UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Licenciatura em Biologia Marinha

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Biologia Marinha

Análise da mudança da cobertura vegetal do mangal na região de Mecúfi-Cabo Delgado dos anos 2003 e 2020

Autor:

Renato José Zonjo

Quelimane, Setembro de 2025

UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para a Obtenção do Grau de Licenciatura em Biologia Marinha

Análise da mudança da cobertura vegetal do mangal na região de Mecúfi-Cabo Delgado dos anos 2003 e 2020

Autor:

Renato José Zonjo

Renato José Zonjo

Supervisor:

MSc. Noca Bernardo Furaca da Silva

Avaliador:

MSc. Nélio das Neves Olívio Sitoe

Presidente da Mesa:

MSc. Banito Bene Magestade

Quelimane, Setembro de 2025

Agradecimentos

Agradeço a Deus em primeiro lugar pela vida e de ter escolhido os pais que tenho, da saúde que tem concebido e por ter estado comigo em toda minha trajetória da vida nos momentos tristes e felizes, nas vitórias e fracassos e na realização dos meus objetivos e sonhos.

Aos meus pais José Zonjo e Domingas Miranda, pela vida e a educação, por todo apoio financeiro e psicológico que me deram desde o início.

Aos meus tios , Carlos Miranda, Leopoldina Miranda, Berta Miranda e Rosário Miranda, pelo apoio, motivação, compreensão e sempre estiveram ao meu lado durante a minha trajetória.

Aos meus irmãos, Edson Zonjo, Zonjo Master, Carlos , Stella, Freddy e Hortência Zonjo pelo suporte e motivação.

Aos meus queridos e amados irmãos na fé, Ana da Conceição, Abistiana Nelson, Adolfo Rangel, Berta Siquela, Fátima Santana, Manuela Augusto, Maria da Conceição, Mariana Henriques, Marília Esmeralda, Raquel Maunze, Selma Carlos, Silvério Eugênio Júnior, Yula Da Yara e Lucas Manuel Cacoco.

Aos meus pastores e professores da Escola Dominical - Mainato Francisco, Calulo Chataza, José Pedro e Alberto Macia - pelo apoio emocional e espiritual que me proporcionaram.

Aos meus amigos Azevedo Jeremias Cossa (AZA), Amilton Roberto, António chalé, António Alfoi, Bibi, João Pité, João Domingos, Joel jonito, Oliveira Armando, Cleusia Ferrão, Elcídio Cossa, Elidio Come, Jamar Timana, Gizela Jéssica, Jéssica Mativane, Laércio Machava, Lucas Alexandre, Marta Chavane, Ricardo Nhambirre, Shelton Manjate, Viriato Felisberto e a todos os meus colegas de Biologia Marinha de 2019 por toda ajuda na minha jornada académica.

A Raquel Pereira pela forte motivação, por companheirismo e estar sempre ao meu lado nos momentos de felicidade e dificuldades.

Ao meu supervisor Noca Bernardo Furaca da Silva pela toda a ajuda, disposição e paciência que teve para a realização do trabalho.

Declaração de Honra

Eu, Renato José Zonjo, declaro que o presente trabalho de monografia para a obtenção do grau de licenciatura em Biologia Marinha intitulado, ***"Análise da mudança da cobertura vegetal do mangal na região de Mecúfi-Cabo Delgado dos anos 2003 e 2020"*** foi elaborado por mim, esta monografia segue todas as recomendações do Regulamento do Trabalho de Licenciatura da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras.

(Assinatura)

_____

(Renato José Zonjo)

Resumo

Os mangais são um ecossistema de enorme importância para a proteção costeira, a segurança alimentar e para a conservação e refúgio da biodiversidade. Prestam ainda inúmeros serviços de manutenção e regulação, sobretudo por ser um importante sumidouro de carbono e ainda de aprovisionamento para as populações humanas costeiras. Os mangal assim como muitos outros ecossistemas enfrentam ameaças globais, como a degradação, a poluição ou a sobre-exploração e substituição por usos intensivos como a aquacultura. O presente trabalho teve como objectivo, analisar a mudança de cobertura do mangal do distrito de Mecúfi. A metodologia usada foi baseada no processamento digital das imagens de satélite utilizando software de geoprocessamento Arcgis 10.3, integrando dados georreferenciados do anos de 2003 e 2020, com base na classificação para o mapeamento da cobertura do solo. Os resultados evidenciam que, num período de 17 anos, essa área sofreu mudança na cobertura de mangal, em 2003 foi de 3585,6 ha e em 2020 foi de 2410,2 ha com uma perda de 1175.4 ha. A mudança da cobertura do mangal na área pesquisada parece estar fortemente associada a factores de origem humana como a construção de salinas, o corte de madeira para habitação e lenha, e a expansão de machambas bem como factores naturais, como os ciclones. No entanto, como a validação foi feita via imagens de satélite e Google Earth, e não em campo, estas causas permanecem como hipóteses plausíveis, baseadas nos padrões observados e na literatura, mas que precisam de confirmação directa no terreno.

Palavras-chave: Mudança, satélite, Mecúfi.

Abstract

Mangroves are an ecosystem of enormous importance for protection, food security, and biodiversity conservation and refuge. They also provide numerous maintenance and regulatory services, particularly as an important carbon sink and a source of supply for coastal human populations. Mangroves, like many other ecosystems, face global threats such as elimination, pollution, overexploitation, and replacement by intensive uses such as aquaculture. This study aimed to analyze the change in mangrove cover in the Mecúfi district. The methodology used was based on digital processing of satellite images using Arcgis 10.3 geoprocessing software, integrating georeferenced data from 2003 and 2020, based on the classification for land cover mapping. The change in mangrove cover in the surveyed area appears to be strongly associated with anthropogenic factors such as salt pan construction, logging for housing and firewood, and expansion of farmland as well as natural factors, such as cyclones. However, since validation was performed using satellite imagery and Google Earth, and not through fieldwork, these causes remain plausible hypotheses, based on observed patterns and literature, but require direct on-the-ground confirmation

Keywords: Change, satellite, Mecúfi.

Lista de abreviaturas

ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
FAO	Organização para a Alimentação (Food and Agriculture Organization)
ha	Hactares
LDCM	Missão de Continuidade dos Dados Landsat
m	Metros
mm	Milímetros
Max ver	Máxima Verossimilhança
MAE	Ministério da Administração Estatal
MICOA	Ministério Para A Coordenação da Acção Ambiental
MITADER	Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural
NASA	National Aeronautics and Space Administration
nm	Nanómetro
OLI	Operational Land Imager
TIRS	Thermal Infrared Sensor
USGS	United States Geological Survey
μm	Micrómetro
%	Percentagem
BIOFUND	Fundação para a Conservação da Biodiversidade
MIMAIP	Ministério do Mar, Águas Interiores e Pescas
WWF	World Wide Fund for Nature

Lista de tabelas

Tabela 1: Relação entre os valores de índice kappa e o desempenho da classificação…….....…….11

Tabela 2: Bandas espectrais do Landsat 5 e Landsat 8…….……..14

Tabela 3: Avaliação da acurácia do mapeamento MAXVER de ano 2003…….23

Tabela 4: Avaliação da acurácia do mapeamento MAXVER de ano 2020…….23

Tabela 5: Matriz de Mudança de Cobertura de Mangal denso disperso e não coberto da região de Mecúfi ……..…….…….……..24

Lista de figuras

Índice de figuras

Figura 1: Representação do espectro electromagnético…….……...5

Figura 2: Refletância de objectos mais frequentes na superfície terrestre…….....……..…8

Figura 3: Localização da área de estudo……..……...…12

Figura 4: Composição colorida da região de Mecúfi nos anos de 2003 (a) e 2020(b)……17

Figura 5: Geração de pontos aleatórios para avaliação da acurácia dos mapas nos anos de 2003 (a) e 2020 (b)…….....……..18

Figura 6: Mapa de cobertura de mangal denso disperso e não coberto em 2003…….20

Figura 7: Mapa de cobertura de mangal denso disperso e não coberto em 2020…….21

Figura 8**:** Gráfico da Variação da cobertura do solo da cobertura…….……...…….....22

Índice

Agradecimentos i

Declaração de Honra ii

Resumo iii

Lista de abreviaturas v

Lista de tabelas vi

Lista de figuras vii

CAPÍTULO I 1

1.Introdução 1

1.1.Problema 2

1.2.Justificativa 2

1.3.Objetivos 3

1.3.1. Geral 3

1.3.2. Específicos 3

CAPÍTULO II 4

2. Revisão de Literatura 4

2.1. Mangal 4

2.1.1. Diversidade de espécies de Mangal em Moçambique 4

2.1.2. Mudança temporal da vegetação do mangal em Moçambique 4

2.2. Sensoriamento remoto 5

2.2.1. Satélite 5

2.2.2. Satélite Landsat 7 ETM + ... 6

2.2.3. Landsat 8 OLI 6

2.2.4. Sensores a bordo de satélites 6

2.2.5. Classificação dos sensores 7

2.2.6. Resposta espectral de alvos 7

2.2.7. Resposta espectral de água 8

2.2.8. Resposta espectral dos solos 8

2.2.9. Resposta espectral da vegetação 9
2.3. Processamento de imagens.....9
2.3.1.Pré-processamento de imagens 9
2.3.2.Classificação das imagens.....10
2.3.3. Classificação não supervisionada.....10
2.3.4.Classificação supervisionada 10
2.3.5.Validação da classificação 10
CAPÍTULO III.....12
3. Metodologia e Área de Estudo.....12
3.1. Descrição da área de estudo 12
3.1.1. Clima 12
3.2. Material e Método 13
3.2.1. Materiais.....13
3.2.2. Método 13
3.2.2.1. Aquisição e análise das imagens de satélite.....13
3.2.2.2. Processamento digital das imagens 14
3.2.2.3. Conversão de números digitais (DN) 15
3.2.2.4. Cobertura do vegetal 15
3.2.2.5. Composição colorida (RGB).....16
3.2.2.6. Classificação supervisionada e validação da acurácia 17
CAPÍTULO IV.....19
4. Resultados e discussão.....19
4.1.Resultados 19
4.1.1. Cobertura do mangal denso disperso e não mangal 19
4.1.2. Análise da validação da classificação supervisionada das imagens.....22
4.2. Comparação da cobertura do solo durante os anos de 2003 e 2020.....24
CAPÍTULO V 25
5. Discussão 25

CAPÍTULO VI.....27

6. Conclusão.....27

7. Recomendações.....27

8. Referências Bibliográficas.....28

CAPÍTULO I

1. Introdução

Mangais são ecossistemas costeiros das regiões estuarinas das zonas tropicais e subtropicais. Possuem plantas típicas do mangal e plantas associadas bem como as micro e macroalgas adaptadas a flutuações de salinidade. São caracterizados por colonizarem sedimentos, lodosos, ricos em matéria orgânica e com baixo teor de oxigénio (Schaeffer & Novelli, 1995).

