificação de áreas irrigadas, mudanças climáticas;
- Planejamento urbano e regional, infraestrutura e indicadores sociais.

2.3.3. Série Sentinel

De acordo com EMBRAPA (2024), a série de satélites SENTINEL começou a ser lançada em 2014, e se desenvolveu a partir de um projeto da *Agência Espacial Europeia* (ESA) e vem ilustrada na Figura 3. A série tem o objetivo de dar continuidade à algumas missões antigas gerenciadas pela ESA, como ERS, *Environmental Satellite* (ENVISAT) e *Satellite Pour l'Observation de la Terre* (SPOT) ao monitorar os recursos naturais terrestres, o uso e ocupação das terras, os ambientes marinhos, clima e desastres naturais. Essa missão foi

denominada *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES) e em 2012 passou a se chamar Sentinel.

Acrescenta ainda que a missão é composta por pares de satélites especializados, adequados a temas de interesse distintos. Os satélites SENTINEL-1 são aplicados ao monitoramento terrestre e oceânico e levam a bordo sensores de radar. O par de satélites SENTINEL-2 foi direcionado ao monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras e é dotado com sensor óptico de alta resolução espacial. Já a terceira série é adequada ao monitoramento marinho e carrega sensores ópticos, radares adequados a esse fim. As séries 4 e 5 são aplicadas ao monitoramento da qualidade do ar.

O primeiro satélite da série foi o Sentinel-1A, equipado com o sensor de radar SAR, um sensor de abertura sintética que opera na banda C (entre 8 a 4 GHz ou 3,8 – 7,5 cm) lançado em 2014. O satélite Sentinel 1-B, lançado em 2016, também levava a bordo o mesmo sensor, mas também levou outros instrumentos como minissatélites, sensores de identificação de embarcações, entre outros equipamentos de diversas agências de pesquisa europeias como Agência Espacial Francesa, Universidade de Aalborg (Dinamarca) e Escola politécnica de Turin (Itália).

O Sentinel-2A foi o primeiro satélite óptico da série a ser operado pela ESA. Ele foi lançado em 2015 e leva a bordo o sensor multiespectral MSI com 13 bandas espectrais, variando de 443 a 2190 nm, com resolução espacial de 10m para as bandas do visível, 20m para o infravermelho e 60m para as bandas de correção atmosférica. Suas aplicações são para o monitoramento da agricultura, florestas, zonas costeiras, águas interiores, desastres naturais e uso e ocupação das terras. Assim como seu antecessor, o Sentinel 2-B, lançado em 2017, também assume os mesmos objetivos inclusive com o mesmo sensor MSI.

Dando continuidade à missão, em 2016 foi lançado o Sentinel-3A e dois anos mais tarde o Sentinel-3B. Ambos equipados com sensores ópticos de mapeamento das terras e oceanos (OLCI), sensores de monitoramento de embarcações, radar de abertura sintética com um altímetro embutido (SRAL), idêntico ao sensor SAR, sensor de precisão orbitográfica (Laser Retro-Reflector – LRR), sensores de medição da temperatura dos oceanos e das áreas emersas dos continentes (SLSTR) dentre outros.



Figura 3: Série de Satélite Sentinel.
Fonte: EMBRAPA, 2024.

2.4. Índices de Vegetação

Os índices de vegetação desempenham um papel muito importante na análise de sensoriamento remoto (Jiang et al., 2016). Eles são bastante fáceis de analisar e importante para medições quantitativas e qualitativas da cobertura vegetal e propriedades do solo (Xue & Su, 2017).

Outra análise baseada na vegetação por diferença normalizada é o índice NDVI, também é feito para imagens diferentes (Lu et al., 2017). É calculado como a diferença entre o vermelho e as bandas do infravermelho próximo (NIR).

Os produtos VI do padrão MODIS incluem o NDVI e o índice de vegetação aprimorado (EVI) para caracterizar de forma mais eficaz os estados e processos da vegetação e abranger melhor a gama de informações biofísicas ou bioquímicas que podem ser extraídas de superfícies com vegetação. Tem um valor no intervalo de -1 a +1. Quanto mais próximo o valor para +1 indica a região de cobertura vegetal e mais próximo o valor a -1, é a área não vegetada (Vicente-serrano et al., 2016). O NDVI é calculado usando a equação 1 como (Berger et al., 2019):

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

onde NIR e RED são as medidas de refletância nas regiões no infravermelho próximo e vermelho que corresponde à banda 4 e banda 3 na imagem Landsat ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*).

Outro parâmetro calculado é o Índice de Diferença Normalizada de Água (NDWI). É o inverso do NDVI, por substituir a faixa vermelha pela faixa verde. NDVI e NDWI podem ser usados como métodos de pré-classificação que ajudam a facilmente distinguir diferentes tipos de terreno (Mohammadi et al., 2017). NDWI enfatiza as áreas cobertas de neve e água (Ma et al., 2018). O NDWI é positivo para regiões cobertas por água e menor ou igual a zero para cobertura vegetal e terras áridas. É calculado usando a equação 2 de acordo com (Singh & Singh, 2017):

$$NDWI = \frac{green - NIR}{NIR + NIR}, \quad (2)$$

onde NIR e green são as medidas de refletância nas regiões do infravermelho próximo e verde (Kelly & Gontz, 2018).

O Índice Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI) destaca o recursos construídos, variando de -1 a +1 e é calculado usando a equação 3 conforme (García & Pérez, 2016):

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}, \quad (3)$$

onde NIR e SWIR são as medidas de refletância nas regiões do infravermelho próximo e do infravermelho médio. Valor negativo do NDBI indicam corpos d'água, enquanto valores mais altos indicam acúmulo de áreas. Para a vegetação, o NDBI é baixo. O Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) é outro índice de vegetação para bandas MODIS (Yuan et al., 2018). EVI é menos usado em comparação com o NDVI, uma vez que requer a banda azul além às bandas vermelha e infravermelha (Ferreira et al., 2019). O EVI é calculado usando a equação 4 conforme (Testa et al., 2018):

$$EVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + C_{1.red} - C_{2.blue} + L}, \quad (4)$$

onde blue é a refletância da banda azul MODIS que é a banda 3, L são os ajustes de fundo no dossel que levam em conta o NIR e a transferência radiante vermelha, C1 e C2 denota os coeficientes de resistência ao aerossol. EVI varia de -1 a 1 e a vegetação saudável geralmente fica entre valores de 0.20 a 0.80 (Li et al., 2016).

O Índice de Vegetação de Ampla Faixa Dinâmica (WDRVI) é uma métrica que auxilia na melhor categorização das características da cultura. É muito útil monitorar o estado da vegetação da terra cobrir. É calculado usando a equação 5 como (He et al., 2019):

$$WDRVI = \frac{\alpha NIR - RED}{\alpha NIR + RED}, \quad (5)$$

onde α é o coeficiente que minimiza o papel do NIR, valor do índice de vegetação. Assume valor menor que 1.

O índice BSI (Índice de Solo Exposto), proposto por Chen et al., (2004), que como o próprio nome sugere, tem o propósito de identificação de solos descobertos nas imagens obtidas de satélites. Combina as bandas espectrais de azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de onda curta e seus valores variam também entre -1 e +1, onde um valor mais alto indica uma mudança mais alta em solo descoberto. O BSI irá auxiliar o índice NDBI para caracterizar presença de áreas antropizadas com ausência de construções em áreas urbanizadas. Seu cálculo é feito utilizando-se a equação 6 como (Chen et al., 2004):

$$BSI = \frac{(SWIR + R) - (NIR + B)}{(SWIR + R) + (NIR + B)}, \quad (6)$$

onde R é valor da reflectância no vermelho visível e B é a banda do azul.

Segundo Liu (2007), o NDVI é utilizado com sucesso para classificar a distribuição global de vegetação, inferir variabilidades ecológicas e ambientais, produção de fitomassa, radiação fotossintética activa e produtividade de culturas. Portanto, é um índice que analisa a condição da vegetação no campo de sensoriamento remoto.

O emprego do NDVI é importante devido sua capacidade de reduzir muitas formas de ruídos multiplicativos (diferença de iluminação solar, sobra de nuvens, algumas atenuações

atmosféricas, algumas variações topográficas) presentes em múltiplas bandas de imagens de múltiplas datas (Jensen, 2009).

Esse índice tem sido empregado frequentemente na avaliação do vigor da vegetação, monitoramento da cobertura vegetal, auxílio na detecção de desmatamentos, avaliação de áreas queimadas, suporte a previsão da produtividade agrícola, entre outras aplicações.

2.5. Google Earth Engine

De acordo com Kumar e Mutanga (2018), o GEE é uma plataforma de computação em nuvem projetada para armazenar e processar enormes conjuntos de dados (em escala de *petabytes*) para análise e tomada de decisão final, lançada pelo Google em 2010 (Amani et al., 2020).

O GEE permite a computação em nuvem e é uma ferramenta eficaz para realizar a análise de big data geoespacial global e outras plataformas em nuvem que podem ser usadas para processar enormes conjuntos de dados geoespaciais incluem *Amazon Web Services* (AWS, lançado em 2006) e *Microsoft Azure* (lançado em 2010) (Tamiminia, 2020). Porém o GEE suporta mais tipos de dados geoespaciais (dados Sentinel, Landsat e MODIS) e fornece serviços gratuitos a todos os utilizadores, o que é especialmente importante em países menos desenvolvidos, como é o caso de Moçambique. GEE é atualmente a plataforma de computação em nuvem mais popular na ciência do sistema terrestre.

Segundo Amani et al., (2020), o GEE fornece aos usuários dados de observação da terra disponíveis para download público em escala de petabytes, algoritmos avançados para análise de big data geográfico e um ambiente de programação interativo. O GEE também hospeda longas séries temporais de registros de observação da Terra e desempenha um papel vital no monitoramento e análise ambiental.

2.6. Avaliação de exatidão de resultados

A exatidão dos resultados da detecção de mudanças depende da qualidade dos dados de entrada, precisão entre o registro e da calibração ou normalização das imagens, complexidade da área de estudo, métodos e algoritmos utilizados para detectar mudanças, experiência e habilidade do analista, conhecimento da área de estudo e dos dados utilizados e restrições de tempo e custos (Lu et al., 2004).

De acordo com Clevers (2009), a classificação digital de imagens, a validação da classificação é uma das últimas etapas, que visa validar os resultados da classificação, isto é, avaliar a acurácia da classificação. Os métodos mais comuns de avaliação da exatidão de classificações de mudanças derivam da matriz de confusão, consagrada para estudos utilizando sensoriamento remoto. Essa pode possuir características próprias de construção e interpretação para o estudo das mudanças.

Para a construção da matriz de confusão, as classes (mudança e não mudança) podem ser consideradas em uma matriz binária, e calculados índices que representam a exatidão da classificação, muitas vezes resume-se pelos conceitos de exatidão do produtor e exatidão do usuário.

O Índice Kappa é uma medida de a diferença entre a concordância real entre os dados de referência e um classificador automatizado e a concordância casual entre os dados de referência e um classificador aleatório. De acordo com Lillesand et al., (2015), a fórmula utilizada para o cálculo do coeficiente Kappa (K) a partir da matriz de erros é apresentada na equação 7:

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}, \quad (7)$$

onde P_o é Acurácia geral e P_c é Proporção de pontos que concordam por casualidade.

A estatística Kappa varia de 0 a 1. Um valor de Kappa igual a 0 sugere que a classificação não é melhor do que uma classificação aleatória dos pixels. Um valor igual a 1 sugere um processo de classificação altamente eficiente como mostra a Tabela 2.

Antes de qualquer análise que possa ser feita, deve-se prestar muito atenção aos dados a serem utilizados porque tem uma relação intrínseca a selecção de variáveis adequadas para estudos de detecção de mudanças, embora em alguns casos essas etapas acabam por ocorrer em um mesmo processo.

O uso de índices de vegetação, por exemplo, apresenta a vantagem de diminuir a interferência proveniente da topografia e iluminação, sendo utilizada principalmente para detecção de mudanças na vegetação e em florestas (Lu et al., 2004).

De acordo com Reis (2014), as técnicas de detecção de mudanças podem ser categorizadas em função de diferentes aspectos. Acrescenta ainda que dentre eles, podem-se citar o número de datas distintas utilizadas, necessidade ou não de treinar o algoritmo de detecção de mudanças e operação realizada.

Tabela 2: Intervalo de aceitação dos resultados do Índice de Kappa.

Índice de Kappa (K)	Características
$k \leq 0.2$	Ruim
$0.2 < k \leq 0.4$	Razoável
$0.4 < k \leq 0.6$	Bom
$0.6 < k \leq 0.8$	Muito bom
$k \geq 0.8$	Excelente

Fonte: Landis e Koch, 1977.

