



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Ciências de Informação Geográfica

**Mapeamento da Evolução do Uso e Ocupação do Solo com
Recurso ao Geoprocessamento
Caso de Estudo: Distrito de Boane**

Autora: Tânia José Oliveira Tivane

Maputo, Julho de 2024



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Ciências de Informação Geográfica

Mapeamento da Evolução do Uso e Ocupação do Solo com
Recurso ao Geoprocessamento
Caso de Estudo: Distrito de Boane

Autora: Tânia José Oliveira Tivane

Supervisor: Mestre Israel Marcos Matavele, UEM

Maputo, Julho de 2024

Dedicatória

Em memória dos meus pais José Oliveira Tivane e Helena Quinhenta Tivane

Declaração de Honra

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

Maputo, Julho de 2024

(Tânia José Oliveira Tivane)

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a DEUS pela vida, por me guiar e pela força que me concedeu para realização deste trabalho. Em especial e segundo lugar agradeço aos meus irmãos, Oliveira José Tivane, Rosa Maria José Oliveira Tivane, Moisés José Oliveira Tivane e os sobrinhos por me suportarem e estar perto de mim sempre que precisei.

Ao meu supervisor Mestre Israel Matavele pela motivação tempo e dedicação em orientar e supervisionar o meu trabalho de Licenciatura.

Ao director do curso Mestre Márcio Mathe pela oportunidade de participar na Formação em Computação de Alto Desempenho (HPC – High Performance Computing) foi uma experiência ímpar.

Ao docente Mestre Stélio Mabutana pela metodologia de ensino que me fez apreciar a Cartografia e olhar pra o curso com mais brilho. Agradecer também aos meus professores pela paciência e transmissão do conhecimento durante todo este período de curso.

As minhas amigas, Angelina Timane, Júlia Machanguana, Ofélia Joaquim, por todo apoio e principalmente estarem perto de mim nos momentos mais difíceis vividos durante o período do curso me dando forças para lutar. Ao meu amigo da adolescência Adérito Nandja por me fazer manter a cabeça erguida e não me deixar desistir em todos os momentos que pensei em desistir do curso.

Os meus amigos, colegas da faculdade, Agostinho Langa, Baptista Guivala, Karen Muando, Lizete Nhaca, Nelson Chilombe, Stélio Matsinhe e Xavier Nhantumbo, por puxar a minha orelha sempre que precisei, pelo apoio nas dificuldades com as quais me deparei e por acreditarem em mim. E a todos aqueles que contribuíram directo ou indirectamente para a realização deste trabalho.

A toda equipe do Departamento de Matemática e Informática.

MUITO OBRIGADO

Resumo

O conhecimento do uso e ocupação do solo de uma determinada área é essencial pois as informações daqui adquiridas contribuem na gestão do território e desenvolvimento do meio ambiente. O mapeamento é um método frequentemente adoptado para evidenciar padrões de uso e ocupação do solo. O presente trabalho tem como principal objectivo mapear a evolução do uso e ocupação do solo com recurso as ferramentas de geoprocessamento no distrito de Boane. Para alcançar esse objectivo em uma primeira fase foi seleccionada a área de estudo o distrito de Boane e de seguida foram obtidas imagens do sensor Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, com uma resolução espacial 30 metros e uma resolução temporal de 16 dias, tendo datas 06 de Junho de 2001, 09 de Abril de 2011 para o Landsat 5 TM e 29 de Maio de 2021 para o Landsat 8 OLI, totalizando três imagens. Foi feito o pré – processamento das imagens, classificação supervisionada pelo algoritmo máxima verossimilhança através do *software* QGIS 3.28.2. Para a validação da classificação foi usado o índice Kappa que teve como resultado 0.81395 (Excelente), 0.86342 (Excelente) e 0.88022 (Excelente) de acurácia para as as imagens de 2001, 2011 e 2021 respectivamente, o que significa que mais de 80 % dos *pixels* foram classificados correctamente. Os resultados da classificação apresentaram uma boa precisão em relação a realidade mostrando uma boa eficiência no uso das tecnologias de geoprocessamento na colecta e tratamento de informações espaciais.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Uso e Ocupação do Solo, Mapeamento, Landsat.