Os mangais, apresentam condições próprias para alimentação, proteção e reprodução de muitas espécies animais, são considerados importantes transformadores de nutrientes, de matéria orgânica, geradores de bens e de serviços (Schaeffer e Novelli, 1995). As florestais de mangais têm uma cobertura global recentemente estimada em 18 milhões de hectares e ocorre em 112 países. Em Moçambique a área estimada aproxima-se a 400,000 hectares (Semesi, 1997).

O país conta com 8 espécies de mangal: Avicennia marina, Bruguiera gymnorhiza,Ceriops tagal, Heritera littoralis, Lumnitzera racemosa, Rhizophora mucronata, Soneratia alba e Xylocarpus granatum (Beentje e Bandeira, 2007), que podem ser encontrados ao longo da costa, na foz dos principais rios, e em zonas protegidas como as baías, sendo mais abundantes nas regiões centro e norte, caracterizado por solos lodosos orgânicos, aluviões e captações de água doce de vários rios que correm no Oceano Índico (Macamo, 2018).

As florestas de mangais na região de Mecúfi-Cabo delgado e no país como todo estão sob ameaça relacionada a exploração de madeira, expansão urbana e fenómenos naturais com destaque para ciclones tropicais (valiela, 2001).

Os estudos sobre os ecossistemas de mangais em Moçambique e ao redor do mundo têm sido realizados por diversas instituições e organizações. Em Moçambique, a Fundação para a Conservação da Biodiversidade (BIOFUND) e o Ministério do Mar, Águas Interiores e Pescas (MIMAIP) estão entre os principais envolvidos. Globalmente, organizações como a World Wide Fund for Nature (WWF) e a Global Mangrove Alliance, assim como universidades renomadas, têm contribuído significativamente para a pesquisa e conservação dos mangais (Valiela *et al*., 2001). O objetivo da pesquisa é analisar a mudança de cobertura do Mangal na região de Mecúfi-Cabo Delgado nos anos de 2003 e 2020, Adicionalmente, este estudo irá contribuir na transmissão e compreensão de conhecimentos sobre a mudança da cobertura do mangal e podem auxiliar na tomada de decisões sobre as formas de manejo e conservação deste ecossistema.

1.1.Problema

O mangal é um ecossistema costeiro vital que abriga uma rica biodiversidade e desempenha papéis cruciais na proteção da costa, na ciclagem de nutrientes e na sustentabilidade pesqueira. No entanto, a cobertura de mangal tem vindo diminuir em muitas regiões devido a atividades humanas e naturais. Segundo (UNEP, 2007), a degradação da floresta do mangal causa vários problemas no meio ambiente, como o aumento de erosão devido as fortes influências de marés para a costa, bem como o desaparecimento de alguns animais associados a esse habitat, criando um desequilíbrio ecológico.

A região de Mecúfi tem sofrido a degradação da floresta do mangal devido as construções de salinas, causando problema grave na região. Dados indicam que entre os anos 2008 a 2016, o número de salinas registada na região foi de 13 e subiu para 55, algumas tendo funcionado em regime clandestino (Bandeira *et al.*, 2016). De acordo com os pressupostos acima descritos o presente estudo pretende compreender para responder a seguinte pergunta de pesquisa:

Qual foi a evolução da cobertura vegetal do mangal na região de Mecúfi dos anos 2003 e 2020?

1.2.Justificativa

O estudo da dinâmica da cobertura vegetal do mangal tem importância económica, social e ambiental para a comunidade. Devido a frequentes alterações que o ecossistema apresenta em climas diversos, a sua monitorização é importante para estudos de evolução da paisagem como também para actividades de planeamento e ordenamento territorial bem como perspetivar ações futuras nas regiões com desflorestamento acentuado ou não.

O sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) têm sido bastante usados na estimativa de cobertura de mangal em Moçambique (Campira & Cianciullo, 2021). Esses resultados de análise da vegetação de mangal por sensoriamento remoto têm várias vantagens em termo de custo e tempo de processamento, sobretudo, para o monitoramento da dinâmica dessa espécie (Moxon, 2021). Portanto, espera-se que o resultado da presente pesquisa permita conhecer o estado actual da floresta de mangal em Mecúfi, e, possa servir de subsídio para as autoridades competentes fazer cumprir as leis de conservação.

1.3.Objetivos

1.3.1. Geral

- ✓ Analisar a mudança da cobertura do mangal na região de Mecúfi-Cabo Delgado

1.3.2. Específicos

- ✓ Mapear a cobertura do mangal denso disperso e não coberto;
- ✓ Quantificar as áreas do mangal denso, disperso e não coberto;
- ✓ Comparar a cobertura do mangal durante os anos de 2003 e 2020.

CAPÍTULO II

2. Revisão de Literatura

2.1. Mangal

Os mangais são plantas com características únicas, que evoluíram para sobreviver na interface entre a terra e o oceano no clima húmido dos trópicos e subtropicos (UNEP, 2007). Os mangais são compostos por árvores tolerantes à salinidade (holófitas), e que crescem em solos pouco arejados (anaeróbios), ricos em nutrientes, usando deste modo raízes aéreas (pneumatóforos) para respirar e podem chegar até aos 20 m de altura (MICOA, 2012).

Os mangais desempenham importantes funções socioeconómicas e ambientais. Isso inclui o fornecimento de uma grande variedade de produtos florestais madeireiros e não madeireira; protecção costeira contra efeitos do vento, ondas e correntes de água; conservação da diversidade biológica, incluindo vários mamíferos, répteis, anfíbios e aves ameaçados de extinção; protecção de recifes de coral, rotas de navegação contra assoreamento; e provisão de habitat, áreas de desova e nutrientes para uma variedade de peixes e moluscos, incluindo muitas espécies comerciais (FAO, 2007).

2.1.1. Diversidade de espécies de Mangal em Moçambique

Segundo (MICOA, 2012), em Moçambique ocorrem oito espécies de mangal, nomeadamente: Avicennia marina, Bruguiera gymnorrhiza, Ceriops tagal, Heritiera littoralis, Lumntzera racemosa, Rhizophora mucronata, Sonneratia alba, e Xylocarpus granatum (na zona sul é o limite austral para espécie). As espécies Bruguiera gymnorhiza, Rhizophora mucronata e Ceriops tagal pertencem à família Rhizophoraceae; Avicennia marina pertence à família Avicenniaceae; Heritiera litoralis pertence à família Sterculiaceae; Lumnitzera racemosa pertence à família Combretaceae; Sonneratia alba pertence à família Sonneratiacea e a espécie Xylocarpus granatum pertence à família Meliaceae.

2.1.2. Mudança temporal da vegetação do mangal em Moçambique

Segundo Saket e Matusse (1994), Moçambique tinha uma taxa de desflorestamento do mangal de 3.9% entre os anos 1972 a 1990, actualmente estima-se que Moçambique detenha um potencial de cerca de 305,400 ha de cobertura da floresta de mangal (Fataynbo & Simard, 2013). No entanto estudos realizados pela FAO citado por (MITADER, 2015) estimaram que em Moçambique perdeu-se cerca 60,451 ha de cobertura de floresta do mangal entre os anos 1997 a 2005. Fatoyinbo et. al, citado por (MITADER, 2015) estimaram a cobertura total de mangal em Moçambique, onde concluíram 27% amenos do que estimado anteriormente por Saket e Matusse (1994), que rondava nos 396,080 ha em 1990.

2.2. Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto pode ser definido como sendo o processo de capturar informação sobre algum objecto, sem que haja contacto com esse objecto, usando sensores que podem ser transportados a bordo de satélites (sensores orbitais) ou a bordo de aviões com câmeras fotográficas (Pina & Santos, 2000).

Uma das primeiras aplicações dos dados obtidos remotamente tem sido a detecção de diferenças na refletância, relacionadas à densidade da cobertura vegetal (Shiratsuchi *et al*., 2014).

O objectivo do sensoriamento remoto é estudar o ambiente terrestre, pelo registo e pela análise das interacções entre a radiação electromagnética e as substâncias presentes na superfície terrestre. Sabe-se que todo material (natural ou artificial) sobre a superfície terrestre está constantemente reflectindo e emitindo radiação electromagnética (Pina & Santos. 2000). O espectro electromagnético é uma divisão didáctica da distribuição da radiação electromagnética pelas distintas regiões, organizado de acordo com o comprimento de onda e frequência de onda (figura 1) (Abreu & Coutinho, 2012).

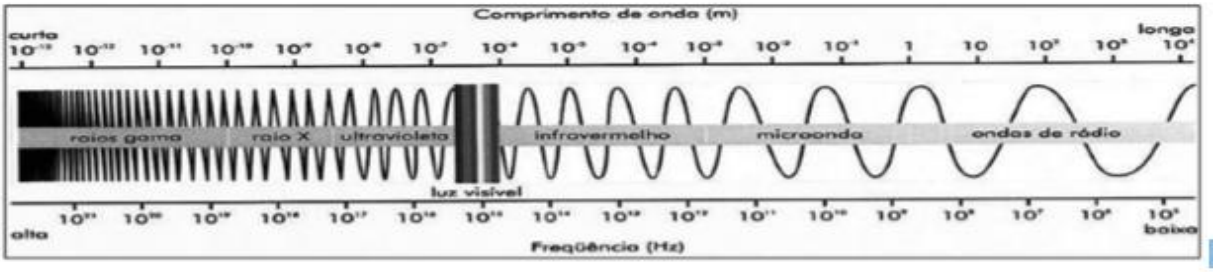

Figura 1: Representação do espectro electromagnético. Fonte: (Florenzano, 2002).