2.7. Alguns estudos relacionados

Asokan e Anithal (2019), pesquisaram técnicas de detecção de alterações para aplicações de sensoriamento remoto. Tinham como objectivo fazer uma análise de vários métodos de detecção de alterações e os desafios e problemas enfrentados como parte da detecção de alterações. Concluíram que, não existe uma técnica generalizada de detecção de alterações que pode ser totalmente aplicado em diferentes tipos de imagens de satélite. E mais, o comum de todos desafios identificados na literatura são a dificuldade em aquisição de

imagens, os grandes tamanhos de imagem, a complexidade computacional e o efeito do ruído nas imagens de satélite.

Mallupattu e Reddy (2013), seu estudo baseou-se na análise de mudanças no uso e cobertura do solo usando dados de sensoriamento remoto e GIS em uma área urbana, Tirupati, Índia. Tinham como objectivo detectar e quantificar o uso e cobertura da terra em uma área urbana, Tirupati de 1976 a 2003 usando imagens de satélite e mapa topográfico. E concluíram que observa-se uma expansão significativa da área construída. Por outro lado, há diminuição da área agrícola, da área de distribuição de água e das áreas florestais. Este estudo indica claramente o impacto significativo da população e das suas actividades de desenvolvimento na mudança de uso e cobertura da terra. E que a integração de GIS e tecnologias de sensoriamento remoto é uma ferramenta eficaz para planeamento e gestão urbana.

Santos et al., (2021), fizeram comparação de imagens multiespectrais utilizando satélites e VANT para a análise de mudanças estruturais em área de floresta seca. Tinham como objectivo de analisar a estrutura da cobertura vegetal em uma área do Bioma Caatinga comparando imagens multiespectrais adquiridas por satélite com diferentes resoluções e plataformas de veículos aéreos não tripulados (VANT) de baixa altitude e com câmeras em alta resolução. E concluíram que os produtos de Satélites mostraram bons indicadores para monitoramento de características estruturais da Caatinga, no entanto, não são indicados para avaliações de áreas com maior predominância de solo, água ou outros alvos, pois eles podem afetar os valores de NDVI e impossibilitar uma avaliação mais detalhada das áreas.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização de local de estágio

O estágio profissional foi realizado na Repartição de Cartografia Militar, no Departamento de Operações do Estado Maior General das Forças Armadas de Defesa de Moçambique (FADM), com duração de um semestre, de Agosto à Dezembro de 2023.

A Repartição de Cartografia Militar (RCM) é um órgão do Departamento de Operações do Estado Maior General das FADM, responsável pelo asseguramento topográfico, cartográfico e geodésico, sendo fonte de informações georreferenciadas do espaço geográfico do território moçambicano e técnico-estratégico militar e essenciais para o serviço das FADM.

3.1.1. Missão da Repartição de Cartografia Militar

É importante primeiro referir que as FADM, tem como uma das missões primordiais assegurar a defesa da soberania e integridade do território nacional face a todo tipo de ameaça (externa e interna), incluindo o terrorismo.

A Repartição de Cartografia Militar tem por missão assegurar a planificação e execução de actividades relacionadas com a produção, tratamento e uso da informação geográfica em plataformas cartográficas para a promoção e desenvolvimento de acções de investigação científico e tecnológico das FADM.

3.1.2. Estrutura Orgânica da Repartição de Cartografia Militar

A estrutura orgânica da Repartição de Cartografia Militar conforme a Figura 4 compreende:

- Secção de Topografia e Pesquisas geodésicas, que é composto pelo sector de verificação e monitoria e comporta levantamentos geodésicos e topográficos;
- Secção de Cartografia, compreende as sectores de Base de Dados Geográficos (BDC) e de Sistemas de Informação Geográfica Militar (SIGM);

- Subsecção de Geoprocessamento de dados e Cartoteca.

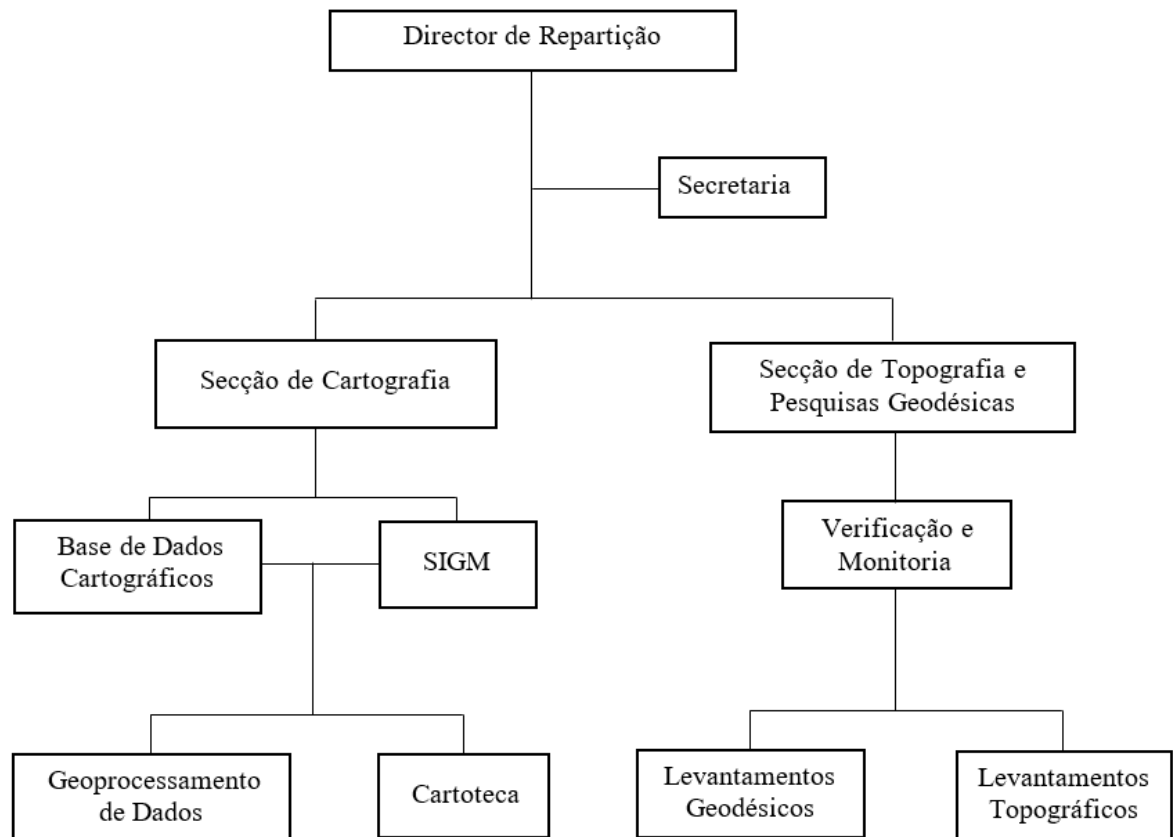


Figura 4: Organograma do local de estágio.

3.2. Descrição da área de estudo

De acordo com MAE (2014), o distrito de Mocímboa da Praia é um distrito costeiro com uma superfície de 3.478 km², localizado aproximadamente nas seguintes coordenadas geográficas extremas:

- 11° 08' 00" e 11° 53' 00" Latitudes Sul; e
- 39° 43' 00" e 40° 33' 50" Longitudes Este.

Mocímboa da Praia é atravessado pela Estrada Nacional nº 380 que liga a turística baía de Pemba e o distrito de Palma, e servida por um aeródromo com capacidade para receber voos internacionais e por um porto (MAE, 2014).

Segundo MAE (2012), a área de estudo administrativamente, localiza-se na região Nordeste da província de Cabo-Delgado sendo banhado pelo Oceano Índico, confinando a Norte com o distrito de Palma, a Sul com os distritos de Macomia e Muidumbe, a Este com o Oceano Índico e a Oeste limitado com os distritos de Nangade e Mueda.

Distrito de Mocímboa da Praia

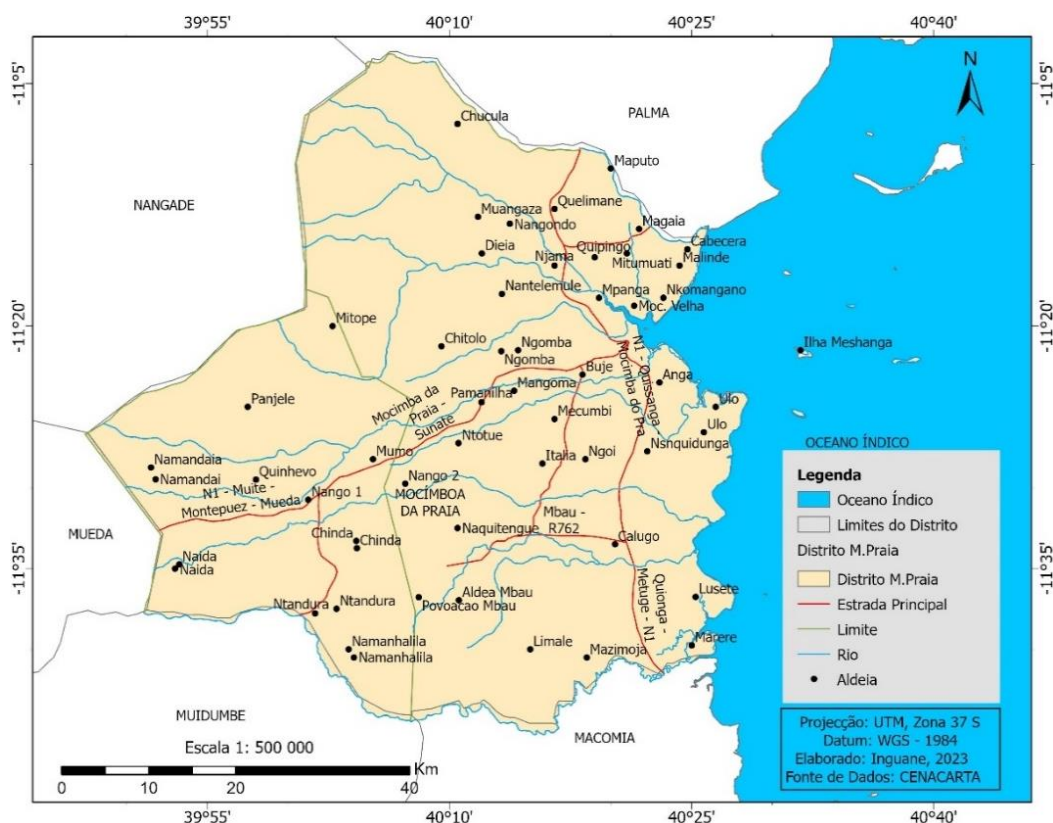


Figura 5: Mapa de localização da área de estudo.

Fonte de dados: CENACARTA, 2023.

Mocímboa da Praia beneficia de uma rede de estradas construídas para estabelecer a ligação com a região compreendida entre os distritos de Palma, Nangade, Mueda, Muidumbe e Macomia. Estas encontram-se, na sua maioria, em elevado estado de degradação, sendo algumas delas praticamente intransitáveis, principalmente na época chuvosa.

De acordo com INE (2019), os dados demográficos do distrito com base no do Censo 2017 do IV recenseamento geral da população e habitação, indica 127 705 habitantes, dos quais 62 547 (homens) e 65 158 (mulheres).

Dada a situação de violência armada que se vive em Cabo-Delgado, em particular o distrito de Mocímboa da Praia, estes dados demográficos sofreram alterações devido ao êxodo das famílias em busca de zonas seguras.

O distrito de Mocímboa da Praia está dividido em três Postos Administrativos nomeadamente, Diaca, Mbau e Mocímboa da Praia, e cada um deles é composto pelas seguintes localidades:

1. Posto Administrativo Diaca:
 - Localidade de Diaca – Sede do distrito;
 - Localidade de Nango.
2. Posto Administrativo Mbau:
 - Localidade de Mbau – Sede do distrito;
 - Localidade de Marere.
3. Posto Administrativo Mocímboa da Praia:
 - Localidade de Mocímboa da Praia – Sede do distrito;
 - Localidade de Quelimane.

3.2.1. Características Físico-geográficas

O distrito de Mocímboa da Praia, apresenta um clima do tipo sub-húmido seco, a precipitação média mensal apresenta uma variação sazonal, onde no período húmido, entre Dezembro e Abril, ocorre um valor de precipitação equivalente a cerca de 85% do valor total anual da precipitação, sendo o mês de Janeiro o mais chuvoso com precipitação média mensal de cerca de 260 mm e um período seco entre Maio a Novembro com médias mensais

de precipitação inferiores a cerca de 50 mm. A temperatura média anual é de 25.4 °C, ocorrendo uma amplitude térmica anual relativamente baixa, de cerca de 4 °C e Janeiro é o mês mais quente atingindo um máximo de 27.5°C (MICOA, 2012).