Abreviaturas

CENACARTA	Centro Nacional de Cartografia e Teledeteccção
DR	Detecção Remota
DDADR	Direcção Distrital de Agricultura e Desenvolvimento Rural
DINAGECA	Direcção Nacional de Geografia e Cadastro
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
GDB	Governo do Distrito de Boane
Landsat	Land Satellite
MaxVer	Máxima Verossimilhança
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OLI	Operational Land Imager
PSAA	Pequenos Sistemas de Abastecimento de Água
PIB	Produto Interno Bruto
REM	Radiação Eletromagnética
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TM	Thematic Mapper
USGS	United States Geological Survey
UTM	Mercator Transversal Universal
WGS	<i>World Geodetic System</i>

Índice

Dedicatória.....	i
Declaração de Honra.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iii
Abreviaturas.....	v
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Definição do problema.....	2
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Relevância.....	3
1.5. Objectivos.....	4
1.5.1. Objectivo Geral.....	4
1.5.2. Objectivos Específicos.....	4
1.6. Localização Geográfica da Área de Estudo.....	4
1.7. Características físicas da área de estudo.....	6
1.7.1. Divisão administrativa.....	6
1.7.2. Clima e Hidrografia.....	6
1.7.3. Relevo e Solos.....	6
1.7.4. Densidade Populacional.....	7
1.7.5. Infra - estruturas e Serviços.....	7
1.7.6. Economia.....	7
Revisão de Literatura.....	9
2.1. Uso e Ocupação do Solo.....	9

2.2.	Detecção Remota.....	9
2.2.1.	Detecção Remota como Sistema de Aquisição de Informações.....	10
2.2.2.	Espectro Electromagnético	11
2.2.3.	Resolução de Imagens	12
2.3.	Satélite	14
2.3.1.	Satélite Landsat	14
2.4.	Processamento digital de imagens.....	16
2.4.1.	Pré processamento das imagens.....	16
2.4.2.	Processamento	18
2.4.3.	Pós – processamento	21
2.5.	Sistemas de Informação Geográfica	23
2.5.1.	Características dos sistemas de Informação Geográfica.....	24
2.6.	Geoprocessamento	24
2.6.1.	Tipos de dados em Geoprocessamento.....	24
2.6.2.	Principais Aplicações do Geoprocessamento.....	25
	Material e Métodos	26
3.1.	Material	26
3.2.	Métodos.....	27
3.2.1.	Pré – processamento.....	28
3.2.2.	Processamento	29
3.2.3.	Pós – processamento	29
3.2.4.	Quantificação de Áreas de Uso e Ocupação do Solo.....	30
3.2.5.	Detecção de Mudanças de Uso e Ocupação do Solo.....	30
3.2.6.	Evolução do Uso e Ocupação do Solo.....	30
3.3.	Fluxograma Metodológico	31
	Resultados e Discussão	32
4.1.	Mapas de Uso e Ocupação do Solo	32
4.1.1.	Quantificação das Classes de uso e Cobertura entre 2001, 2011 e 2021.....	33

4.2.	Análise Comparativa das Classes de Uso e Ocupação	35
4.2.1.	Comparação das Classes de Uso e Ocupação entre 2001 - 2011	35
4.2.2.	Comparação das Classes de Uso e Ocupação entre 2011 e 2021.....	36
4.2.3.	Comparação das Classes de Uso e Ocupação entre 2001 e 2021	37
4.3.	Detecção de Mudanças de Uso e Ocupação do Solo.....	37
4.3.1.	Mudanças de uso e ocupação do solo entre 2001 – 2011	37
4.3.2.	Mudança do uso e ocupação do solo entre 2011 – 2021	38
4.3.3.	Mudança do uso e ocupação do solo entre 2001 – 2021	39
4.3.4.	Mapa de mudança de uso e Ocupação do solo de 2001 - 2021.....	39
	Conclusões e Recomendações	41
5.1.	Conclusões	41
5.2.	Recomendações.....	41
	Referências Bibliográficas.....	42
	Anexos:	46
	Anexo 2:.....	48

Lista de Figuras

Figura 1 - Mapa de Localização geográfica do distrito de Boane.....	5
Figura 2 - Modelo Físico de Detecção Remota.....	10
Figura 3 - Espectro eletromagnético.....	11
Figura 4 - Tipos de Classificadores estatísticos mais conhecidos	20
Figura 5 - Fluxograma metodológico.....	31
Figura 6 - Mapas de Uso e Ocupação do Solo em 2001, 2011 e 2021.....	32
Figura 7 - Representação gráfica das Classes de Uso e Ocupação do solo em 2001, 2011 e 2021	34
Figura 8 - Representação gráfica das mudanças de Uso e Ocupação do solo entre 2001 -2011.....	38
Figura 9 - Representação gráfica das mudanças de Uso e Ocupação do solo entre 2011 -2021.....	38
Figura 10 - Representação gráfica das mudanças de Uso e Ocupação do Solo entre 2001 - 2021	39
Figura 11 - Mapa de mudanças de Uso e Ocupação do solo de 2001 -2021.....	40
Figura 12 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 2001.....	48
Figura 13 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 2011.....	49
Figura 14 - Mapa de Uso e Ocupação do solo de 2021	50
Figura 15 - Mapa de mudanças de Uso e Ocupação do solo de 2001 -2021	51