2.2.1. Satélite

Satélite é todo objecto que gira em torno de outro objecto, ele pode ser classificado em: satélite natural e satélite artificial. Em astronomia, um exemplo de satélite natural é a Lua, pois ela gira em torno da Terra (Florenzano, 2008). Já satélite artificial é um equipamento produzido pelo homem, o qual segue a órbita de um planeta ou corpo celeste. Esse satélite é posicionado no espaço, com auxílio de um foguete. Existem diversos tipos de satélites artificiais em órbitas do planeta Terra e equipados com diferentes tipos de sensores e câmeras que registram informações da superfície terrestre, tais como os satélies da série LANDSAT, IKONOS, SPOT, MODIS e CBERS.

2.2.2. Satélite Landsat 7 ETM +

O satélite Landsat 7 foi lançado em 15 de abril de 1999, com um novo sensor a bordo denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). A operação do satélite em órbita é administrada pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e sua produção e comercialização de imagens ficam sob os cuidados da USGS (United States Geological Survey). Uma órbita do Landsat 7 é realizada em aproximadamente 99 minutos, permitindo ao satélite dar 14 voltas na Terra por dia, e a cobertura total do nosso planeta sendo completada em 16 dias. A sua vida útil está prevista para ser superior a seis anos em órbita. Uma imagem Landsat 7 ETM+ é composta por oito bandas espectrais que podem ser combinadas em várias composições coloridas (Boggione, 2003).

Entre as principais melhorias técnicas em relação ao Landsat 5, plataforma antecessora ao Landsat 7, destaca-se a adição de uma banda espectral (banda pancromática) com resolução nominal de 15 metros, perfeitamente registrada com as demais bandas, melhorias nas características geométricas e radiométricas, o aumento da resolução espacial da banda termal para 60 metros e a adição de dois calibradores solares como ilustra o quadro 1 (Boggione, 2003) .

2.2.3. Landsat 8 OLI

O satélite Landsat 8 foi lançado em 11 de Fevereiro de 2013 referente a Missão de Continuidade dos Dados Landsat (LDCM), este satélite possui dois novos sensores: o sensor espectral OLI (Operacional Land Imager) e o Sensor infravermelho Termal - TIRS (Thermal Infrared Sensor), as melhoras na resolução espectral e radiométrica são de grande importância, visto que possibilitam a melhora na definição e qualidade dos dados obtidos por esses sensores. Os sensores OLI e TIRS coletam dados em conjunto para fornecer imagens correspondentes da superfície da Terra, incluindo regiões costeiras, gelo polar, ilhas e zonas continentais (Zanetti *et al*., 2015).

A resolução espectral do sensor OLI, embora apresente semelhanças com os canais do sensor ETM+ fornece alguns canais a mais, como o novo canal azul do visível (banda 1) projectado especificamente para os recursos hídricos e análise de áreas costeiras, e um novo canal infravermelho (banda 9) para a detecção de nuvens do tipo cirros (Zanetti *et al*., 2015).

2.2.4. Sensores a bordo de satélites

As imagens de sensores a bordo de satélites são obtidas por rastreamento da superfície terrestre (scanning), enquanto para as fotografias aéreas e a obtenção da imagem da superfície é feita instantaneamente (Pina & Santos. 2000). A qualidade de um sensor geralmente é especificada pela sua capacidade de obter medidas detalhadas da energia electromagnética, e as suas características dos sensores estão relacionadas com a resolução: espacial, espectral e radiométrica (Maio, *et al.*, 2008). É necessário conhecimento da posição orbital do satélite e da direcção de visualização de um

sensor para construir uma imagem bidimensional geograficamente referenciada a partir de observações individuais adquiridas pelo sensor (Brown, *et al.*, 2017).

2.2.5. Classificação dos sensores

Os sensores quanto à fonte de radiação podem ser classificados em: activos e passivos. Os sensores que medem a radiação reflectida ou emitida pelos alvos, que provém de uma fonte externa (e.x. do sol), são denominados sensores passivos, porque eles não possuem radiação própria, isto é, dependem de uma fonte de iluminação externa (Moreira, 2001). Por outro lado se o sistema sensor possui uma fonte de radiação, isto é, não depende de uma fonte externa para irradiar o alvo, ele é denominado activo (Moreira, 2001) . Neste caso os sensores emitem energia electromagnética para os objectos terrestres a serem imageados e detectam parte da energia que estes reflectem na direcção do sensor (Maio, *et al.*, 2008).

2.2.6. Resposta espectral de alvos

O comportamento espectral de um objecto pode ser definido como sendo o conjunto dos valores sucessivos da refletância do objecto ao longo do espectro electromagnético, também conhecido como assinatura espectral do objecto (Maio, *et al.,* 2008).

O termo comportamento espectral de alvos tem sido atribuído pelos profissionais que actuam na aplicação do sensoriamento remoto no estudo de recursos naturais, como ao estudo da refletância espectral destes recursos, quer que sejam: vegetação, solos, minerais e rochas, água, etc (figura 2). Assim, o comportamento espectral de um alvo só é plenamente compreendido quando são estudadas as suas propriedades de refletir, transmitir e absorver a radiação electromagnética (Novo & Ponzoni, 2001).

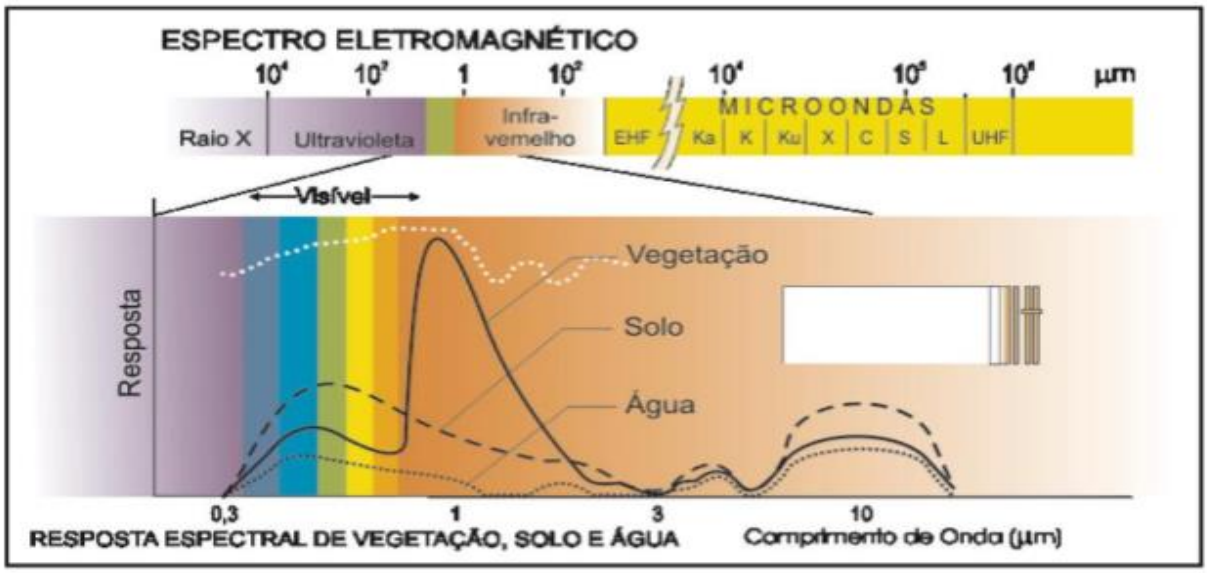

Figura 2: Refletância de objectos mais frequentes na superfície terrestre. Fonte: (Maio, *et al.*, 2008).

2.2.7. Resposta espectral de água

A energia que é absorvida pela massa de água é, em parte, devido às moléculas e os electrões da própria massa de água e, em parte, devido às partículas nelas dispersas (Moreira, 2001).

O comportamento espectral de corpos de água é modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento produzidos por materiais dissolvidos e em suspensão neles, pois é verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida em corpos de água desloca o máximo de refletância espectral para o verde-amarelo, enquanto que a presença de matéria inorgânica em suspensão resulta num deslocamento em direcção ao vermelho (Maio, *et al.*, 2008).

A absorção de luz no meio aquático é decorrente das presenças de quatro componentes básicos: a própria água, substâncias dissolvidas na água (substância amarela ou matéria orgânica dissolvida), biota fotossintetizadora (fitoplâncton e macrófitas quando presentes) e partículas não vivas como partículas orgânicas mortas e partículas inorgânicas (Novo & Ponzoni, 2001).

2.2.8. Resposta espectral dos solos

O comportamento espectral dos solos é também dominado pelas bandas de absorção de seus constituintes (Maio, *et al.*, 2008). As combinações e arranjos dos materiais constituintes dos solos é que define o seu comportamento espectral, sendo que os principais factores são a constituição mineral, a matéria orgânica, a humidade e a granulometria (textura e estrutura) desde (Maio, *et al.*, 2008).

Segundo Novo & Ponzoni (2001) o tamanho das partículas no solo afectam a sua refletância, ou seja, para solos com a mesma composição mineralógica, a tendência é a redução da refletância com o aumento do tamanho das partículas. O teor de humidade também afecta sua refletância em todos os comprimentos de onda, ou seja, quanto maior o teor de humidade, menor é a refletância do solo em todos os comprimentos de onda.

2.2.9.Resposta espectral da vegetação

De todos os elementos constituintes da vegetação, a folha constitui o principal deles quando se considera o processo de interacção descrito (Novo & Ponzoni, 2001). A vegetação sadia apresenta alta absorção de energia electromagnética na região do espectro visível, que é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese (Maio, *et al.*, 2008).

A alta refletância no infravermelho próximo (até 1,3 μm) é devido a estrutura celular, sendo que a partir desde comprimento de onda é o conteúdo de água na vegetação quem modula as bandas de absorção presentes no comportamento espectral desta (Maio, *et al.*, 2008).

A distribuição espacial dos elementos da vegetação, bem como a suas densidades e orientações, definem a arquitectura da vegetação. Cada dossel, em particular, possui suas características próprias e desenvolve-se em diferentes tipos de solos e sobre diferentes condições ambientais (Novo & Ponzoni, 2001).

2.3.Processamento de imagens

O processamento de imagens é configurado por algoritmos especializados, que disponibiliza para o usuário a aplicação de uma grande variedade de técnicas de processamento (Meneses & Almeida, 2012). Com avanço das técnicas da computação e surgimento de computadores digitais capazes de armazenar e processar grande volume de informações, de forma extremamente rápida, passou-se a usar técnicas de processamento digital de imagens especialmente concebida para o processamento e análise de imagens digitais (Pina & Santos. 2000).