As planícies costeiras do distrito de Mocímboa da Praia são dissecadas por alguns rios que sobem da costa para o interior, que gradualmente passa para um relevo mais dissecado com encostas mais declivosas intermédias, da zona subplanáltica de transição para a zona litoral (MICOA, 2012).

A área de estudo, é atravessada por oito principais rios que atravessam nomeadamente Messalo, Lubato, Ngudi Locomo, Quinhevo, Mpandagi, Njama e Muera. Os primeiros 5 rios são de caudal permanente, enquanto que os restantes são de caudal periódico (MAE, 2014).

Acrescenta ainda que o rio Messalo é o maior de todos os acima citados, desaguando a norte de Quiterajo, depois de atravessar uma extensão de mais de 50 Km do sentido Sudoeste-Norte.

O distrito apresenta dominância de solos não consolidados, compostos por sedimentos compactados do quartenário e ainda mais recentes. Os solos são na sua maioria arenosos entremeados com fracções de argila e limo perto da desembocadura de rios (MICOA, 2012). Segundo MAE (2014), solos arenosos de coloração mais clara marginam o rio Messalo mas não se prolongam até à foz. Solos avermelhados formam a encosta Este do planalto dos Macondes. São solos de baixa fertilidade e fraca retenção de água, o que facilita fenómenos erosivos. Acrescenta que, solos halomórficos de origem marinha cosntituem a faixa mais externa do litoral. Sendo mal drenados e muito salgados são pouco aptos para agricultura, porém suportam habitats ecologicamente importantes, como os pântanos e mangais.

Os solos, na sua maioria, são compostos de antigos aluviões marinhos. De forma dispersa encontram-se aluviões de areia sem presença de argila, entremeando com solos de grande propensão para erosão. Nestas regiões são visíveis fendas profundas onde se pode constatar que os solos possuem elevada percentagem de argila.

Os tipos de vegetação do distrito de Mocímboa da Praia são classificados como: Savana herbáceo-arbustiva e Savana arbórea aberta. A paisagem dominante é constituída por um mosaico de campos cultivados, florestas secundárias e machambas com fruteiras exóticas como cajueiros, mangueiras, e coqueiros (MICOA, 2012).

Assim os tipos de comunidade vegetais que podem ser encontrados no distrito de Mocímboa da Praia incluem: tapetes de ervas marinhas e algas, Mangais, vegetação dunar, terras cultivadas, savana aberta, florestas ribeirinhas, capinzais em áreas pantanosas e tapetes de ervas marinhas e comunidade de linhas (MAE, 2014).

E cada tipo de comunidade vegetal do distrito de Mocímboa da Praia, descreve-se da seguinte forma:

- Tapetes de ervas marinhas – Ocorrem nas zonas pouco profundas, entre o limite da maré cheia e da maré vazia. Dezenas de diferentes espécies de algas ocorrem nas mesmas regiões e pelo menos um possui valor comercial.
- Mangais – As comunidades de mangais estendem-se nas imediações dos estuários, nas zonas costeiras protegidas e sempre que existam condições de convívio entre água salgada e água doce. Os mangais são basicamente do tipo de mangal de canal. Sempre que os canais permitem a incursão de água salgada para além das dunas, as marés exercem influência que se pode estender quilómetros para interior. Os canais são caracteristicamente sinuosos e a vegetação do mangal distribui-se nas duas margens, num padrão de zonação.
- Vegetação dunar – Uma série de dunas primárias de baixa altura (entre 4 a 15 metros) alinham-se na direcção Norte-Sul ao longo da linha costeira. Herbáceas com raízes formando uma complexa rede por baixo da areia ajudam a consolidar estas dunas e impedem a erosão.
- A vegetação das dunas – desempenha um papel vital na ecologia das regiões costeiras do distrito, pois permite a fixação da areia e servem como pioneiras para outra vegetação se instalar. A vegetação estabiliza a duna e, portanto, previne a erosão costeira.

- Terras cultivadas – Do ponto de vista da área coberta esta é a que mais está representada. As terras cultivadas apresentam-se como machambas no activo ou em pousio ou ainda como floresta secundária aberta.
- Floresta ribeirinha – Remanescente de floresta ribeirinha marginam os principais cursos de água permanentes ou temporários e estão sob uma grande pressão, pelo que sua área tem sido reduzida.
- Savana aberta – A savana aberta pode ser definida como uma comunidade em que árvores ocorrem de forma dispersa no meio de extensos capinzais. Savanas abertas intactas são raras na área de estudo e aquelas que ocorrem foram já perturbadas pela acção humana, sobretudo pela agricultura de corte e queimada.
- Capinzais em áreas pantanosas – Sempre que as condições do solo dificultam a drenagem, as regiões arborizadas são substituídas por zonas sem árvores e com dominância absoluta do estrato herbáceo. E sempre que a inundação da água superficial é mais permanente ocorrem formações de caniço.

3.2.2. Caracterização Sócio-económico

A agricultura é a actividade dominante e envolve quase a maior parte dos agregados familiares. De um modo geral, a agricultura é praticada manualmente em pequenas explorações familiares em regime de consociação de culturas com base em variedades locais (MAE, 2014). A produção agrícola é feita predominantemente em condições de sequeiro, nem sempre bem-sucedida, uma vez que o risco de perda das colheitas é alto, dada a baixa capacidade de retenção de humidade no solo durante o período de cultivo.

Algumas famílias empregam métodos tradicionais de fertilizantes dos solos como o pousio de terras, a incorporação de solo de restos de plantas, estrume ou cinzas. Para além das questões climáticas, os principais constrangimentos à produção são as pragas, a seca, a falta ou insuficiência de sementes e pesticidas.

De acordo com MICOA (2012), a pesca é uma actividade mais praticada depois da agricultura, constituindo uma fonte de renda não agrícola para muitas famílias locais, sendo que a pesca do tipo artesanal é a mais dominante, principalmente para as comunidades que residem ao longo da costa. O peixe serve para o consumo familiar, venda e trocas por produtos alimentares.

3.3. Materiais

Neste estudo, foram utilizados os seguintes materiais:

- Imagens – Dados de sensoriamento remoto do sensor MODIS/Terra e Landsat-8 com resoluções de 250 m e 30 m respectivamente, obtidos a partir dos dados disponibilizados gratuitamente, pela Land Processes *Distributed Active Archive Center*-LP DAA, com correcção geométrica e radiométrica;
- Dados Vectoriais – *Shapefiles* da divisão político-administrativa e outros referentes as condições físicos-naturais, foram obtidos no Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção (CENACARTA), instituição pública de maior prestígio na produção e tratamento de cartografia em Moçambique;
- Softwares

Quadro 1: Softwares usados.

Software	Uso
ArcGIS Pro. versão 2.9	Análise de dados após a reclassificação, na determinação de: mudança de uso e cobertura vegetal da terra para os anos de 2010, 2017 e 2023, na época seca; áreas ocupadas por cada classe de uso e cobertura; e elaboração dos mapas temáticos.
GEE	Aquisição de imagens satélites MODIS/Terra e Landsat-8
Microsoft Office 2022	Elaboração de gráficos e tabelas e redação do relatório de estágio

3.4. Métodos

3.4.1. Determinação de Classes de Uso e Cobertura da Terra

Para identificar as áreas correspondentes a cada classe na imagem de satélite, foi realizada uma combinação entre índices espectrais que melhor reflectem cada uma delas na imagem.

Para o efeito seguiram-se os seguintes procedimentos no *Google Earth Engine*:

- Selecção do conjunto de imagens de satélite do sensor MODIS/Terra e Landsat-8 dos anos 2010, 2017 e 2023 entre os meses de Julho e Novembro de menor cobertura de nuvens;
- Cálculo de índices de vegetação: para cobertura vegetal da terra NDVI nas bandas 3 e 4 e BSI nas bandas (6 e 4) e (5 e 2) respectivamente, e para uso da terra NDBI nas bandas 6 e 5;
- Após a normalização dos valores de NDVI, NDBI e BSI, seguiu-se com a classificação das imagens proposto por Calisto (2011) conforme a Tabela 3;
- Agregação de todas as classes numa única camada (*shapefile* ou *raster*);
- Comparação dos resultados produzidos no período em análise.

Na selecção de imagens satélites, apesar de sua baixa resolução espacial o MODIS foi usado para o período de 2010, porque na data escolhida não têm imagens disponíveis em outros satélites de alta resolução espacial, devido ano de lançamento. No entanto, o Landsat-8 foi usado para os períodos 2017 e 2017-2023, por apresentar uma resolução melhor que o MODIS.

Tabela 3: Classificação de uso e coberturade solo com base nos valores de índices de vegetação.

Variação de NDVI	Classe de uso de solo	Classe
-1 à 0. 0	Solo sem vegetação	1
0. 0 à 0. 10	Savana	2
0. 0 à 0. 35	Floresta aberta	3
0. 35 à +1	Floresta densa	4

Fonte: adaptado de Calisto, 2011.

Classificação supervisionada – Selecção da área de estudo com mínimo e carregamento da imagem livre de nuvens do Landsat-8 com coordenadas supramencionadas nos dados de entrada: Amostragem de pixels dentro de áreas rotuladas, que foram combinadas em uma única colecção de feição. Os dados de amostragem foram divididos em conjuntos de treinamento e validação, e um classificador foi treinado usando o algoritmo CART.

Esses pontos foram obtidos através da amostragem aleatória de pixéis dentro das áreas rotuladas (labeledAreas), que são compostas por quatro colecções de feições (solo sem vegetação, savana, floresta aberta e floresta densa), cada uma com um número específico de elementos.

A amostragem de pixéis para cada classe foi realizada a partir da selecção dos pixéis presentes nas bandas de entrada (inputBands) da imagem Landsat-8. A imagem de entrada foi então classificada e o mapa de classificação foi visualizado, seguido pela validação da precisão do classificador usando matriz de confusão.

3.4.2. Produção de mapas temáticos

De modo a produzir os mapas temáticos, as imagens foram projectadas (para zona UTM 37 S, Datum WGS 84) e recortadas de acordo com a dimensão da área de estudo, no *Software* ArcGIS Pro. versão 2. 9. Posteriormente agrupadas em período seco (com menor cobertura de nuvens) os índices de vegetação NDVI, NDBI e BSI. Tal procedimento resultou em séries temporais anuais, com um total de 2 imagens, onde cada imagem de índice de vegetação assumiu-se sendo representativa. De seguida, procedeu-se com a normalização dos valores de índices de vegetação. Tendo-se, multiplicado cada imagem usando o coeficiente de escala 0.0001. Esta operação foi realizada usando a ferramenta *Raster Calculator* disponível no ArcGIS Pro. 2.9.

3.4.3. Detecção de mudanças

A detecção de mudanças consistiu em identificar e quantificar variações do uso e cobertura vegetal da terra com base em duas imagens de anos diferentes, através da ferramenta *Change detection* disponível em ArcGIS Pro 2.9, que serve para detectar e analisar mudanças. E em seguida uma comparação dos resultados no período em análise. Foi feita uma análise comparativa entre o resultado da classificação do uso e cobertura vegetal para o ano 2010 e o resultado obtido para 2023, visando analisar a variação das classes. Estas alterações podem ser de conversão de áreas naturais para outras finalidades, como expansão de áreas urbanas ou agrícolas, assim como a ocorrência de desmatamento ou reflorestamento. Portanto, de forma resumida do método utilizado, a Figura 6 ilustra um fluxograma metodológico.