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Zonas do espectro eletromagnético utilizadas em Detecção remota	12
Tabela 2 - Características do sensor TM (Thematic Mapper).....	15
Tabela 3 - Características do sensor OLI (Operational Land Imager).....	15
Tabela 4 - Parâmetros do índice Kappa para avaliação da qualidade da classificação.....	23
Tabela 5 - Características resumidas dos dados	26
Tabela 6 - Programas computacionais usados.....	27
Tabela 7 - Resultados do índice Kappa	30
Tabela 8 - Classes de Uso e Ocupação do Solo do distrito de Boane de 2001, 2011 e 2021 e as respectivas áreas	34
Tabela 9 - Resumo da Exatidão geral do utilizador e produtor por Classe de Uso e Ocupação do Solo dos anos 2001, 2011 e 2021.....	35
Tabela 10 - Evolução das Classes de Uso e Ocupação do Solo entre 2001 - 2011.....	36
Tabela 11 - Evolução das Classes de Uso e Ocupação do Solo entre 2011 - 2021	36
Tabela 12 - Evolução das Classes de Uso e Ocupação do Solo entre 2011 - 2021.....	37
Tabela 13 - Matriz de erro para Uso e Ocupação do Solo de 2001	46
Tabela 14 - Matriz de erro para Uso e Ocupação do Solo de 2011	46
Tabela 15 - Matriz de erro para Uso e Ocupação do Solo de 2021	47

Introdução

Para melhor enquadramento do leitor ao conteúdo abordado nos capítulos seguintes, em seguida está apresentado de forma resumida a análise do contexto da investigação, a formulação do problema, os objetivos e a descrição da área de estudo.

1.1. Contextualização

A gestão do território e a forma de uso do solo tem grande impacto sobre os ecossistemas e os recursos naturais incluindo a água e o solo. A informação sobre o uso da terra pode ser usada para desenvolver soluções para a gestão de problemas relacionados a recursos naturais, como por exemplo qualidade da água (Marchett e Garcia, 1989).

O uso inadequado do solo provoca problemas ambientais, tais como, o comprometimento de fontes de água, degradação de habitats naturais, erosão, enchentes e degradação do solo. Estes estão directamente ligados a uma má gestão do espaço, que por estar desprovido de algum critério técnico ou projecto ambiental, tal como o parcelamento do espaço, não respeitam a capacidade de suporte da natureza (Fernandes, 2006).

O uso do solo é a forma como as características biofísicas do solo são manipuladas e alteradas em função do uso que o Homem pretende dar ao solo, quer seja para produções agrícolas, pecuárias, zonas urbanas, recreio ou para extração e processamento de materiais (Meyer e Turner, 1996).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm ferramentas altamente sofisticadas para lidar com todo o tipo de informação espacialmente referenciada (Lira *et al.*, 2016).

O mapeamento de informações é frequentemente adoptado para evidenciar padrões de uso e ocupação do solo. Os dados gerados no mapeamento do uso e ocupação da terra são indispensáveis nas práticas de planeamento e gestão ambiental do município em diferentes escalas, auxiliando as tomadas de decisões para o ordenamento territorial, visto que esses dados retratam as atividades humanas que podem influenciar negativamente os elementos naturais (Santos, 2004).

Neste trabalho, serão executadas as digitalizações dos dados classificados em um *software* e construídos mapas temáticos para mapear o uso e ocupação do solo, que através destes será feita uma análise sobre a evolução do uso e ocupação do solo que poderá contribuir para tomada de decisão para gestão e outros assuntos ligados a área de estudo.

1.2. Definição do problema

Segundo o GDB (2016) o distrito de Boane enfrenta grandes desafios de integração de todos níveis da sociedade e dos vários actores e parceiros na exploração sustentável dos seus recursos naturais (terra arável, bacias hidrográficas e minérios), por forma a combater a pobreza, as desigualdades sociais e promover o desenvolvimento económico e social do distrito.

A falta de conhecimento sobre o uso e ocupação do solo de uma região tem levado a população ao uso inadequado do solo que tem gerado diversos problemas tanto para região assim como para a sociedade.

No distrito de Boane algumas construções são implantadas em zonas que obstruem as linhas naturais de escoamento de águas pluviais sem observância dos Instrumentos de Ordenamento Territorial o que leva a inundações, estagnação de água em residências criando danos materiais e focos de doenças (GDB, 2016).

De acordo com um técnico que trabalha numa das instituições de gestão de terra em Boane, os mapas actuais de uso e ocupação do solo não estão actualizados, sendo que, na maioria das vezes, os Serviços Distritais de Cadastro usam mapas dos anos passados, que não refletem a situação actual de ocupação do solo em Boane (OMR, 2022).

Diante da situação surge a questão sobre como o mapeamento da evolução do uso e ocupação do solo com recurso as ferramentas de geoprocessamento poderá contribuir no distrito de Boane.

1.3. Justificativa

O mapeamento do uso do solo em uma determinada região é importante pela necessidade de compreender a organização do espaço e suas mudanças, uma vez que o meio ambiente sofre transformações causadas pelos processos naturais pela acção humana (Caetano, 2002). O estudo do uso e ocupação do solo é muito importante para qualquer processo de planeamento e ordenamento do Território.