2.3.1.Pré-processamento de imagens

A fase de pré-processamento consiste na preparação de dados satélites, para realizar a classificação (Moreira, 2001). As técnicas de pré-processamento são, essencialmente, funções operacionais para remover ou corrigir os erros e as distorções introduzidos nas imagens pelos sistemas sensores devidos a erros instrumentais (ruídos espúrios), às interferências da atmosfera (erros radiométricos) e à geometria de imageamento (distorções geométricas) (Meneses & Almeida, 2012).

2.3.2.Classificação das imagens

Entendemos por classificação digital ou classificação de imagens satélites o processo de extracção de informação em imagens com o objectivo de reconhecer padrões e objectos homogéneos (INPE, 2006). A classificação digital é uma das funções prioritárias do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Os métodos de classificação de imagens são aplicados com o objectivo de criar representações temáticas de fenómenos, feições e objectos dispostos sobre a superfície terrestre. Estes métodos delimitam porções em que a resposta espectral dos alvos apresenta as mesmas características ou significados (Seabra & Cruz, 2013). Para classificar uma imagem usam-se programas apropriado, também denominados algoritmos de classificação ou simplesmente classificadores. Dependendo do algoritmo utilizado, neste procedimento, a classificação é dita supervisionada ou não supervisionada (Moreira, 2001).

2.3.3. Classificação não supervisionada

Classificadores não supervisionados são classificadores que requerem pouca ou nenhuma participação do analista no processo de classificação da imagem. O uso de classificadores não supervisionados é indicado quando o analista não possui conhecimento, a priori, da área de estudo (Moreira, 2001). A outra é quando desejamos fazer uma classificação exploratória da imagem, para rapidamente e sem grande esforço, saber as possíveis classes de alvos que podem ter na imagem (Meneses & Almeida, 2012). Há dois principais algoritmos de classificação não supervisionada de amplo uso em sensoriamento remoto: ISODATA e K-médias. Ambos se baseiam no agrupamento de pixels por suas similaridades, usando técnicas de distância mínima (Meneses & Almeida, 2012).

2.3.4.Classificação supervisionada

Ao contrário da classificação não supervisionada, a classificação supervisionada requer conhecimentos prévios das classes de alvos, a fim de classificar a imagem nas classes de interesse pré-fixadas pelo analista (Meneses & Almeida, 2012). Dentre os algoritmos supervisionados os mais empregados podem ser: máxima verossimilhança (MAXVER), o método do paralelepípedo e a distância euclidiana (Moreira, 2001).

2.3.5.Validação da classificação

Uma das últimas etapas da classificação digital de imagens é a da validação dos resultados da classificação (Meneses & Almeida, 2012). O que se busca nessa etapa é avaliar a acurácia da classificação. Para conferir que os dados colectados e classificados sejam confiáveis e tenham a qualidade desejada, é preciso fazer uma avaliação da precisão dos métodos utilizados. Entre as formas mais frequentes de testar a precisão dos métodos de classificação encontram-se a matriz de confusão e o cálculo do índice Kappa (Durán, 2014).

O teste de concordância Kappa (K), também conhecido por coeficiente de Kappa, foi proposto por Jacob Cohen em 1960, com a finalidade de medir o grau de concordância entre proporções derivadas de amostras dependentes (Silva & Paes, 2012). O coeficiente Kappa pode ser calculado através da seguinte equação:

$$k = \frac{N * \sum_{i=1}^{M} di - \sum_{i=1}^{M} -(\sum l(i) * \sum c(i))}{N^2 - \sum(\sum l(i) * \sum c(i))}$$

Formula (1)

Onde: N é número de pixels de verificação; M é número de classes.

Segundo Meneses & Almeida (2012), o Índice de Kappa pode variar de 0 (concordância nula ou péssima) a 1 (concordância perfeita). Landis e Koch (1977) propuseram a escala de avaliação na qual os intervalos de valores são atribuídos à qualidade da classificação:

Tabela 1: Relação entre os valores de índice kappa e o desempenho da classificação.

Índice Kappa	**Desempenho Da Classificação**
0.00	Sem concordância
0.00 a 0.20	Pobre
0.21 a 0.40	Fraca
0.41 a 0.60	Moderada
0.61 a 0.80	Forte
0.81 a 1.00	Excelente

CAPÍTULO III

3. Metodologia e Área de Estudo

3.1. Descrição da área de estudo

A área de estudo (figura 3) situa-se no distrito de Mecúfi na província de Cabo Delgado, zona norte de Moçambique. Tem limite, a norte com o município de Pemba e com o distrito de Metuge, a oeste com o distrito de Ancuabe, a sul e sudoeste com o distrito de Chiúre e a leste com o Oceano Índico (MAE, 2014).

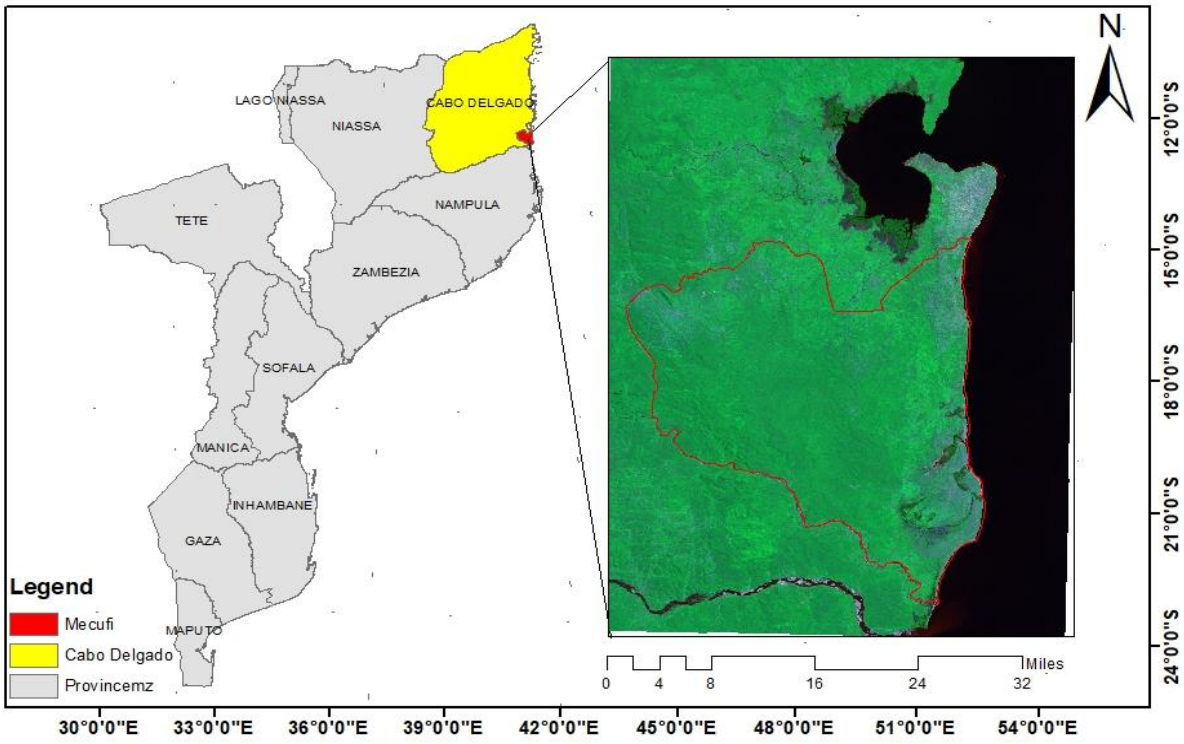

Figura 3: Localização da área de estudo.

3.1.1. Clima

O clima da região é tropical húmido com duas estações climáticas, a estação chuvosa vai de outubro a março e a estação seca vai de Abril a Setembro. A precipitação média anual varia entre 800 – 1000 mm e a evapotranspiração potencial é da ordem dos 1400 a 1600mm. (Peel *et al*., 2010).

3.2. Material e Método

3.2.1. Materiais

Para a realização deste trabalho foram usados os seguintes materiais: O software ArcGIS 10.3 para o processamento das imagens de satélites Landsat 5-TM e Landsat 8-OLI para a produção de mapas; Google Earth para auxiliar no reconhecimento dos alvos de interesse na validação dos mapas.

3.2.2. Método

3.2.2.1. Aquisição e análise das imagens de satélite

A aquisição das imagens foi feita através do site Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) imagens de satélite Landsat 5-TM (Thematic Mapear) e Landsat 8 OLI referente aos anos de 2003 e 2020 nas datas 2003-05-22; (07:10:22) e 2020-06-15; (07:21:18), adquiridas gratuitamente. O site disponibilizou para cada ano, várias imagens, das quais foram escolhidas as que apresentavam baixo nível de cobertura de nuvens (-10%). As bandas utilizadas no trabalho encontram-se patentes na tabela 2:

Tabela 2: Bandas espectrais do Landsat 5 e Landsat 8 utilizadas no trabalho representa dados da aquisição de imagens.

Sensor TM	**Âmbos Sensores**		**Sensor OLI**			
Nº da Banda	Faixas espectrais (nm)	Resoluç ão temporal	Resolução radiométrica	Resolução espacial	N o da Banda	Faixas espectrais (nm)
1	485 (blue)	16 dias	16 bits	30 m	1	440 (coastal blue)
2	560 (green)	16 dias	16 bits	30 m	2	480 (blue
3	660 (red	16 dias	16 bits	30 m	3	560 (green)
4	830 (NIR)	16 dias	16 bits	30 m	4	655 (red)
5	1650 (SWIR-1)	16 dias	16 bits	30 m	5	865 (NIR)
6	2215 (SWIR-2)	16 dias	16 bits	30 m	6	1610 (SWIR-1)
7	2080 (SWIR-2)	16 dias	16 bits	30 m	7	2200 (SWIR-2)

3.2.2.2. Processamento digital das imagens

O processamento consiste na aplicação de uma série de técnicas e métodos, cujo objetivo principal é remover as barreiras impostas pela limitação do olho humano, facilitando a extração de informações a partir de imagens (Crosta, 1992). A fase do processamento de digital dividiu- se em duas etapas que são: Pré- Processamento e Processamento.

Para Pré-processamento fez-se a projeção das imagens para WGS 1984 UTM Zona 37S, conversão dos números digitais (ND) em valores de reflectância, recortes e extrações de máscaras de área de estudo.