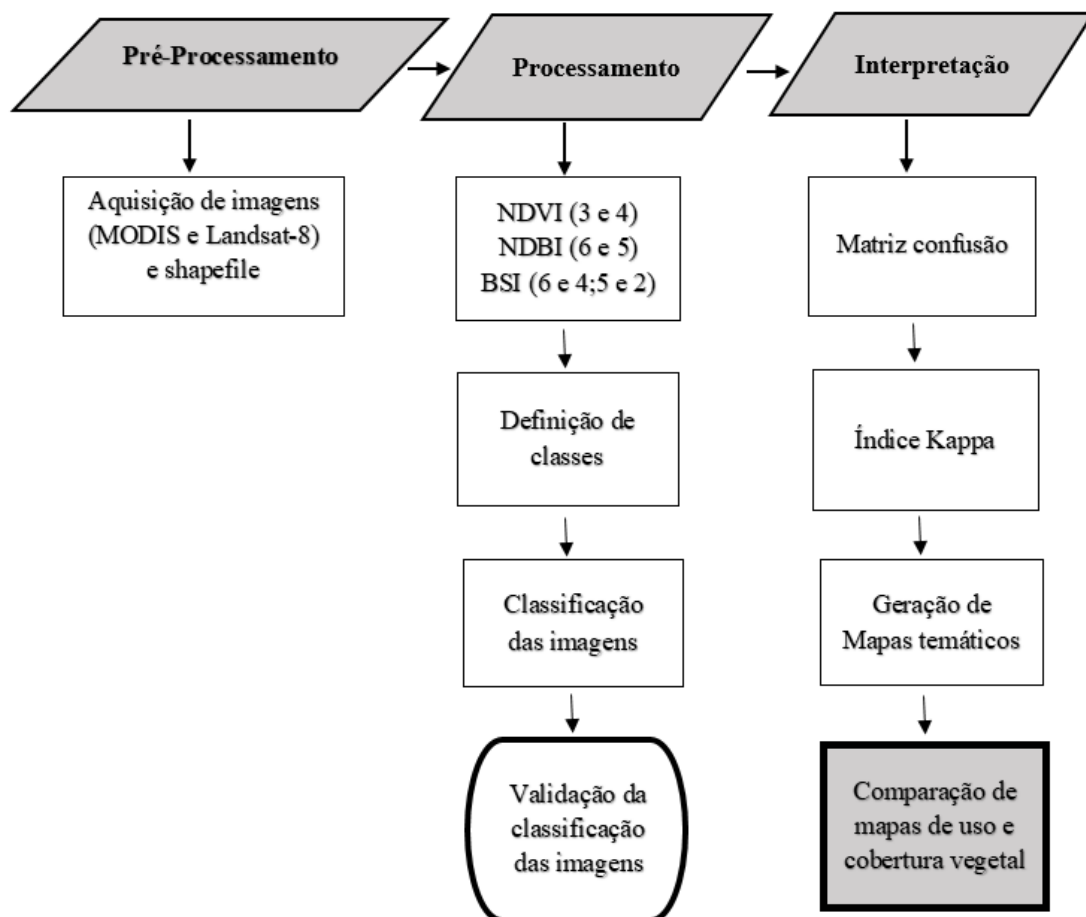


Figura 6: Fluxograma metodológico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Classificação de uso e cobertura vegetal da Terra

A partir da determinação de uso e cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia, para aprimorar os resultados analisou-se o período 2010 a 2017, tempo antes da eclosão da violência armada por forma a ter melhor percepção do uso da terra e estado fenológico em que se encontrava a área de estudo, e em seguida analisou-se o ano 2017, ano em que iniciou a violência armada e o período de 2017 a 2023.

Por meio de índices de vegetação foram determinadas as classes de uso e cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia, tendo resultado em mapas de NDVI conforme as Figuras 7, 8 e 9 para cobertura vegetal, NDBI como mostram as Figuras 10, 11 e 12 e BSI (vide apêndice A).

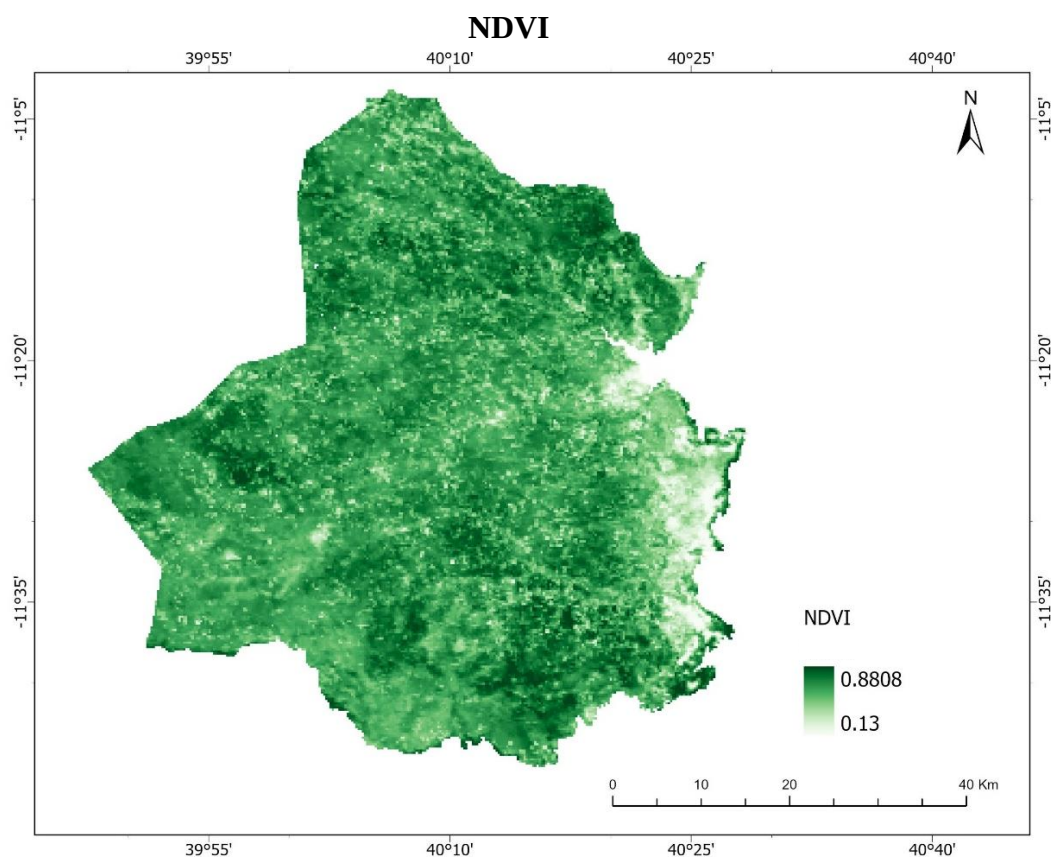


Figura 7: Mapa de classe de cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2010.

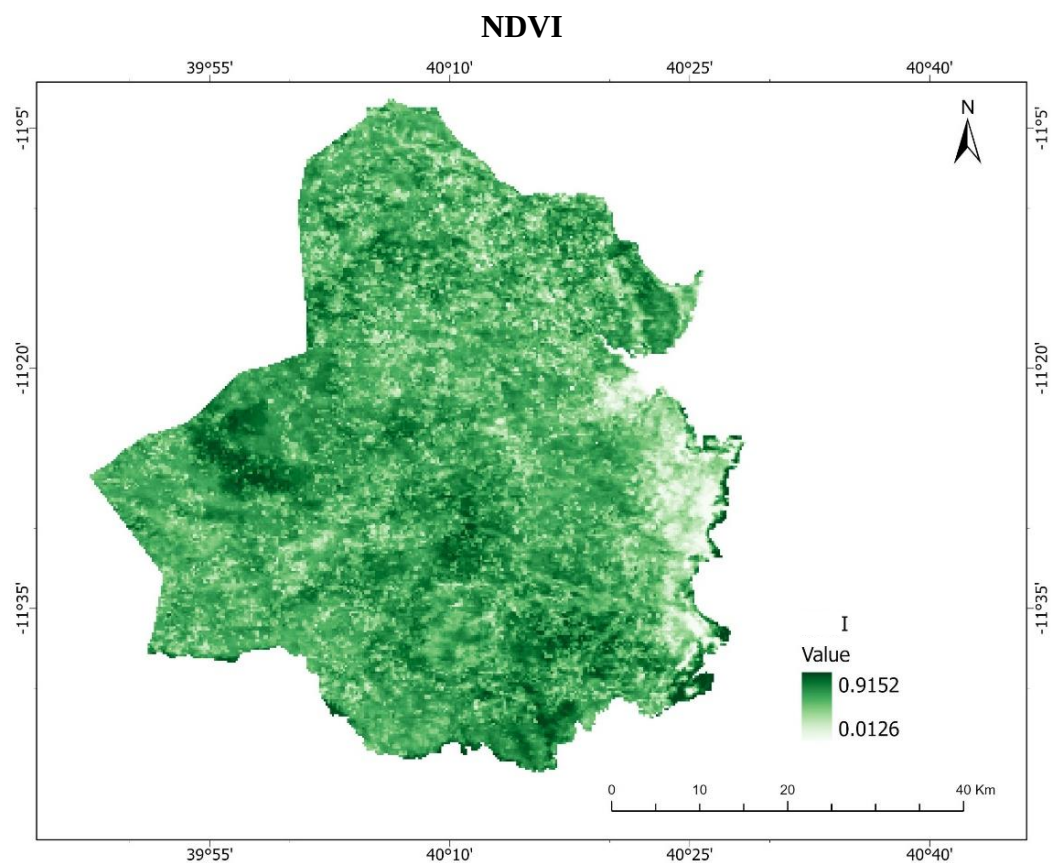


Figura 8: Mapa de classe de cobertura vegetal da terra do distrito de Mocimboa da Praia-2017.

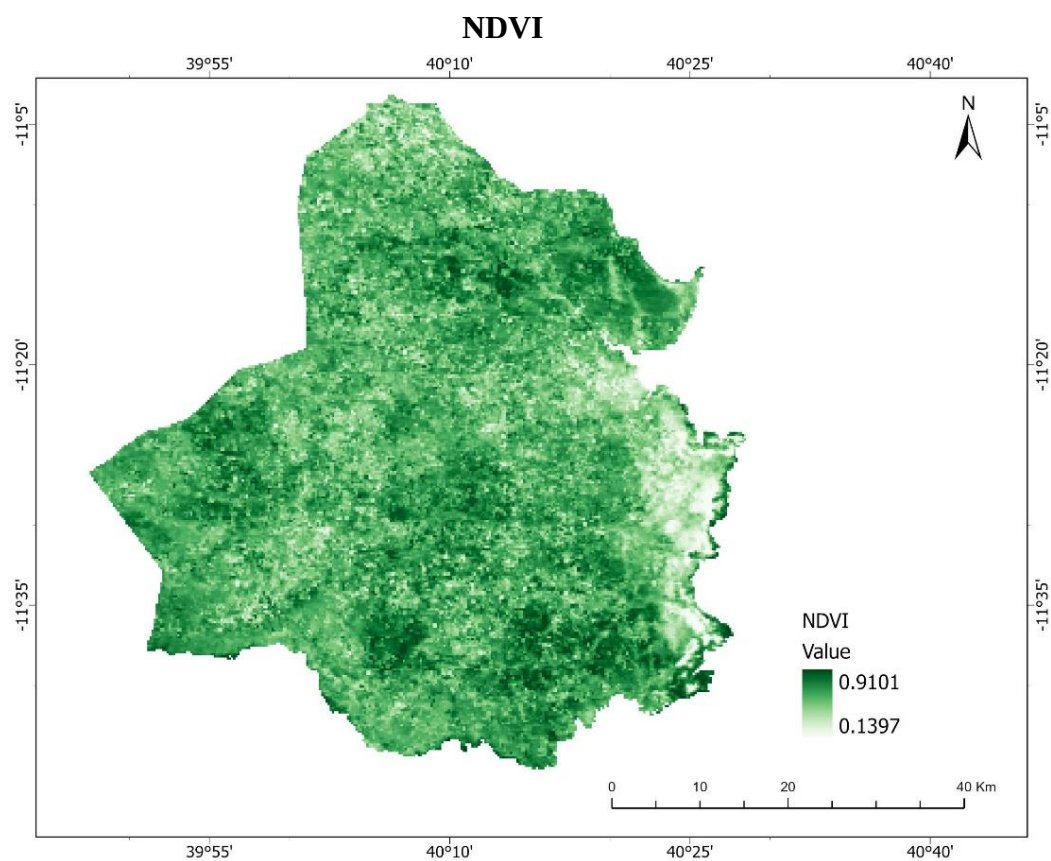


Figura 9: Mapa de classe de cobertura vegetal da terra do distrito de Mocimboa da Praia-2023.

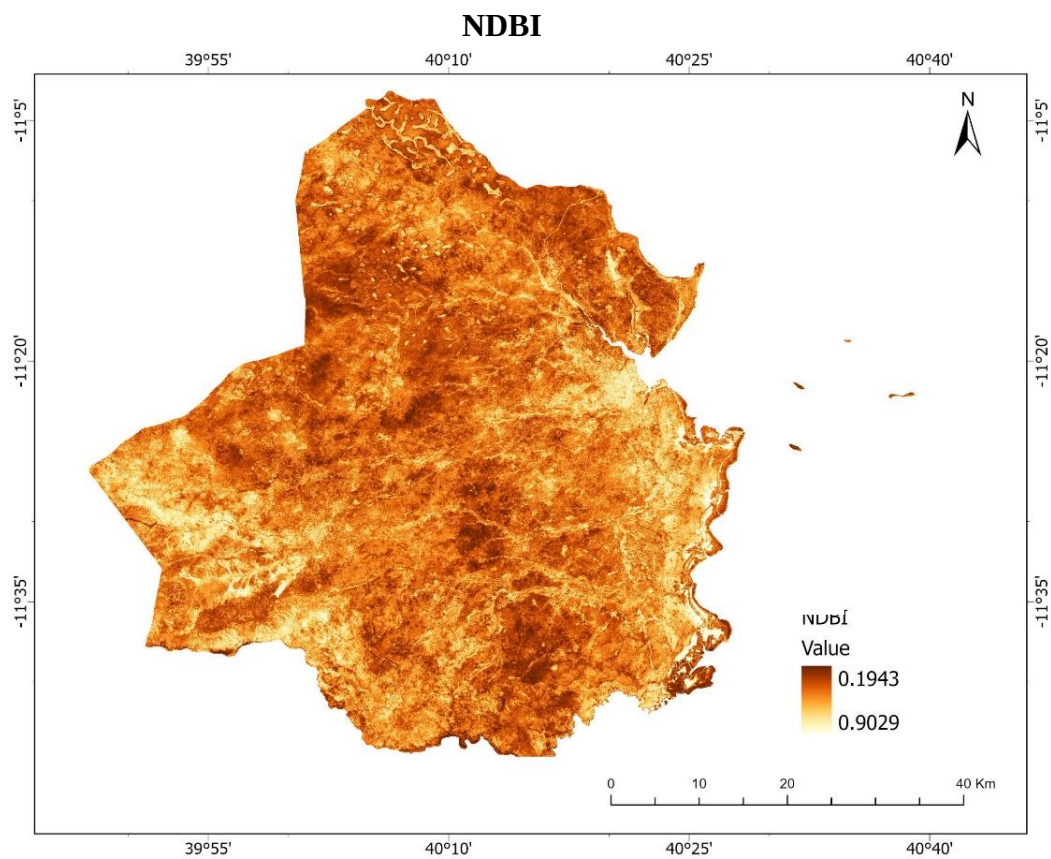


Figura 10: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocimboa da Praia-2010.