O distrito de Boane é rico em recursos hídricos e possui um alto potencial agrícola, esta condição faz com este seja atractivo para pessoas singulares ou colectivas que têm o intuito de investir em actividades comerciais e edificação de moradias para habitação (MAE, 2014).

Segundo Coppin *et al.* (2004) Fenómenos naturais de sucessão podem demandar um distanciamento de décadas entre uma imagem e outra, ás épocas de aquisição, a importância delas está directamente relacionada à minoração das diferenças na iluminação da cena e dos factores fenológicos que afligem a vegetação, consoantes à variação do clima regional. Nesta perspectiva procedeu – se a escolha tema

tendo as imagens distanciamento de 10 anos adquiridas na época seca como forma trazer informações actualizadas do uso e ocupação do solo da área de estudo.

1.4. Relevância

O solo é um recurso natural de alta importância social, económica e ambiental (Santana e Araújo, 2017). Constitui um desafio para o homem concentrar esforços e recursos para preservar e recuperar as áreas naturais como forma de conservar o meio ambiente (Sartori *et al.*, 2009).

O crescente interesse sobre uso e ocupação do solo desperta interesse em toda a sociedade, pois além de monitorar os possíveis impactos ambientais, pode-se acompanhar o desenvolvimento sócio-económico de um local, tanto em escala local como também em escala regional ou até mesmo global (Montebelo *et al.*, 2005).

Os dados gerados no mapeamento do uso e ocupação do solo são indispensáveis nas práticas de planeamento e gestão ambiental do município em diferentes escalas, auxiliando as tomadas de decisões para o ordenamento territorial (Santos, 2004).

O distrito de Boane tem se verificado um elevado crescimento populacional que o modificam e provocam desequilíbrios na região que levam à procura de novos equilíbrios que originam um maior desenvolvimento socioeconómico.

Tendo em conta a situação económica do País a presente pesquisa é de grande relevância social, económica, ambiental e científica. No âmbito social contribuirá para o combate a desigualdade social, no âmbito ambiental contribuirá para conservação da paisagem, no âmbito económico conservação da natureza, suas Infra-estruturas, no âmbito científico servirá como um ponto de partida para novas pesquisas.

1.5. Objectivos

1.5.1. Objectivo Geral

Mapear a Evolução do uso e ocupação do solo com recurso as ferramentas de geoprocessamento no distrito de Boane.

1.5.2. Objectivos Específicos

- Efectuar classificação Supervisionada pelo método Maxima Verossimilhança;
- Produzir mapa de uso e ocupação do solo para os anos de 2001, 2011 e 2021;
- Quantificar as classes do uso e ocupação do solo de 2001- 2021;
- Fazer uma análise comparativa das mudanças do uso e Ocupação do solo;
- Produzir mapa de mudança de uso e ocupação do solo do distrito de Boane de 2001 - 2021.

1.6. Localização Geográfica da Área de Estudo

O Distrito de Boane está localizado no sudoeste da Província de Maputo aproximadamente entre as latitudes 25° 46' 36" Sul e 26° 15' 42" Sul e Longitudes 32° 10' 36" Este e 32° 30' 42" Este sendo limitado a Norte pelo Distrito de Moamba, a Sul e Este pelo Distrito da Namaacha, e a Oeste pela Cidade da Matola e pelo Distrito de Matutuine (MAE, 2014).