3.2.2.3. Conversão de números digitais (DN)

A conversão de número digital para reflectância transforma-se os valores numéricos de uma imagem digital em valores que representam a quantidade de luz refletida por cada pixel de imagem. Isso permite analisar e quantificar características como brilho e contraste na imagem. Para fazer a conversão de número digital para reflectância usando a equação 1 entre o Meta dados das imagens com as bandas para o cálculo da reflectância.

$$\rho\lambda' = M\rho Qcal + A\rho \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Onde:

$\boldsymbol{\rho\lambda'}$: Representa a reflectância planetária TOA (reflectância do topo da atmosfera), sem correção para o ângulo;

Mρ: Representa o factor de redimensionamento multiplicativo da banda dos meta dados (Reflectância_ Mult_Band_x, onde x é o número da banda);

Aρ: Representa o factor de redimensionamento aditivo específico da banda da meta dada (Reflectance_add_band_x, onde x é o número da banda);

Qcal: Representa o quantizado e calibrado valor de pixel de produto padrão (DN).

Para processamento foram feitos cálculo do índices espectrais para permitir melhor distinção dos alvos (cobertura do mangal denso disperso não mangal), composições coloridas, mapeamentos a partir do algoritmo MAXVER da classificação supervisionada e por fim cálculos de parâmetros estatísticos de cada alvo.

3.2.2.4. Cobertura do vegetal

Para determinar a cobertura da vegetação utilizou-se o NDVI (o Índice de Vegetação com Diferença Normalizada ou Normalized Difference Vegetation Index) e o NDWI (Normalized Difference Water Index ou índice normalizado de Diferença de água), onde o NDVI serviu como auxílio da diferenciação do mangal dos diferentes tipos de vegetação e o NDWI serviu para aumento do

contraste entre água e terra na delimitação de canais fluviais e da linha de costa. Para a determinação dos limites das diferentes classes, usaram-se limiares propostos por (Bezerra, 2019). A equação proposta por (Tucker, 1979), para determinar o índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI)

Equação 2. Índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI)

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR}-\mathrm{Red}}{\mathrm{NIR}+\mathrm{Red}} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

Onde a diferença dos valores dos dados das bandas 4 (Red) e 5 (NIR) são proporcionais à reflectância da cena vista, sendo a medida do grau de vegetação verde na imagem.

O NDVI é preferido para monitoramento da vegetação global porque compensa parcialmente a variação nas condições de iluminação, inclinação da superfície terrestre e aspectos das observações do sensor em função da ampla largura da órbita (2.700 km) e os seus valores teoricamente podem variar de +1 à -1. Nuvens, água e neve têm reflectância maiores no visível do que no infravermelho, sendo que, nestas condições o NDVI tem valores negativos. Rochas e solos expostos têm reflectância similares nestas duas bandas e o resultado no índice de vegetação é aproximadamente zero. Em paisagens com vegetação o NDVI varia de 0,1 à 0,6, onde os valores mais altos são associados com maior vigor e densidade da cobertura vegetal.

Usou-se a banda da região do verde (Blue) e infravermelho próximo (NIR) para calcular Índice de água por diferença normalizada (NDWI) de acordo com a equação 3 abaixo:

Equação 3. Índice de água por diferença normalizada (NDWI)

$$\mathrm{NDWI} = \frac{\mathrm{Green}-\mathrm{NIR}}{\mathrm{Green}+\mathrm{NIR}} \qquad \text{(Eq. 3)}$$

O valor de NDWI varia de -1 para 1. Segundo McFeeters (1996) definiu zero como o limiar. Isto é, o tipo de cobertura é água se NDWI≥ 0 e não água se NDWI≤ 0. O NDWI permite: (1) maximizar a reflectância típica da água usando o comprimento de onda da luz verde (TM2); (2) minimizar a baixa reflectância dos corpos de água no infravermelho próximo (TM4); e (3) realçar o contraste entre a água e a superfície terrestre proporcionada pela banda infravermelha.

3.2.2.5. Composição colorida (RGB)

Na composição colorida foram extraídas informações do uso e cobertura do solo da região do estudo. Neste sentido, foi utilizada uma composição com as bandas vermelhas, verde e azul através da ferramenta do ArcGIS "Composite Bands". Os resultados da composição apresentam forte

semelhança com as cores da natureza e facilita a identificação dos alvos ao interpretar as figuras abaixo.

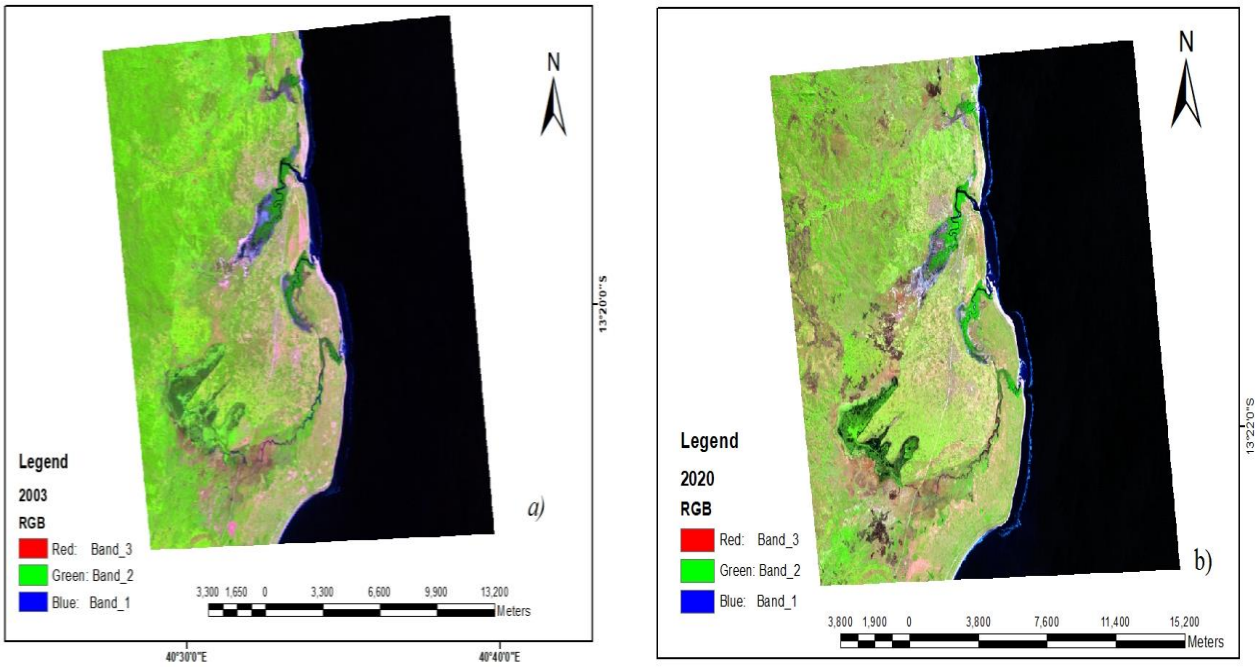

Figura 4: Composição colorida da região de Mecúfi nos anos de 2003 (a) e 2020 (b).

3.2.2.6. Classificação supervisionada e validação da acurácia

Para a classificação supervisionada foi feita definição de assinaturas espectrais (padrões) para cada uma das classes de estudo obtidas a partir de amostras de treinamento, utilizando parâmetros estatísticos, esses dirão qual a probabilidade de um pixel pertencer ou não à uma determinada classe ou a outra, levando em consideração a localização do mesmo segundo a distribuição espectral da classe. Tal classificador é conhecido como MaxVer. Após a aplicação deste algoritmo será adotado um método de classificação automática. Tal classificador trata-se de um algoritmo de agrupamento de dados, não-supervisionado, aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez são caracterizados por seus atributos estatísticos de média e matriz de covariância, e também pela área (Luís, 2011).

Para validar acurácia dos mapas classificados foram gerados 200 pontos de amostragem estratificada (onde um número igual de pontos é atribuído a cada classe), com 50 pontos distribuídos equitativamente por cada classe (mangal, vegetação não-mangal, solo exposto e corpo hídrico), utilizando a ferramente Create Random Points no software ArcGIS para cada imagem. Após a geração dos pontos nas imagens classificadas, estes foram exportados para Google Earth (imagem de referência), onde foi estabelecido a confirmação semelhante com a veracidade terrestre. A análise foi feita usando o índice de exatidão global índice Kappa, onde foram introduzidos os pontos de

amostragem nas imagens já classificadas e foi feita a validação com base em observações das imagens de Google Earth. Os índices de exatidão global, Kappa, Erro de comissão e de omissão foram calculados. Geralmente a verificação é realizada em campo, no entanto, devido a falta de recursos optou-se por este método.

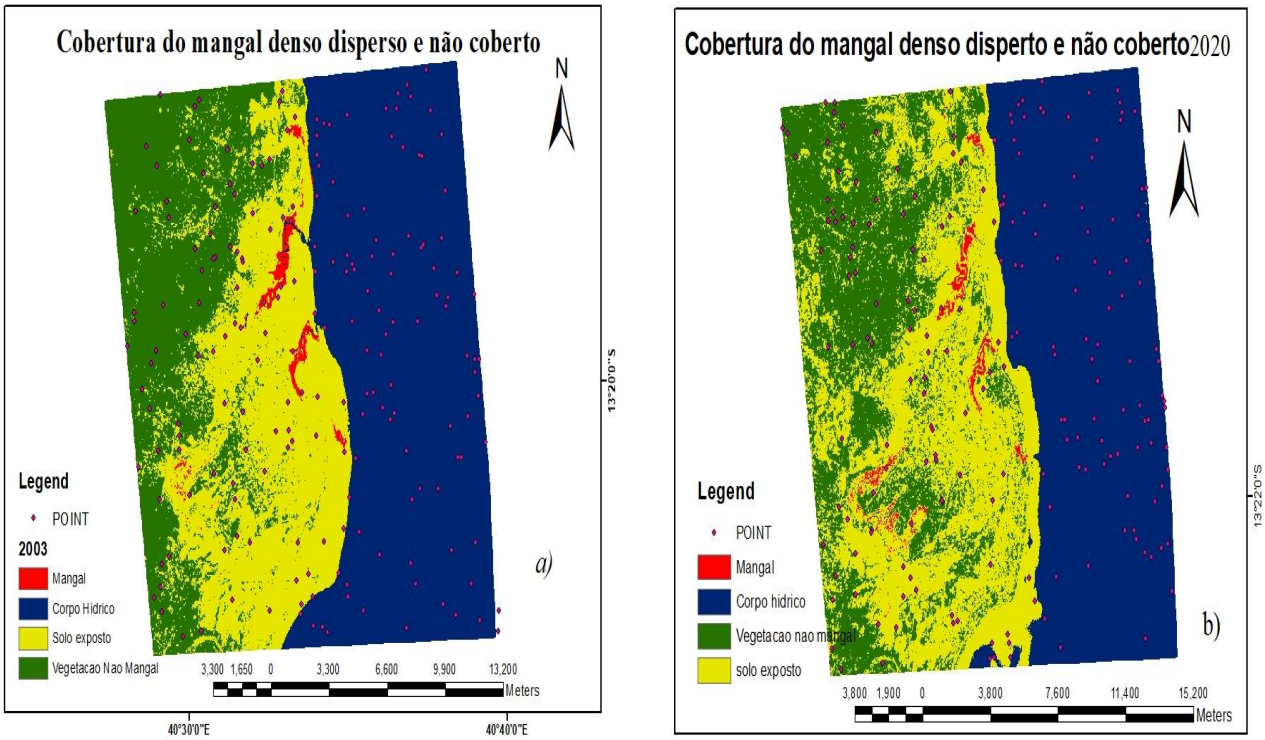

Figura 5: Geração de pontos aleatórios para avaliação da acurácia dos mapas nos anos de 2003 (a) e 2020 (b).