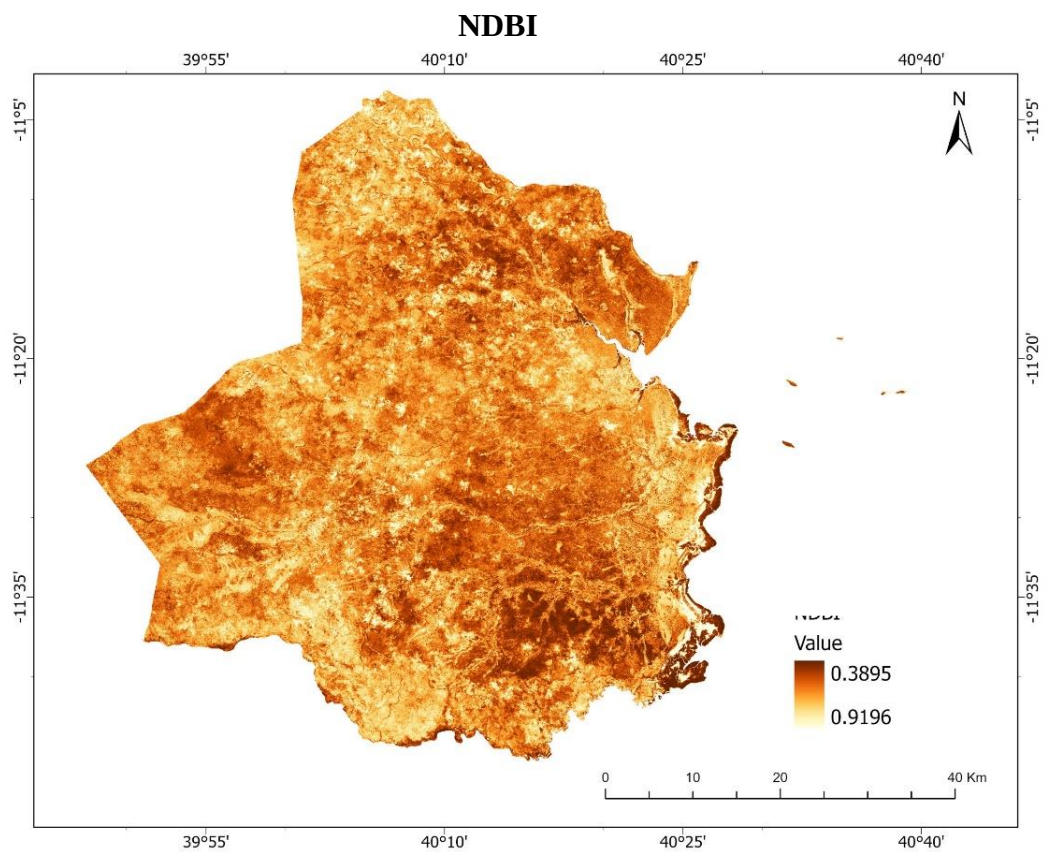


Figura 11: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocimboa da Praia-2017.

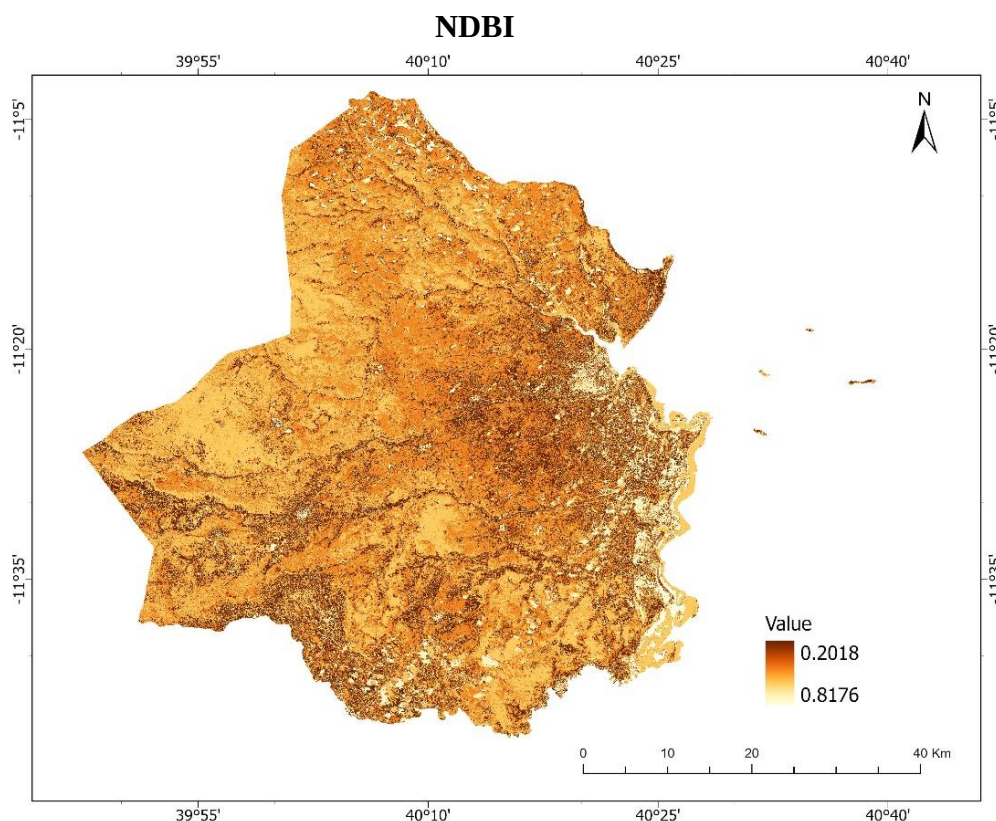
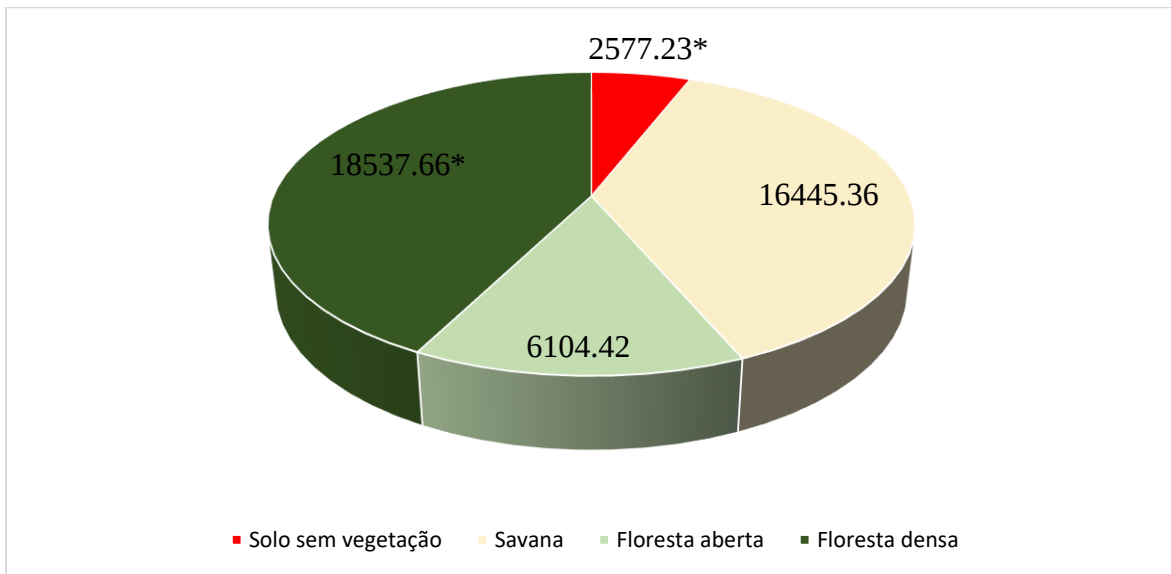


Figura 12: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2023.

O NDVI obteve-se contrastes mais acurados para o estado fenológico relacionado ao verde da cobertura, pois o índice espectral realçou áreas onde a classificação supervisionada detectou presença de alto vigor vegetativo (vide apêndice B), cujos valores dos pixels aproximaram-se de +1. Para NDBI a classificação resultou em valores positivos e próximos de +1 em áreas urbanas, áreas construídas, áreas com solo exposto e outras áreas similares, conforme determinado no treinamento de classificação. O padrão de cor do BSI apresenta-se em tonalidade próximo do laranja, isso se deve a diferença de sensor o TM e OLI a bordo do satélite Landsat-8.

A Figura 13 ilustram a diferença de área em hectares, para os anos 2010 e 2023, em cada classe de uso e cobertura vegetal da terra na época seca.



* valores negativos.

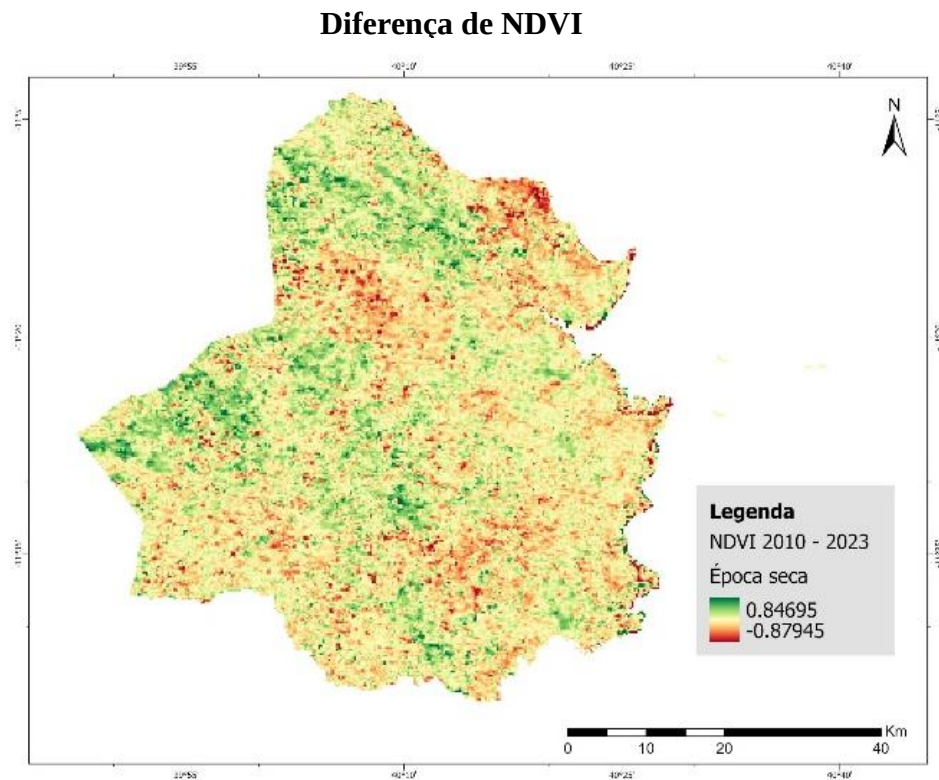
Figura 13: Diferença de áreas (ha) para cada uso e cobertura vegetal da terra no distrito de Mocimboa da Praia (2010-2023).

Tanto para a época chuvosa e como seca, a classe de floresta aberta é a mais representativa. Contudo, na época chuvosa verificou-se um acréscimo da área de 2010 a 2023. Enquanto para a época seca verificou-se uma redução da área de floresta densa de 2010 a 2023. Em todos os casos, a classe com solo sem vegetação representa a menor área tanto para as imagens capturadas na época chuvosa assim como seca.