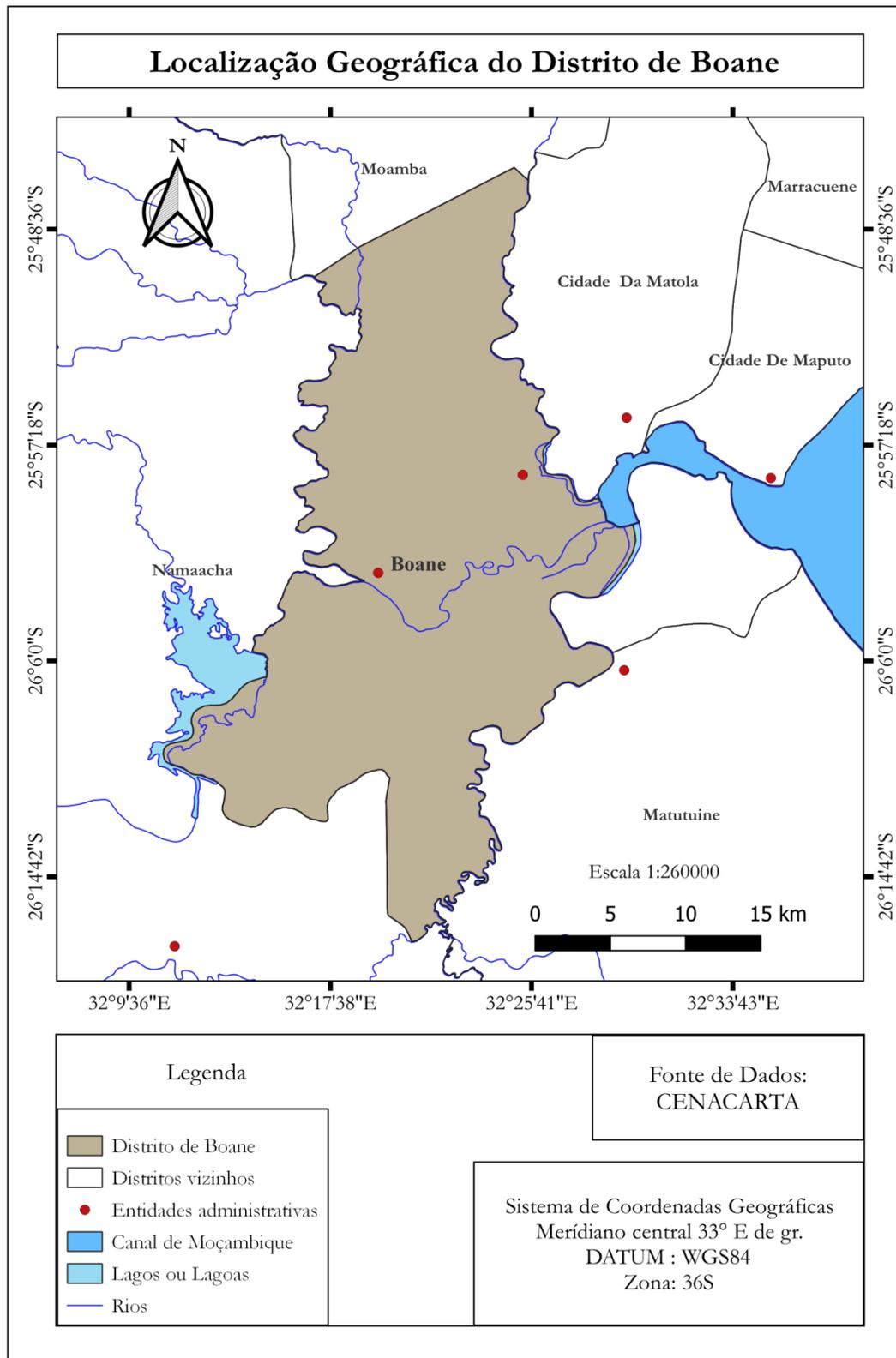


Figura 1 - Mapa de Localização geográfica do distrito de Boane

1.7. Características físicas da área de estudo

1.7.1. Divisão administrativa

O Distrito de Boane está repartido em dois Postos Administrativos, nomeadamente Boane Sede e Matola Rio. O Posto Administrativo de Boane Sede, com uma extensão territorial, de 597 Km², é composto 33 povoações/bairros/aldeias sendo 19 na Localidade de Gueguegue e 14 na Localidade de Eduardo Mondlane. O Posto Administrativo da Matola-Rio, com uma extensão de 223 Km² é composto por 11 povoações/bairros/aldeias, 6 na Localidade de Matola-Rio Sede e 5 na Localidade de Mulotana (GDB, 2016).

1.7.2. Clima e Hidrografia

O clima da região é sub-húmido e com deficiência de chuva na estação fria, caracterizado por alternância entre as condições secas, induzidas pela alta pressão sub-continental e as incursões dos ventos húmidos do oceano. A temperatura média anual é de 23.7 °C verificando-se que os meses mais frios são Junho e Julho e os mais quentes Janeiro e Fevereiro. A amplitude térmica anual é 8.8°C (MAE, 2014).

O Distrito de Boane é rico em recursos hídricos, sendo grande parte dos quais pertencentes as bacias hidrográficas dos rios Umbelúzi, Tembe e Matola. Destes o mais importante é o rio Umbelúzi que nasce na Swazilândia e após 70km de percurso desemboca no estuário de Espírito Santo onde igualmente têm a sua foz os rios Tembe e Matola (GDB, 2016).

1.7.3. Relevo e Solos

O vale de Umbeluzi possui solos com bom pontêncial agrícola e pecuário, que são explorados por um vasto tecido de agricultura privada e familiar. A zona sul é coberta de rede de rios, beneficia de regadios e baixas húmidas e é apta para hortícolas, bananas e citrinos. A zona norte o pontêncial existente é mais apropriado para o cajueiro e avicultura, beneficiando a população de pequenos negócios que o rápido desenvolvimento sócio económico da região proporciona (MAE, 2014).

O relevo do Distrito é caracterizado, em geral, por uma paisagem levemente ondulada e sem grandes diferenças de altitude. No entanto, a parte Norte, Este e Sudoeste apresenta uma paisagem com pequenas diferenças de nível, formando-se uma verdadeira planície, enquanto a Sul e Oeste é caracterizado por uma variação gradual de altitudes que se estende até a cadeia dos Pequenos Libombos, no limite com o Distrito de Namaacha (GDB, 2016).