CAPÍTULO IV

4. Resultados e discussão

4.1.Resultados

4.1.1. Cobertura do mangal denso disperso e não mangal

Nas figuras 6 e 7 estão apresentados os mapas da cobertura do mangal denso e disperso e não mangal da região de Mecúfi – Cabo Delgado, resultante da classificação supervisionada das imagens de satélite. A classe em vermelho representa o mangal denso e disperso, localizado principalmente nas zonas estuarinas, margens fluviais e baías costeira, áreas onde as condições ecologicas são favoráveis (solo lodoso, alagado periodicamente e rico em matéria organica). A classe vegetação não-mangal, em verde, ocorre em áreas adjacentes ao mangal, muitas vezes como mata secundária, indicando zonas de transição entre ecossistemas naturais e áreas de uso humano. A classe solo exposto, em amarelo, representa áreas sem cobertura vegetal significativa, mas não significa ausência de ocupação humana, pode incluir construções, campos agrícolas, salinas e outras formas de uso da terra que não são visíveis em escala Landsat e a classe corpo hídrico, em azul, delimita os cursos fluviais, canais e zonas intertidais. Essa distribuição espacial não é aleatória: ela reflete a interação entre fatores ecológicos e antrópicos, como uso da terra, cobertura vegetal e dinâmica hídrica, conforme destaca Novo (2010). Entretanto, a partir de uma inspeção visual é possível analisar as mudanças significativas da cobertura do mangal denso disperso e não mangal na área de estudo a partir dos anos 2003 e 2020.

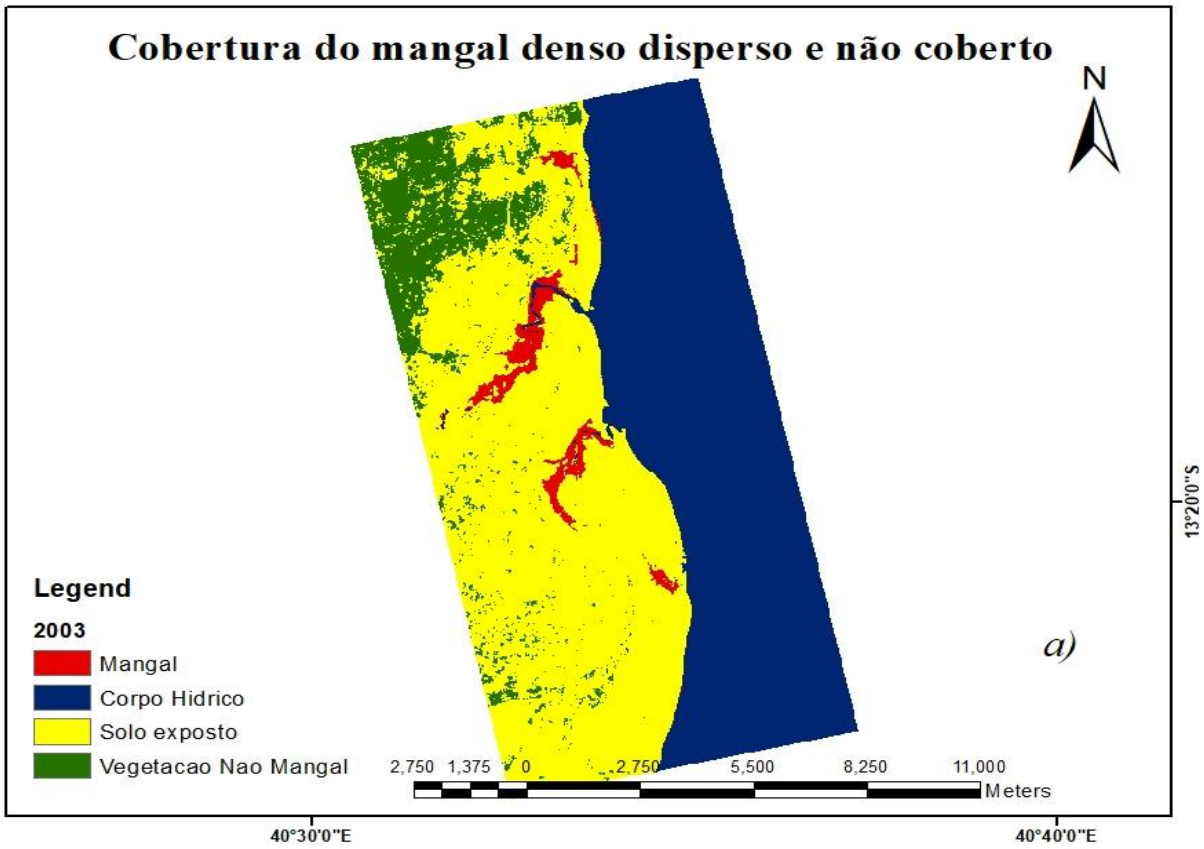

Figura 6: Mapa de cobertura de mangal denso disperso e não coberto do ano 2003.

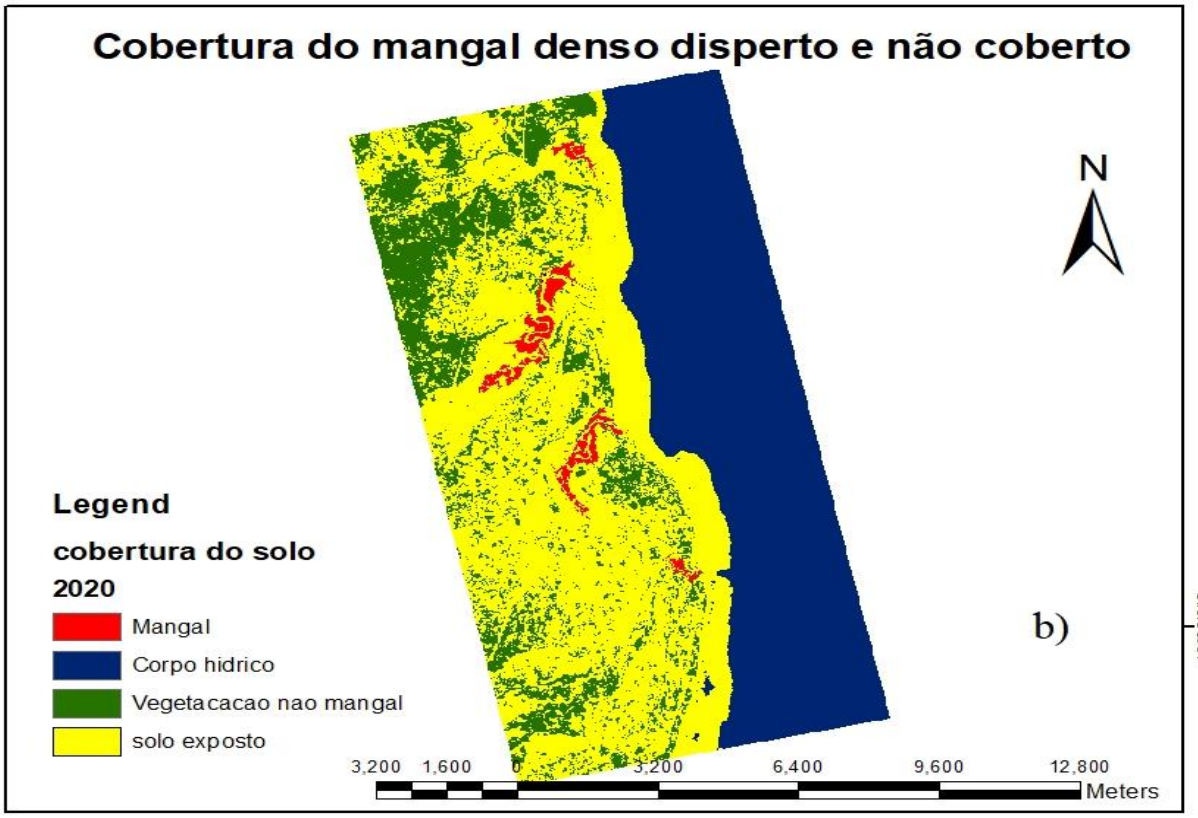

Figura 7: Mapa de cobertura de mangal denso disperso e não coberto em 2020.

Para o ano de 2003, a cobertura do mangal mapeada foi de 3585,6 ha, a vegetação circundante não-mangal ocupa a área com cerca de 14679 ha, o solo exposto ocupa a área com cerca de 72730,8 ha e corpo hídrico ocupa a área com cerca de 65439,9 ha. E Para 2020, a cobertura do mangal foi de 2410,2 ha, a vegetação circundante não-mangal foi de 25237,8 ha, o solo exposto ocupa a área com cerca de 72648,9 ha e corpo hídrico ocupa a área com de cerca de 56138,4 ha.

A figura 8 mostra de forma sumarizada como foi a variação da cobertura do solo entre os anos de 2003 e 2020.