Os dados do NDVI mostram a dinâmica da vegetação ao longo do período em análise para o distrito. Esta tendência do comportamento da vegetação está relacionada à uma acção antrópica, na medida em que as populações em virtude de buscarem zonas seguras para se abrigarem, acabam invadindo novas zonas com vegetação.

4.2. Mudanças no NDVI no período de 2010 a 2023

As mudanças são identificadas em função de alterações nos valores de radiância dos pixels, possibilitando a comparação entre duas datas. A detecção de mudanças a partir da Diferença de Índices de Vegetação foi realizada a partir da subtração do índice de vegetação NDVI do mês de Março de 2010 pelo de Setembro do ano de 2023. A Figura 14, apresenta as diferenças nos valores de NDVI entre 2010 e 2023 do distrito de Mocimboa da Praia.



A variação de NDVI dos anos 2010 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. Visto que, segundo (Carvalho Júnior, Sampaio, & Shimabukuro, 2008) 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.

4.3. Análise de exatidão dos resultados

Pelo método de classificação, obteve-se o conjunto de pixels correspondentes para cada classe de uso e cobertura (solo sem vegetação, savana, floresta aberta e floresta densa). De modo a quantificar os erros gerados pelo método de classificação supervisionada, foram construídas as matrizes de erro ou de confusão conforme a Tabela 4, para efeitos de

comparação de classe por classe, e de seguida faz-se a relação entre os dados de verdade terrestre e os correspondentes resultados da classificação.

Tabela 4: Matriz de confusão.

Classes	A	B	C	D	Total
A	18111	32	55	22	18220
B	35	283	237	131	686
C	36	282	12336	572	13226
D	19	109	570	517	1215
Total	18201	706	13298	1242	33447

A-Solo sem vegetação; B-Savana; C-Floresta aberta; D-Floresta densa.

Com base na matriz de confusão verificou-se que houve poucos pixels classificados erroneamente e todas as etapas de classificação, a matriz de erros foi calculada com o mesmo conjunto de amostras de validação.

E para aferir a acurácia do método testado, conferiu-se a precisão por meio de indicadores estatísticos, tal é a exatidão global de 92% e índice kappa de 0.88. Podem ser visualizados os resultados obtidos em cada parâmetro de verificação.

De acordo com intervalo de aceitação dos resultados do Índice de Kappa proposto por Landis & Koch (1977), entre a qualidade da classificação e o indicador estatístico, o resultado foi excelente.

4.4. Análise das mudanças da vegetação

A área de estudo registou números negativos que representam perda no uso e cobertura vegetal da terra, assim como números positivos que mostram que houve ganho. No geral, a Tabela 5 descreve todas as estatísticas de mudança (perdas e ganhos) de uso e cobertura vegetal da terra ocorridas, por meio de índices de vegetação.

Por meio da subtração dos índices de vegetação NDVI, NDBI e BSI originou em mudanças positivas e negativas (ganhos e perdas) da vegetação, permitindo identificar em hectares áreas que perderam ou ganharam o vigor vegetativo conforme ilustra a Figura 15.

Tabela 5: Estatísticas de mudança de cobertura da terra no distrito de Mocímboa da Praia.

Classes de cobertura	2010		2023		Mudanças (2010-2023)	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Solo sem vegetação	12654.67	4.23	15231.90	5.11	2577.23*	0.89*
Savana	97010.57	32.42	80565.21	27.05	16445.36	5.37
Floresta aberta	126561.68	42.29	120457.26	40.44	6104.42	1.85
Floresta densa	63038.77	21.06	81576.43	27.39	18537.66*	6.33*
Total	299265.69	100.00	297830.80	100.00		

* valores que indicam perdas, pelo seu sinal negativo; (ha) unidade métrica que significa hectares.

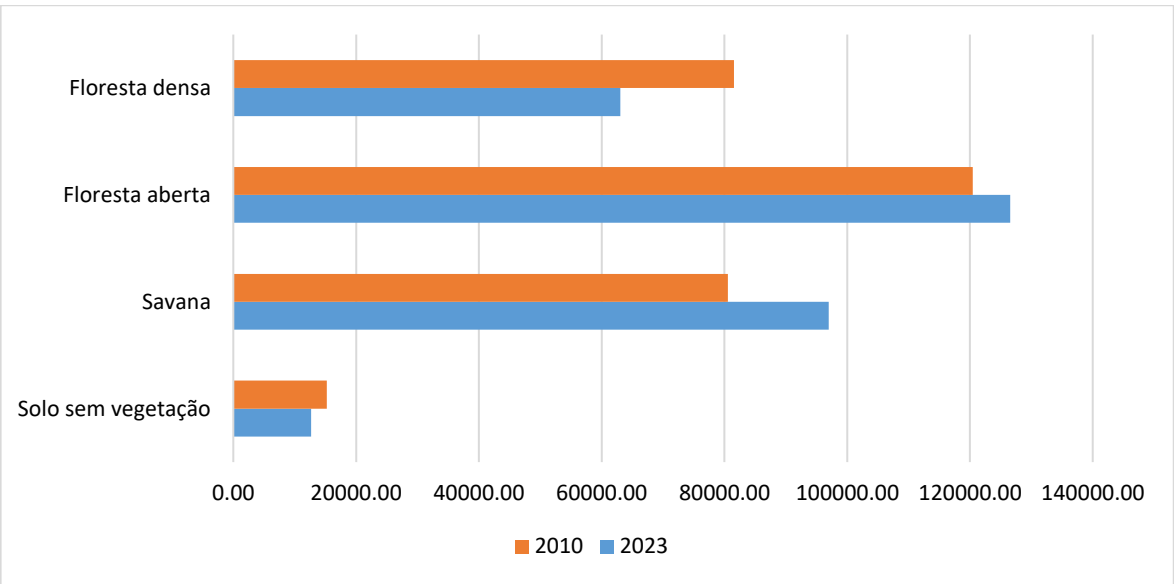


Figura 15: Mudança de área (ha) de uso e cobertura vegetal da terra, do distrito de Mocímboa da Praia (2010-2023).

Analisando as mudanças apresentadas em termos de uso e cobertura vegetal da terra, constatou-se que a classe savana é a que registou maior aumento de todas de 16445.36 ha que correspondem a 5.37% principalmente no posto administrativo de Mbau. A classe floresta aberta é a que obteve menor aumento em 6104.42 ha que correspondem 1.85% com maior destaque para o norte do distrito de Mocímboa da Praia limite com distritos de Palma e Nangade. E de todas as classes a que registou maior perda é a de floresta densa em 6.33%, seguida da área savana com 0.89%. Uma vez que as populações, tendo abandonado seus locais de vivência para novas áreas recorrem a desflorestação para construção de abrigos, exploração para fins agrícolas e combustível lenhoso.

No entanto, a base de seu sustento é agricultura, onde se instalam abrem seus abrigos, e fazem as suas práticas, daí que se observa a conversão de cobertura floresta densa em outras classes, embora nem sempre a conversão da cobertura implica o uso. Entretanto, zonas com maior textura homogênia verde, sinónimo de alto vigor vegetativo, constitui um ambiente propício para acampamentos de insurgentes. A Figura 16 representa as estatísticas finais, resultantes das mudanças das classes de uso e cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia no período de 2010 a 2023.

As análises de mudanças de cobertura do solo para o ano de 2010 a 2023, mostram que a classe de floresta densa se manteve inalterada para o mesmo período de observação em uma área correspondente a 42743.69 ha. A mesma classe verificou alterações para solo sem vegetação, savana e floresta aberta na ordem de 39.13 ha e 28506.53 ha, 49675.03 ha, respectivamente.

Não obstante, a classe de floresta aberta manteve-se intacta em uma área equivalente a 169860.98 ha, e transformou-se em solo sem vegetação, savana e floresta densa em áreas correspondentes a 260.04 ha, 19031.86 e 36985.67 ha, respectivamente.

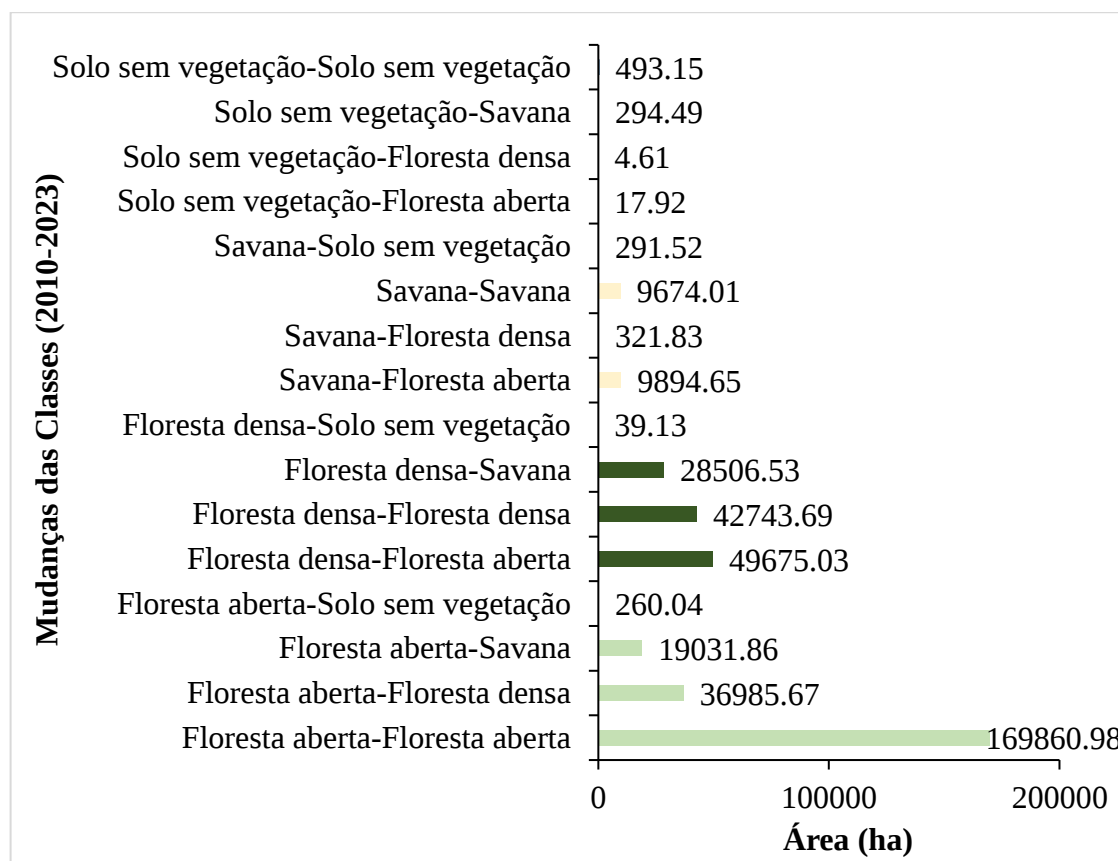


Figura 16: Conversão das classes de uso e cobertura vegetal do distrito de Mocímboa da Praia (2010-2023).

E como resultado final, foi elaborado um mapa conforme a Figura 17, e verificou-se mudanças significativas concernentes à ganhos e perdas de vegetação, e outros tipos de mudanças, e também alguns casos em que, algumas porções não sofreram alterações dentro da área de estudo.

Estes resultados corroboram com a projecção do desmatamento em Moçambique, feita pelo Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural, segundo os quais, dados históricos do desmatamento em Moçambique indicam que a agricultura, sobretudo a agricultura itinerante constituiu a principal causa directa do desmatamento com 65% em Moçambique, seguido de 12% de expansão urbana e infra-estruturas, 8% da exploração madeireira, 7% de exploração para combustíveis lenhosos, 4% de agricultura comercial, e 3% pecuária de e exploração (MITADER, 2021).