1.7.4. Densidade Populacional

Segundo o INE (2020), o distrito de Boane tem uma superfície de 820 km² e a população estimada em 244.384 habitantes e 298 ha/km².

1.7.5. Infra - estruturas e Serviços

O distrito é atravessado pela EN2 que faculta a comunicação com a cidade de Maputo. Uma estrada regional: Boane –Goba em bom estado; outras estradas Secundárias e terciárias e pequenas pontes, num total de 72 Km, e em condições que requerem maior manutenção (MAE, 2014).

Possui 62 escolas (das quais 32 ensino primário nível 1), e está servido por 17 unidades sanitárias, incluindo um hospital Distrital, que possibilitam acesso progressivo da população aos serviços de Sistema Nacional de Saúde (MAE, 2014).

O Distrito é servido por uma rede de telecomunicações fixa e três móveis, existindo também uma delegação de Correios de Moçambique, e é coberto por 3 subestações de energia que garantem abastecimento à Mozal e a cerca de 2 mil consumidores domésticos e industriais (MAE, 2014).

A taxa de cobertura do Distrito é de 47.6 % para água rural e 69.19% para água urbana. As fontes dispersas são no total 74, das quais 47 operacionais e 27 inoperacionais. Para além destas infra-estruturas, existe um grande sistema de abastecimento de água, sob gestão da empresa Águas da Região de Maputo que fornece água ao distrito de Boane e Matola. O distrito conta também com 5 Pequenos Sistemas de Abastecimento de Água (PSAA). Desses pequenos sistemas 1 está inoperacional (GDB, 2016).

Pelo distrito passa a linha férrea que liga a cidade de Maputo e Goba que tem sido aproveitada para o transporte de passageiros e cargas para vários pontos do distrito e para exportação através do porto de Maputo (GDB, 2016).

1.7.6. Economia

A agricultura é a base da economia distrital, tendo como principais culturas as hortícolas, milho, mandioca, banana, feijão e citrinos. As espécies de gado predominante são bovinos e aves, destinado para consumo familiar e comercialização (MAE, 2014).

A partir dos finais da década 90, o distrito de Boane registou grandes projectos de impacto nacional sendo referência de grande destaque a construção da Indústria de fundição de Alumínio Mozal, polo de atrações de outras empresas e indústrias nacionais e estrangeiras que tem afluído ao Parque Industrial de Beluluane (MAE, 2014).

A auto estrada Maputo – Witbank (na África do Sul) que atravessa o posto administrativo de Matola-Rio, é um contributo importante para o desenvolvimento da região e em consequência, para redução do desemprego. O produto interno bruto do distrito (excluindo a produção da MOZAL) foi estimado em 308 milhões de contos no ano de 2003, o que corresponde a um PIB per Capita de 3.870 contos, isto é, USD 163. Considerando a Mozal, o PIB per capita sobe para \$SD 1.354, posicionando o distrito como um *outlier* no quadro da economia do país e da região (MAE, 2014).

O distrito de Boane possui seis jazigos de areias e uma pedreira, fontes importantes para o aprovisionamento do sector de construção da província e cidade de Maputo, conta também com um total de 78 unidades industriais (MAE, 2014).

Revisão de Literatura

Os principais conceitos abordados neste capítulo são Detecção Remota, Sistemas de Informação Geográfica e Geoprocessamento. Com base no entendimento destes conceitos e aplicação foi possível o alcance do objectivo geral do trabalho.

2.1. Uso e Ocupação do Solo

O uso e ocupação do solo são duas áreas distintas na prática possuem finalidades distintas. Segundo Jesen (2011) o termo “uso” do solo refere-se ao modo como determinada região é utilizada pelos seres humanos, enquanto a “ocupação”, ou cobertura do solo, refere-se aos materiais biofísicos encontrados sobre a superfície terrestre.

As informações sobre a ocupação do solo são utilizadas para o desenvolvimento de modelos físicos ambientais enquanto as informações sobre o uso do solo são essenciais para fins de política e planeamento (Comber *et al.*, 2008).

Um único uso do solo pode corresponder apenas a uma única classe de ocupação do solo, como por exemplo o pastoreio de pastagens não melhoradas. Por outro lado, um sistema único de uso do solo pode envolver a gestão de diversas ocupações distintas como ocorre em certos sistemas agrícolas, que combinam solos cultivados, floresta e pastagens (Meyer e Turner, 1996).

2.2. Detecção Remota

Detecção remota pode ser definida como uma aquisição de informações sobre um determinado objecto encontrado sobre a superfície terrestre, a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra directamente ou em contacto físico com ele (Novo, 2008).

Detecção remota é o processo de aquisição de informação de objectos, áreas ou fenómenos, sobre ou próximos da superfície terrestre, por um sensor de radiação electromagnética colocado acima desta superfície (Sampaio, 2007).