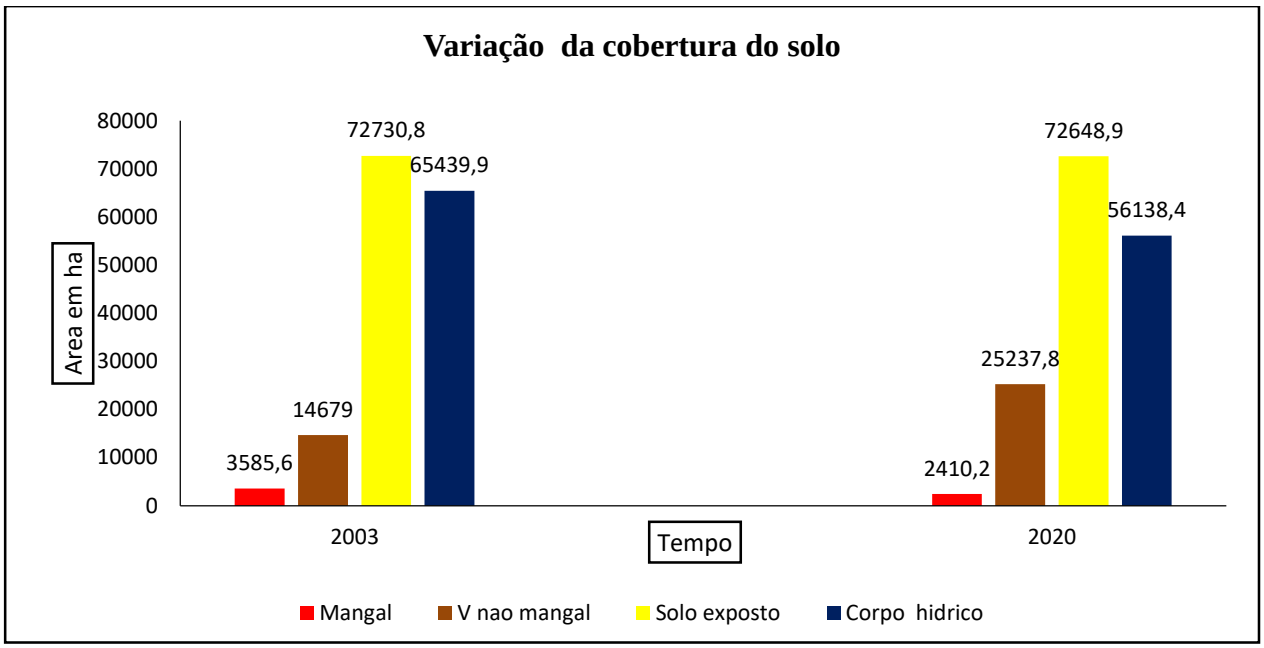

Figura 8: Gráfico da **v**ariação da cobertura do solo entre os anos 2003 e 2020.

4.1.2. Análise da validação da classificação supervisionada das imagens

Os mapas ilustrados nas figuras 6 e 7, oriundos do classificador supervisionado estão sujeitos a erros, de tal modo foi necessário avaliar o desempenho do algoritmo utilizado na geração dos mesmos. A avaliação baseou-se em indicadores extraídos da matriz de confusão por meio do índice Kappa ilustrada nas tabelas abaixo (tabelas 3 e 4). A matriz de confusão permitiu estimar a exatidão global dos mapas resultantes das classificações de imagens referentes aos anos de 2003 e 2020. Deste modo, para os anos de 2003 obteve-se uma precisão de acurácia do índice Kappa de 0.70 e para o ano 2020 a precisão da acurácia foi de 0,897. Contudo os resultados apresentados demonstram que a classificação foi muito boa de acordo com o critério da classificação na tabela de Landis & Koch (1977).

Tabela 3: Avaliação da acurácia do mapeamento MAXVER de ano 2003.

	2003						
Classes	C. hídrico	S. Expost	V. não mangal	Mangal	Total	P.Accuracy	Kappa
C. hídrico	50	0	0	0	50	0.79	0
S.exposto	9	27	13	1	50	0.84	0
V. não mangal	1	5	37	7	50	0.66	0
Mangal	3	0	5	42	50	0.84	0
Total	63	32	56	50	200	0	0
P.Accuracy	0.793651	0.84375	0.660714	0.84035	0	0.77611	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0.701987

Tabela 4: Avaliação da acurácia do mapeamento MAXVER de ano 2020

	2020						
Classes	C. hídrico	S. exposto	V. não manga	Mangal	Total	P.Accuracy	Kappa
C. hídrico	78	0	0	0	50	0.98	0
S. exposto	1	26	0	3	50	0.81	0
V. não manga	0	0	17	0	50	0.8	0
Mangal	0	6	4	65	50	0.95	0
Total	79	32	21	68	200	0	0
P_ Accuracy	0.987342	0.8125	0.809524	0.955882	0	93	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0.897888

4.2. Comparação da cobertura do solo durante os anos de 2003 e 2020

A tabela 5 mostra a análise da dinâmica da mudança da cobertura do mangal denso e disperso da região de Mecúfi durante o intervalo de 17 anos, onde se pode observar uma perda da cobertura do mangal denso e disperso durante esse intervalo, entretanto, para o período de 2003 a área coberta foi de 3585.6 ha e para ano 2020 a área coberta foi de 2410.2 ha com uma perda de 1175.4 ha que corresponde cerca 32,78% da área perdida . Para a vegetação não-mangal, registou mudança na sua cobertura, no período de 2003 uma área de 14679 ha e para o ano de 2020 foi registada uma área de 25237.8 ha com um aumento de 10558.8 ha da área corresponde a 71.9% da área não coberta. O corpo hídrico no ano 2003 registou uma área de 65439.9 ha e para o período de 2020 a área registada foi de 56138.4 ha com perda de 9301.5 ha a que corresponde 14,2%. Para cobertura do solo exposto no período de 2003 a área registrada foi de 72730.8 hectares e para o período de 2020 foi registada um uma área de e 72648.9 ha com uma diminuição de 81.9 ha de área do solo exposto correspondendo a 0.1%.

Tabela 5: Matriz da Mudança da Cobertura de Mangal denso disperso e não coberto da região de Mecúfi.

Classe	**2003**	**Perct %**	**2020**	**Perct %**	**Mudança**
Mangal	3585.6	2.3%	2410.2	1.5%	-1175.4
V não-mangal	14679	9.4%	25237.8	16.1%	10558.8
Solo exposto	72730.8	46.5%	72648.9	46.4%	-81.9
Corpo hídrico	65439.9	41.8%	56138.4	35.8%	-9301.5
Total	156435.3	100.0%	156435.3	100.0%	

.

CAPÍTULO V

5. Discussão

A análise da mudança da cobertura do mangal na região de Mecúfi entre 2003 e 2020 revelou uma perda drástica de 1.175,4 hectares, reduzindo a área de mangal de 3.585,6 ha para 2.410,2 ha, uma diminuição de aproximadamente 32,78% em apenas 17 anos. Este resultado não é um dado isolado, mas insere-se num quadro nacional de degradação acelerada dos mangais, corroborando, e em alguns aspectos superando, as taxas de perda documentadas em outras regiões de Moçambique.

Os resultados deste estudo em Mecúfi são alarmantes quando comparados com os de Sofala. Shugart et al. (2008) reportaram uma perda de 2.800 ha (14%) entre 1990 e 2000, enquanto Luís (2011), numa análise de longo prazo na Baía de Sofala, encontrou uma redução de 3.600 ha (36%) em 31 anos, e Mandlate (2013) documentou uma perda de 2.200 ha (20%) entre 1973 e 2005. A taxa de 32,8% em 17 anos observada em Mecúfi sugere, portanto, que a região de Cabo Delgado pode estar a experimentar uma fase de degradação mais intensa e acelerada do que outras áreas, o que exige uma atenção urgente das autoridades. A principal hipótese para esta perda catastrófica está directamente ligada à explosão da actividade salineira, como evidenciado por Bandeira et al. (2016), que reportam um aumento de 13 para 55 salinas no distrito entre 2008 e 2016, muitas operando clandestinamente. A construção de uma salina implica a remoção total da vegetação de mangal para a criação dos tanques de evaporação, tornando esta actividade o factor antrópico mais destrutivo e directamente correlacionado com os padrões de perda espacial observados nos mapas.

Contudo, é crucial discutir que esta correlação, embora forte, permanece uma hipótese, uma vez que a validação foi realizada indirectamente via Google Earth, e não através de observações de campo que pudessem confirmar a presença física de salinas nos locais de desmatamento. Além das salinas, a conversão do mangal para agricultura de subsistência e assentamentos humanos também é uma hipótese plausível, apoiada pelo aumento substancial de 10.558,8 ha na classe Vegetação não-mangal, que provavelmente representa áreas de transição ou cultivo.

Outro resultado crítico é a redução de 9.301,5 ha na área da classe Corpo Hídrico. Embora parte desta perda possa ser atribuída à diferença sazonal entre as imagens (Maio vs. Junho), é imperativo considerar a hipótese do assoreamento, como discutido por Ellison et al. (2015), que demonstram que a remoção do mangal leva à erosão dos solos lodosos, que são então transportados e depositados nos canais fluviais, reduzindo sua profundidade e área. Este processo cria um ciclo vicioso, pois o assoreamento compromete a regeneração natural do mangal, que depende de condições hídricas específicas

É fundamental discutir o papel dos factores naturais, nomeadamente os ciclones tropicais. O seu impacto deve ser analisado com cautela. Os dados deste estudo vão até 2020, e pouco antes ocorreu um evento catastrófico, Ciclone Kenneth (Abril de 2019). Embora Cabo Delgado não tenha sido o epicentro Kenneth atingiu directamente a província, sendo o ciclone mais forte já registado na costa ocidental de África. É plausível que os danos causados por ventos fortes, chuvas torrenciais e ondas de tempestade tenham acelerado a degradação em áreas já fragilizadas pela acção humana, ou mesmo causado perda directa de árvores de mangal.

É importante frisar que todas estas causas (salinas, agricultura, assoreamento e ciclones) são hipóteses baseadas em padrões espaciais, dados regionais e literatura científica, e não observações directas. As limitações metodológicas, nomeadamente a resolução de 30m do Landsat e a validação indirecta, introduzem uma margem de incerteza que impede afirmações categóricas. Apesar disso, a magnitude da perda de 32,78% é inquestionável e tem implicações profundas: ecológicas, pela perda de biodiversidade e serviços ambientais como a protecção costeira e o sequestro de carbono; e socioeconómicas, ao comprometer a pesca artesanal, que depende do mangal como berçário, e ao aumentar a vulnerabilidade das comunidades costeiras a eventos climáticos extremos.