Uso e cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia

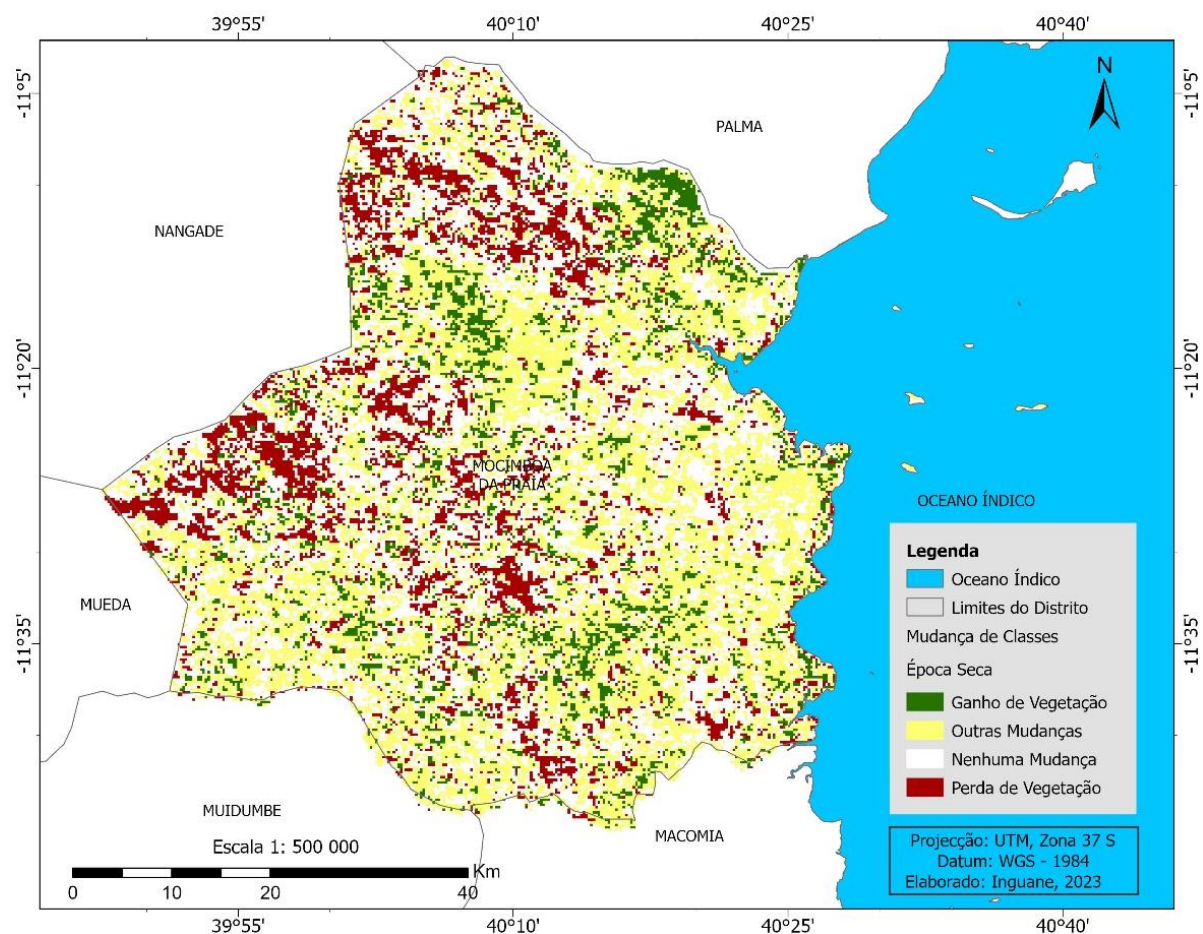


Figura 17: Mapa final de mudança de uso cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia de (2010-2023).

Obteve-se um bom resultado no que diz respeito ao aspecto visual dos índices, até mesmo sem efectuar análise mais profunda, recorrendo a outras técnicas, é possível visualizar as mudanças ocorridas no uso da terra resultante das destruições e no estado fenológico da vegetação.

Observou-se que houve mais ganho da vegetação na época chuvosa, porém sendo que a perda da mesma está associada a acção antrópica. Entretanto, zonas com maior textura homogénia verde, sinónimo de alto vigor vegetativo, constitui um ambiente propício para acampamentos de inimigos.

Em regra geral os índices de vegetação do espectro temporal apresentam fortes interferências de ruídos que dificultam a análise do espectro. Estas irregularidades apresentadas nas imagens são frutos da presença de nuvens e das interferências atmosféricas. Entretanto, os resultados das alterações de uso e cobertura vegetal da terra são mais confiáveis na época seca, porque estas sofrem menos influência das nuvens.

Apesar da técnica de processamento de imagem via satélite, algumas imagens podem ter sofrido a influência atmosférica, como é o caso da Figura 12 ainda que a captura tenha sido na época seca. Porém, estes tipos de ruídos nas imagens podem influenciar negativamente nos resultados dos índices de vegetação, daí que sugere-se a aplicação de filtros de correção.

As maiores mudanças de perda de vegetação registaram-se mais em zonas fronteiriças com outros distritos, tal como é o caso dos distritos de Mueda, Palma e Nangade. E as zonas costeiras não registaram mudanças significativas, dando vantagem à zonas de cobertura mangal.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusões

Na detecção de mudanças de uso e cobertura vegetal ocorridas de 2010 à 2023 nas zonas afectadas pela violência armada no distrito de Mocímboa da Praia, por meio dos índices de vegetação NDVI, NDBI e BSI os resultados mostram uma redução clara de áreas com textura homogênia verde, que representa alto vigor vegetativo em favor de outras classes, conforme o Índice Kappa de 0.88, que significa uma classificação excelente e a floresta densa apresentou maior perda em 18537.66 ha correspondente a 6.33%, e savana apresentou maior ganho com 16445.36 ha correspondente 5.37%, tornando susceptível o surgimento de novas áreas de exposição de solos.

Esta redução da vegetação na área de estudo, tem sido causada devido a vários factores essencialmente a acção antrópica, na medida em que as populações são forçadas a abandonarem suas zonas de vivência por causa da violência armada, migram para novas áreas onde sentem-se seguras. E como forma de garantirem sua sobrevivência, recorrem a desflorestação para a exploração de madeira na construção de pequenos assentamentos informais para abrigo, expansão de áreas agrícolas e combustível lenhoso para prepararem suas refeições. Por seu turno, os principais aumentos verificaram-se nas classes floresta densa e savana, e verifica-se a tendência de redução das florestas densas para floresta aberta.

A partir dos resultados obtidos das imagens temporais, por meio das mudanças principalmente de cobertura vegetal da terra, o NDVI mostrou-se melhor, porque facilmente é possível estudar as tendências da dinâmica da cobertura vegetal, onde quanto mais for densa a vegetação, são ambientes próprios para a instalação de bases dos insurgentes, pelo difícil acesso.

Portanto, as FADM tem possibilidades de monitorar as dinâmicas do terreno por meio de imagens satélites usando técnicas do Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica, observando que através do aumento de áreas com solos expostos para além daqueles que ordenamento territorial estabeleceu através de SDPI, e sendo uma zona hostil, permitirá assim aos organismos decisores traçarem melhores estratégias, de possíveis cenários geoestratégico-táticos de guerra com vista a eliminar a violência armada.

5.2. Recomendações

E para trabalhos futuros, de modo a aprofundar o estudo iniciado recomenda-se:

- Buscar mais ferramentas que auxiliem na escolha das datas e hora da captação das imagens de satélite e a aplicação de filtros de correcção da resolução;
- Fazer um estudo de uma integração combinada de mais sistemas de sensores diferentes resoluções, para analisar os variados índices de vegetação.

6. REFERÊNCIAS

- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S.A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S.M., Moghaddam, S.H.A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., & Parsian, S. (2020). Google Earth Engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observ. Remote Sensing*. <https://sadir.ws/handle/123456789/3280>
- Arastoo, B., & Ghazaryan, S. (2013). Land cover Changes Detection in Semnan province by Remote Sensing Techniques. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4: 7, pp. 1637-1644.
- Asokan1, A., & Anitha1, J. (2019). Change detection techniques for remote sensing applications: a survey. *Earth Science Informatics*. <https://doi.org/10.1007/s12145-019-00380-5>
- Berger, A., Ettlin, G., Quincke, C., & Rodriguez-Bocca, P. (2019). Predicting the normalized difference vegetation index (NDVI) by training a crop growth model with historical data. *Comput Electron Agric*. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.028>
- Calisto, L. P. (2011). Avaliação da Aptidão de Parques de Recolha de Biomassa na Província de Manica, Moçambique. <http://hdl.handle.net/10451/8162>
- Chen, W., Liangyun, L., Chao, Z., Jihua, W., Jindi, W., & Yuchun, P. (2004). Monitoring the seasonal bare soil areas in Beijing using multitemporal TM images. In: IGARSS 2004, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. [DOI:10.1109/IGARSS.2004.1370429](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2004.1370429)
- Clevers, J.G. (2009). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, 2nd ed., Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis, 2009. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. [DOI:10.1016/j.jag.2009.07.002](https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.07.002)
- EMBRAPA. (2024). Monitoramento por satélites. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*. <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>
- Ferrão, M. (2005). Manual de teledetecção. *Fascículo I: Satélites e Princípios Físicos da Teledetecção*.

- Ferreira, L.S., Helena, D., & Duarte, S. (2019). Exploring the relationship between urban form, land surface temperature and vegetation indices in a subtropical megacity. *Urban Clim.* [DOI:10.1016/j.uclim.2018.11.002](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.002)
- García, P., & Pérez, E. (2016). Mapping of soil sealing by vegetation indexes and built-up index: a case study in Madrid (Spain). *Geoderma*. [DOI:10.1016/j.geoderma.2016.01.012](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.012)
- Hao, M., Jiang, D., Ding, F., Fu, J., & Chen, S. (2019). Simulating spatio-temporal patterns of terrorism incidents on the Indochina Peninsula with GIS and the random forest method. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3), 133. <https://doi.org/10.3390/ijgi8030133>
- He, J., Zhang, N., Su, X., Lu, J., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Cao, W., & Tia, Y. (2019). Estimating Leaf Area Index with New Vegetation Index Considering The influence of Rice Panicles. *Journal Remote Sensing*. [Doi: 10.3390/rs11151809](https://doi.org/10.3390/rs11151809)
- Hyden, Goran. (2006). African Politics in Comparative Perspective. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- INE. (2019). IV Recenseamento Geral da População e Habitação 2017. *Instituto Nacional de Estatística*. <http://www.ine.gov.mz>
- Irons, J.R., J.L. Dwyer., & Barsi, J.A. (2012). The Next Landsat Satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.026>
- Jensen, J. R. (2009). Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos.
- Jiang, L., Shang, S., Yang, Y., & Guan, H. (2016). Mapping interannual variability of maize cover in a large irrigation district using a vegetation index – phenological index classifier. *Computers and Electronics in Agriculture*. [DOI:10.1016/j.compag.2016.03.008](https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.008)
- Justice, C., Giglio, B., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, j.t., Roy, D.P., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, f., Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*. <https://www.elsevier.com/locate/rse>
- Kelly, J.T., & Gontz, A.M. (2018). Using GPS-surveyed intertidal zones to determine the validity of shorelines automatically mapped by Landsat water indices. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*. [DOI:10.1016/j.jag.2017.10.007](https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.10.007)

- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Journal Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measuremt of observer agreement for categoria. *Biometrics*. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Li, Z., Shi, W., Myint, S., Lu, P., & Wang, Q. (2016). Semi-automated landslide inventory mapping from bitemporal aerial photographs using change detection and level set method. *Remote Sens Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.01.003>
- Li, Z., Sun, D., Chen, H., & Huang, S. Y. (2016). Identifying the socio-spatial dynamics of terrorist attacks in the Middle East. In *2016 IEEE conference on intelligence and security informatics (ISI)* (pp. 175-180). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISI.2016.7745463>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote sensing and interpretation*. New York.
- Liu, W. T. (2007). *Aplicações de Sensoriamento Remoto*. (UNDERP, Ed.) Campo Grande. <https://www.ofitexto.com.br/aplicacoes-de-sensoriamento-remoto-ebook/p>
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. S., & Moran, E. (2004). Change Detection Tecniques. 25. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>
- Lu, M., Hamunyela, E., Verbesselt, J., Pebesma, E. (2017). Dimension reduction of multi-spectral satellite image time series to improve deforestation monitoring. *Remote Sensing of Enviornment*. <https://doi.org/10.3390/rs9101025>
- Ma, Q., Su, Y., Luo, L., Li, L., Kelly, M., & Guo, Q. (2018). Evaluating the uncertainty of Landsat-derived vegetation indices in quantifying forest fuel treatments using bi-temporal LiDAR data. *Ecol Indic* 95. www.elsevier.com/locate/ecolind
- MAE. (2014). Perfil do Distrito de Mocímboa da Praia, Província de Cabo Delgado. *Ministério da Administração Estatal*. <http://www.mef.cabodelgado.gov.mz>
- Mallupattu, P.K., & Reddy, J.S. (2013). Analysis of Land Use/Land Cover Changes Using Remote SensingData and GIS at an Urban Area, Tirupati, India. *Hindawi*. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/268623>

- Martens, A., Sainudiin, R., Sibley, C. G., Schimel, J., & Webber, D. (2014). Terrorist attacks escalate in frequency and fatalities preceding highly lethal attacks. *PloS one*, 9(4), e93732. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093732>
- MICOA. (2012). Perfil ambiental e mapeamento do uso actual da terra nos distritos da zona costeira de Moçambique- Projecto de avaliação ambiental estratégica da zona costeira. *Mistério para a Coordenação da Acção Ambiental*. <http://www.biblioteca.biofund.org.mz>
- MITADER. (2021). Projecção do desmatamento em Moçambique: mapa florestal 2035. Policy Brif. FAO. FNDS. Maputo. *Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural*. <http://www.dinaf.gov.mz>
- Mohammadi, A., Costelloe, J.F. & Ryu, D. (2017). Application of time series of remotely sensed normalized difference water, vegetation and moisture indices in characterizing flood dynamics of large-scale arid zone floodplains. *Remote Sens Environ*. DOI:10.1016/j.rse.2016.12.003
- Nota, D.A. (2020). Política de defesa e segurança de Moçambique: Capacidade das Forças de Defesa e Segurança para responder às ameaças internas e externas (1975-2019). Tese de Doutoramento. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas – IFCH.
- Novo, E. M. (2010). Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4. São Paulo: Blucher.
- NRC. (2013). Committee on Implementation of a Sustained Land Imaging Program, Landsat and Beyond: Sustaining and Enhancing the Nation's Land Imaging Program, National Academy Press. *National Research Council*. [http:// www.nap.edu](http://www.nap.edu)
- OMR. (2020). Assimetrias no acesso ao Estado. *Observatório do Meio Rural*. <https://omrmz.org/>
- OMR. (2021). O Papel das Mulheres no Conflito em Cabo Delgado: Entendendo Ciclos Viciosos da Violência. *Observatório do Meio Rural*. <https://omrmz.org/>
- ONU. (2021). A Dimensão Territorial dos Deslocamentos no norte de Moçambique. *Organização das Nações Unidas*. <https://unhabitat.org/>
- Penha, T. V., & Francisco, C.N. (2017). Análise da dinâmica da cobertura vegetal no estado de mato grosso utilizando índices de vegetação do sensor MODIS. [doi:DOI-10.20396/sbgfa.v1i2017.2077](https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2077) - ISBN 978-85-85369-16-3

Reis, M. S. (2014). Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra utilizando dados ópticos e de micro-ondas em uma região da Amazônia brasileira.