A detecção remota é uma das principais ferramentas para detecção de mudanças de uso e ocupação do solo, por fornecer um grande volume de dados para análise de fracções consideráveis do território (Peres, 2016). Para que as mudanças sejam detectadas é necessário que se faça uma comparação de imagens satélite de um mesmo lugar adquiridas em períodos diferentes.

2.2.1. Detecção Remota como Sistema de Aquisição de Informações

A aquisição de informação é feita através do registo da energia reflectida ou emitida (sob a forma de radiação eletromagnética) pelo objecto a detectar. Os dados brutos assim obtidos são depois processados e analisados para extrair informação de interesse sobre o objecto a detectar (Sousa e Silva, 2011). Isto é exemplificado pelos sistemas de aquisição de imagens, onde estão envolvidos os seguintes sete elementos:

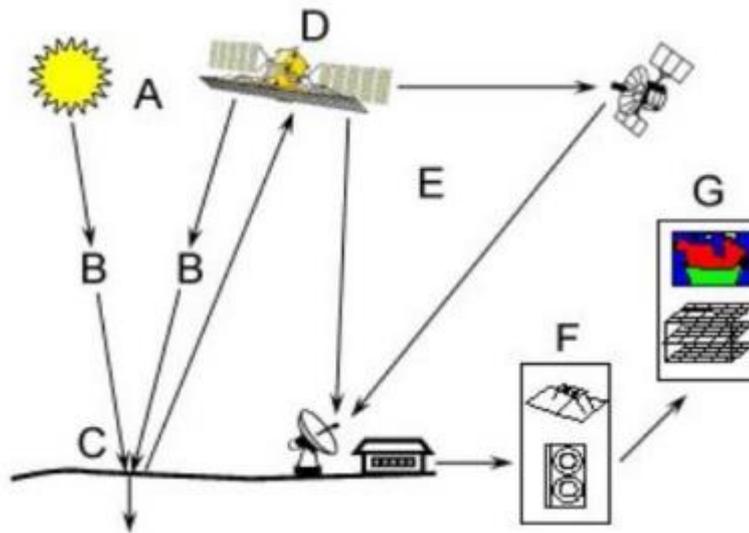


Figura 2 - Modelo Físico de Detecção Remota.

Fonte: (Sousa e Silva, 2011).

Legenda:

A - Fonte de energia ou iluminação;

B - Radiação e atmosfera;

C - Interação da radiação com os objectos;

D - Gravação da energia pelo sensor;

E - Transmissão, recepção e processamento de dados do Satélite;

F - Interpretação e análise;

G - Aplicação.

2.2.2. Espectro Electromagnético

A energia electromagnética pode ser ordenada continuamente em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo assim denominada de espectro electromagnético (Moraes, 2002).

O espectro varia desde as radiações gama com comprimentos de onda da ordem de $10^{-6} \mu\text{m}$, até as ondas de rádio da ordem de 100 m (Figueiredo, 2005).

A distribuição da intensidade da radiação electromagnética em todo o seu intervalo, com relação ao seu comprimento de onda ou frequência é denominado espectro electromagnético (Sousa e Silva, 2011).

Espectro electromagnético são as regiões espectrais da REM conhecidas pelo homem. O espectro electromagnético conhecido estende-se dos comprimentos de onda dos raios cósmicos aos comprimentos de corrente alternada emitidos pelas redes de alta tensão (Meneses e Almeida, 2012). Este está dividido em intervalos de comprimentos de onda e a nomenclatura de cada intervalo é feita em função do uso encontrado para as suas aplicações. O olho humano é capaz de detectar a faixa de luz visível da radiação solar.

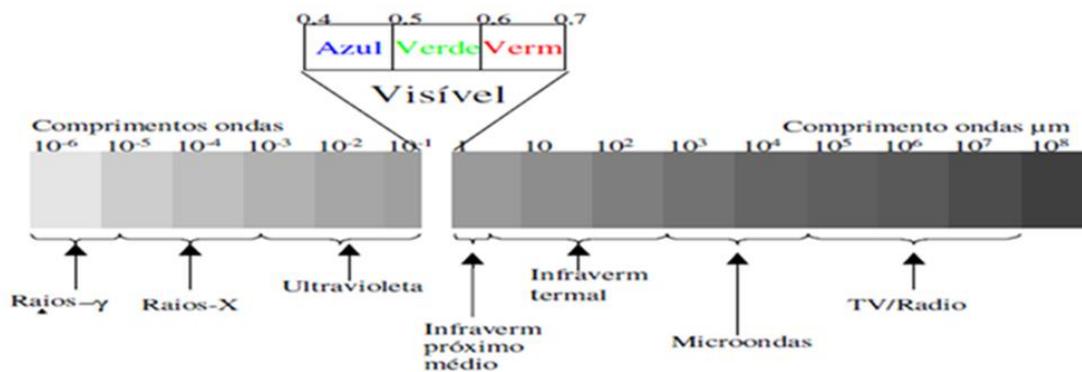


Figura 3 - Espectro eletromagnético

Fonte: (Figueiredo, 2005)