Em síntese, este estudo quantifica uma crise ambiental em Mecúfi, cujas causas primárias são fortemente suspeitas de serem antrópicas, mas cuja confirmação definitiva exige investigações futuras com coleta de dados de campo. Os resultados servem, acima de tudo, como um alerta inequívoco: sem uma intervenção imediata, baseada em fiscalização rigorosa e programas de restauração, o ecossistema de mangal em Mecúfi, e com ele os meios de subsistência das suas comunidades, enfrenta um colapso irreversível.

CAPÍTULO VI

6. Conclusão

De acordo com os Objectivos propostos e resultados obtidos, chegou-se as seguintes conclusões:

- A redução da cobertura da floresta mangal denso e disperso da região de Mecúfi em 2003-2020 foi de 3585.6 ha e reduziu para 2410.2 ha com perda 1175.4 ha num período de 17 anos.
- O aumento da vegetação não mangal no período de 2003 a 2020 foi de 14679 há para 25237.8 ha da área com um aumento de 10558.8 ha
- Redução do corpo hídrico no período de 2003 a área foi de 65439.9 ha e em 2020 foi de 56138.4 ha com uma perda de 9301.5 ha.
- Reduçao ligeira do solo exposto no período de 2003 a área foi de 72730.8 ha e para 2020 foi de 72648.9 ha com uma perda de 81.9 ha.

7. Recomendações

Os resultados desse estudo apontam para um declínio acentuado da cobertura da floresta de Mangal em Mecúfi, portanto, recomenda-se:

❖ A comunidade académica, a aplicação do mesmo para avaliação da cobertura de mangal em outras áreas de Moçambique

❖ Aos órgãos competentes e Parceiros, a criação de programas de replantio de mudas de mangal, assim como a fiscalização para evitar abates das árvores de mangal.

❖ Para estudos futuros, a realização de estudos de campo para validar as hipóteses levantadas neste trabalho.

8. Referências Bibliográficas

- ✓ Abreu, M. F., & Coutinho, L. M. (2012). *Sensoriamento Remoto Aplicado aoEestudo da Vegetação com Ênfase em Índice de Vegetação e Métricas da paisagem*. VÉRTICES, Volume 16, pp. 173-198.

- ✓ Alongi, D. M. (2008).*Mangrove Forests: Resilience, Protection From Tsunamis, and Responses to Global Climate Change*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 76(1), 1–13.

- ✓ Bandeira, S., Macamo, C., Mahazule, R., & Mabilana, H. (2016). *Estudo de Lições Aprendidas e Boas Práticas de Reabilitação do Mangal- Avaliação do Programa de Restauração de Mangal do Estuário do Limpopo (Gaza), Tsolombane em Matutuine (Maputo), Nhangau (Sofala), Inhassunge e Macuze (Zambézia) e Mecúfi e Metuge.* Delgado).Maputo.71pp..

- ✓ Bezerra, M.P. (2019). *Análise de Índices Êspectrais NDVI e NDWI para Caracterizacao Ambiental*

- ✓ Boggione, G. d. (2003). *Restauração de Imagens do Satélite Landsat-7*. São José dos Campos: INPE.

- ✓ Brown, C. W., Lillibridge, J. &., Nalli, N. R. (2017). An Introduction to Satellite sensors, observations and techniques. Research Gate., pp. 1-32.

- ✓ Campira, J. M., & Cianciullo, S. N. (2021). *Mozambique Land Use and Land Use Change Assessment (2001-2020): Mangrove Forests Case Study*. SECOSUD II Project.

- ✓ Crosta, A. (1992). *Processamento de Imagens Digitais.* Instituto de Geociencias, Universidade Estadual de Campinas.

- ✓ Duke, N. C., Meynecke, J. O., Dittmann, S., Ellison, A. M., Anger, K., Berger, U., & Koedam, N. (2007). A world without mangroves? *Science*, 317(5834), 41-42.

- ✓ Durán, G. B. (2014). Correção Geométrica Automática de Imagens de Satélite: Uma Contribuição nos Estudos Urbanos. s.l., VII Congresso brasileiro de geográfos.

- ✓ Ellison, J. C., Farnsworth, E. J., & Mackenzie, J. R. (2015). *Vulnerability Of Mangroves to climate Change*. Aquatic Botany, 127, 74–90.

- ✓ FAO, F. A. (2007). *The World's Mangroves 1980-2005. 153 ed. Rome: FAO Forestry Paper.*

- ✓ Fatoyinbo L., & Simard M. (2013). *Height and Biomass of Mangroves in Africa From ICESat/GLAS and SRTM. International Journal of Remote Sensing,* 34(2): 668-681.
- ✓ Fatoyinbo, T., Simard , M., Washington-Allen, R., & Shugart, H. (2008). *Landscape-scale extent, height, biomass, and carbon estimation of Mozambique's mangrove forests with Landsat ETM+ and Shuttle Radar Topography Mission elevation data.* pag 1.
- ✓ Florenzano, T. (2002). *Imagens de Satélite para Estudos Ambientais.* São Paulo: Oficina.
- ✓ Florenzano, T. (2008). *Os Satélites e Suas Aplicações*. São José dos Campos - SP: SindCT.
- ✓ INPE, I. N.-B. (2006). Tutorial do SPRING. São José dos Campos: s.n. .
- ✓ LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical data.. s.l.:Biometrics.
- ✓ Luis, A. A. (2011). *Aplicação Dos Sistemas De Informação Geográfica E Detecção Remota No Monitoramento Do Mangal,*. Universidade Católica de Moçambique, Dissertaçao de Mestrado, Beira. 70 p. .
- ✓ MAE. (2014). Perfil do Distrito de Mecufi - Província de Inhambane. 2014 ed. Maputo – Moçambique: Copyright © 2012Ministério da Administração Estatal. Direcção Nacional de Administração Local.
- ✓ Maio, A. D. (2008). Sensoriamentro Remoto. s.l.:s.n. .
- ✓ Macamo, I. (2018). *Dinamica dos Ecossistemas Costeiros de Mocambique*. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane.
- ✓ Mandlate, L. C. (2013). *Mangal da Baia de Sofala: Caracterização Ecologica e Estimativa de Carbono Sequestrado,Maputo, Faculdade de Agronomia e Engenharia florestal.* Universidade Eduardo Mondlane, Dissertação de Mestrado. 89 P.
- ✓ McFeeters, S. (1996). *The Use of the Normal Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features*. International Journal of Remote Sensing, 17, 7, 1425-1432.
- ✓ Meneses, P. R. & Almeida, T. d. (2012). Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. BRASÍLIA: s.n.
- ✓ MICOA, M. P. (2010). *Avaliação dos Níveis de Corte, Composição Específica e Regeneração Natural de Mangal no Norte Xai-Xai: de Moçambique. s.n.* .

- ✓ MICOA, M. P. (2012). *Panfleto de Mangal. s.l., s.n., p. 2.*
- ✓ MITADER, M. D. (2015). *Estratégia e Plano de Acção Nacional para Restauração de Mangal (2015 - 2020). s.l.:s.n.*
- ✓ Moreira, M. A. (2001). *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. 1 ed. São José dos Compos-SP: s.n. .
- ✓ Moxon, S. d. (2021). *Mapping MangroveFforests: Processing and Visualization of Multi-sensor Earth Observation Data for the Colombian Pacific oast.* PhD Thesis. Palacký University Olomouc.
- ✓ Novo, E. M. L. d. M. & Ponzoni, F. J., (2001). *Introdução ao Sensoriamento Remoto.* São José dos Campos: s.n.
- ✓ Novo, E. M. L. d. M (2010). *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 3. ed. São Paulo: Blucher.
- ✓ Pina, M. d. F. d. & Santos., S. M. (2000). *Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde.* 20 ed. Brasília: s.n.
- ✓ Peel, M.C., Finlayson, B.L.& McMahon, T.A.(2007). *Updated World Map of the Koppen-Geiger Climate Classification Hydrology and Earth System Sciences,* 11(5), 1633-1644
- ✓ Ribeiro, N., Sitoe, A. A., Guedes, B. S. e Staiss , C. (2002). *Manual de Silvicultura Tropical.* Maputo.
- ✓ Saket, M. e R.M. Matusse. . (1994). *Estudo da Determinação da Taxa de Desflorestamento da Vegetação de Mangal em Moçambique.* FAO/PNUD, Moz/92/013. Maputo: Unidade de inventário florestal (DNFFB), Ministério da Agricultura.
- ✓ Schaeffer, & Novelli, y. (1995). *Mangal: Ecossistema Entre a Terra e o Mar. Caribbean Ecological Research, São Paulo*, 64p.
- ✓ Seabra, V. d. S. & Cruz, C. M. (2013). *Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São João*, RJ. pp. 412-426.
- ✓ Semesi, A. (1997). *Mangroves. In Richmond, MD (1997). A guide to the seashores of Eastern Africa and the Western Indian Ocean Islands.* SAREC. 204-211pp.

- ✓ Shiratsuchi, S. L. (2014). *Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: p. 58-73 ed. Brasília: Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*, pp. 58-73.
- ✓ Shugart, H. e. (2008). *Changes in Mangrove Forest Cover in Sofala Province , Mozambique: A Remote Sensing Analysis*. *Journal of Tropical Ecology* 23, 345-356.
- ✓ Silva, R. d. S. & Paes, Â. T. (2012). *Teste de Concordância Kappa*. Educ Contin Saúde einstein.
- ✓ Tucker, C. (1979). *Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vgetation.Remote Sensing of Environment.* 127-150.
- ✓ UNEP. (2007). *Mangroves of Western and Central Africa.* 26 ed. United Kingdom: UNEPWCMC Biodiversity.
- ✓ Valiela I, Bowen JL, York JK. (2001). *Mangrove Forests: One of the world's threatened major tropical environments. BioScience* 51(10): 807-815.
- ✓ Zanetti, J., Gripp, J. S., Ferreira, I. O. & Medeiros, N. d. G. (2015). Análise Crítica da Evolução do Satélite Landsat. s.l.:I Seminário Científico da FACIG.