Santos, C. dos., Moura, M., Galvêncio, J., Carvalho, S., Miranda, R., & Montenegro, S. (2021). Comparação de imagens multiespectrais utilizando Satélites e VANT para a análise de mudanças estruturais em área de Floresta Seca. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 14(5), 2510–2522. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2510-2522>

Singh, A., & Singh, K. (2017). Satellite image classification using genetic algorithm trained radial basis function neural network, application to the detection of flooded areas. *J Vis Commun Image Represent*. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.11.017>

Testa, S., Soudani, K., Boschetti, L., & Borgogno Mondino, E. (2018). EVI MODIS-d NDVI and WDRVI time series to estimate phenological metrics in French deciduous forests. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.006>

Twisa, S., & Buchroithner, M. F. (2019). Land use and land cover change detection in warm river basin, Tanzania. *Land*, 8, 136. <https://doi.org/10.3390/land8090136>

Vicente-serrano, SM., Camarero, J.J., Olano, J.M., Martín-hernández, N., Peñagallardo, M., Tomás-burguera., M et al (2016) Diverse relationships between forest growth and the normalized difference vegetation index at a global scale. *Remote Sens Environ*. <http://hdl.handle.net/10261/142672>

Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. *Journal of Sensors*. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>

Yuan, H., Wu, C., Lu, L., & Wang, X. (2018). A new algorithm predicting the end of growth at five evergreen conifer forests based on nighttime temperature and the enhanced vegetation index. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*. [DOI:10.1016/j.isprsjprs.2018.08.013](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.08.013)

7. APÊNDICES

Apêndice A: Índices de Solo Exposto (BSI)

As Figuras A1, A2 e A3 ilustram as classes de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia por meio de Índice de Solo Exposto (BSI) de cada ano.

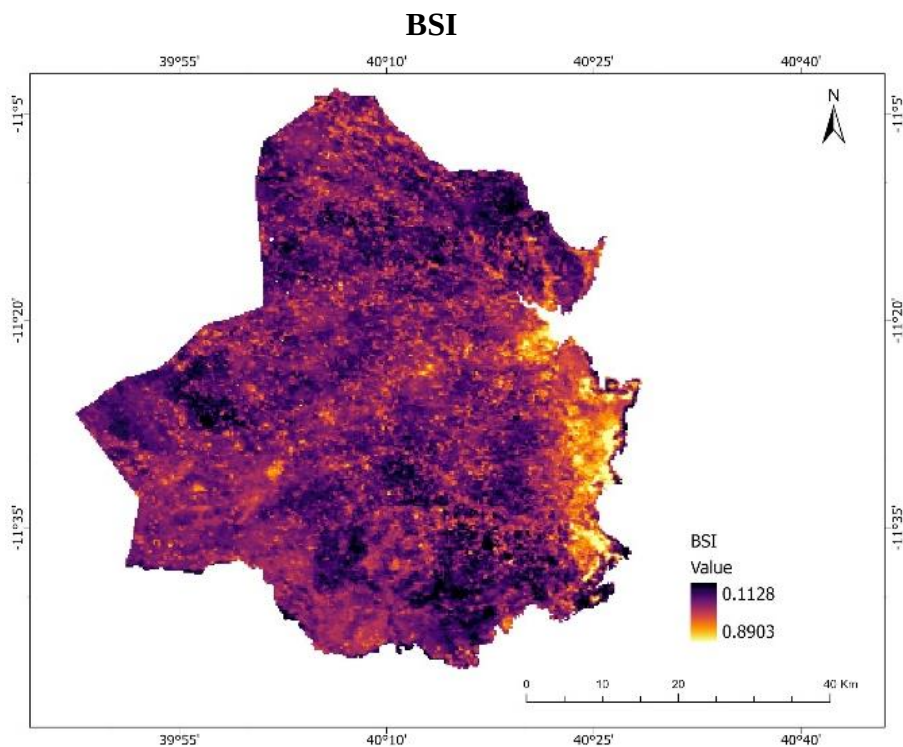


Figura A1: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2010.

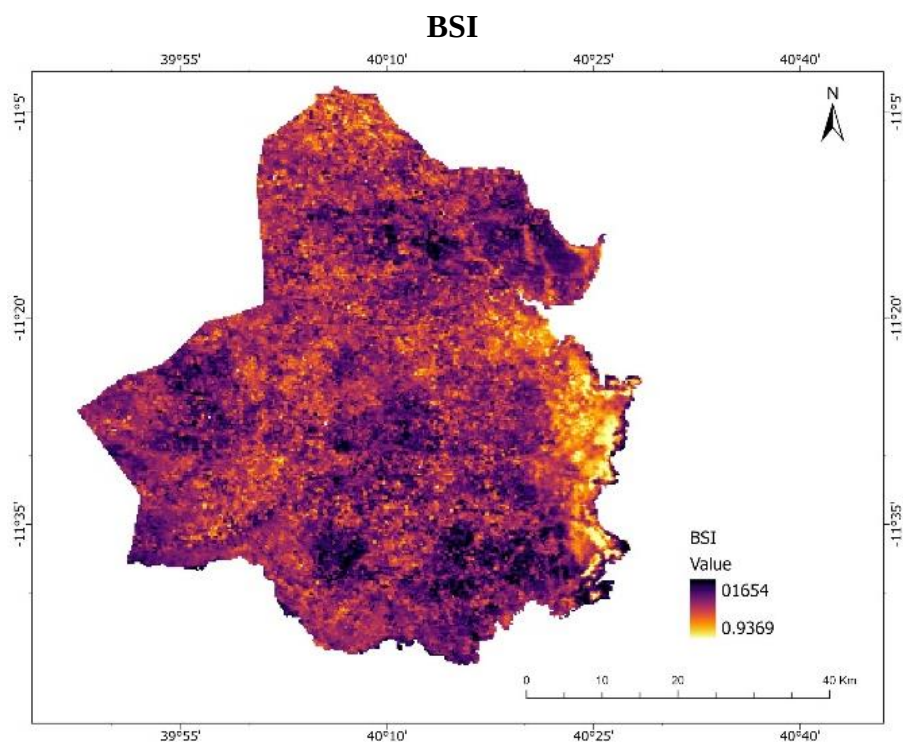


Figura A2: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia 2017.

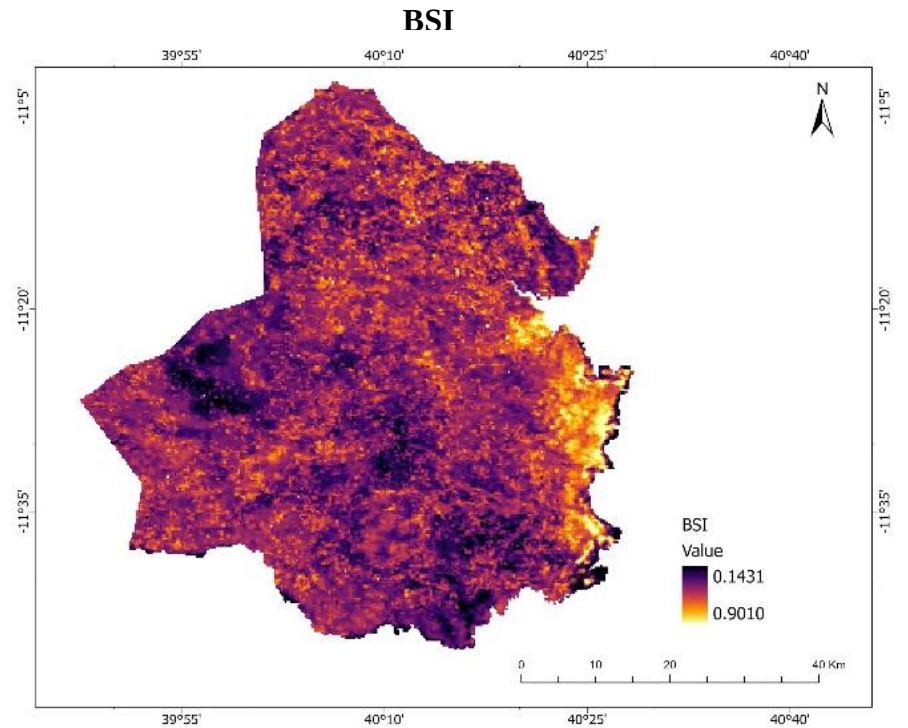


Figura A3: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia 2023.

Apêndice B: Classificação supervisionada

A Figura B1, ilustra as classes de uso e cobertura vegetal da terra do distrito de Mocímboa da Praia por meio da classificação supervisionada.

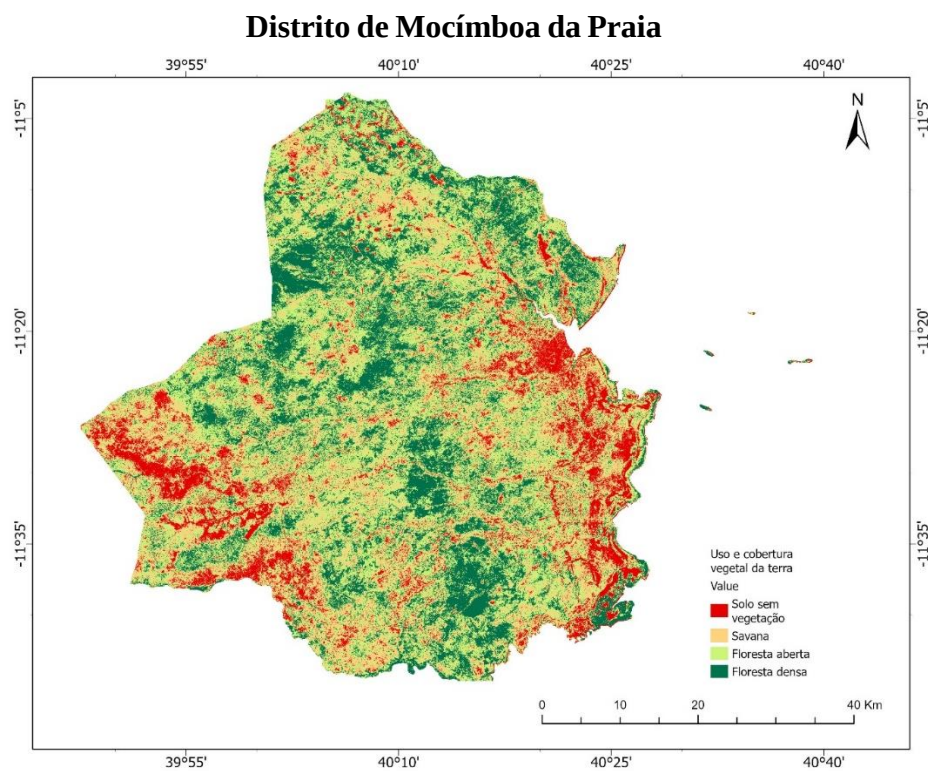


Figura B1: Mapa de classe de uso da terra do distrito de Mocímboa da Praia-2010 a 2023.