Tabela 1 - Zonas do espectro eletromagnético utilizadas em Detecção remota

Zona do Espectro		Intervalo do comprimento de Onda
Ultravioleta		0,30 – 0,38 μ m
Visível	Azul	0,42 - 0,49 μ m
	Verde	0,49 – 0,58 μ m
	Vermelho	0,58 – 0,70 μ m
Infravermelho	IV próximo (IVP)	0,70 – 1,30 μ m
	IV médio (IVM)	1,30 – 3 μ m
	IV térmico (IVT)	> 3 μ m
Microondas		1mm – 1m

Fonte: Adaptado por Sousa e Silva (2011).

2.2.3. Resolução de Imagens

O termo resolução pode-se definir como uma medida de capacidade do sistema óptico para distinguir sinais de proximidade espacial e similaridade espectral (Sousa e Silva, 2011).

Segundo Meneses e Almeida (2012) a detecção ou identificação de um objecto nas imagens de Detecção Remota é determinada por quatro diferentes formas de medições:

- Área do campo de visada do sensor;
- Comprimento de onda das bandas;
- Valores numéricos da medida da radiância do alvo;
- Data em que a imagem foi tomada.

Essas formas de medidas em termos de resoluções são denominadas de resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal.

2.2.3.1. Resolução Espacial

Segundo Morais (2002) a resolução espacial representa a capacidade do sensor distinguir objectos. Entretanto, de acordo com Novo (2012), a resolução espacial determina o tamanho do menor objecto que pode ser identificado em uma imagem. Por definição, um objecto só pode ser detectado, quando o tamanho deste é, no mínimo, igual ou maior do que o tamanho do elemento de resolução no terreno, ou seja, da resolução espacial.

A resolução espacial refere-se à área de terreno observada por um radiómetro, em cada instante e define a distância mínima entre dois objectos que um sensor consegue registar distintamente (Sousa e Silva, 2011).

2.2.3.2. Resolução Espectral

A resolução espectral consiste no número e a largura de bandas, crescendo com o aumento deste número e estreitamento das bandas espectrais (Filho, 2000).

A resolução espectral é a extensão das bandas espectrais usadas: quanto mais estreita for a banda melhor a resolução espectral (Sousa e Silva, 2011).

Segundo Meneses e Almeida (2012) a resolução espectral envolve três parâmetros: Número de bandas que o sensor possui; Largura em comprimento de onda das bandas; Posições que as bandas estão situadas no espectro electromagnético.

Este tipo de resolução indica o número e largura dos intervalos do espectro electromagnético em que é feita a aquisição de imagens pelo sensor. Quanto mais estreitos e numerosos os intervalos, maior é a resolução espectral, sendo assim mais fácil distinguir objectos registados nas imagens.

2.2.3.3. Resolução Radiométrica

A resolução radiométrica corresponde ao nível de quantização da radiação eletromagnética, ou quantidade de níveis cinza detectados pelo sensor (Filho, 2000).

Segundo Sousa e Silva (2011) a resolução radiométrica descreve a capacidade do sensor para detectar pequenas variações de energia, ou seja, o número de níveis distintos, ou discretos, em que um sinal pode ser dividido.

Resolução radiométrica define o número de níveis de radiância que o detector pode discriminar (Meneses e Almeida, 2012). As imagens contam com 256 níveis de cinza (8 bits), os *pixels* assumem valores de 0 (preto) até 255 (branco).

2.2.3.4. Resolução Temporal

A resolução temporal de um sistema de detecção remota consiste no período de tempo decorrido entre duas observações consecutivas do mesmo local (Sousa e Silva, 2011).

Segundo Meneses e Almeida (2012) a resolução temporal é a frequência que o sensor revisita uma área e obtém imagens periódicas em sua vida útil.

A resolução temporal corresponde à frequência da observação, ou $1/t$, sendo t - intervalo decorrido entre duas imagens sucessivas de uma mesma região (Filho, 2000). A resolução temporal é fundamental para detectar a evolução ou mudanças que ocorrem na Terra, principalmente para alvos, como culturas, desmatamentos, desastres ambientais, tendo forte impacto na monitoração ambiental.

2.3. Satélite

Um satélite é qualquer objecto que gira em torno de outro de maiores dimensões, quer seja natural ou artificial (Ferrão, 2005). A Lua é um exemplo de satélite natural em Astronomia, ela gira em torno da Terra. Já o satélite artificial, como o próprio nome diz, é um equipamento ou engenho construído pelo homem e, dependendo da finalidade, desloca-se em órbita da Terra ou de outro astro (Florenzano, 2008).

2.3.1. Satélite Landsat

Segundo Ferrão (2005) a série Landsat surgiu no final dos anos 60 como parte do programa de Levantamentos de Recursos Terrestres da NASA. O primeiro satélite denominado Landsat -1 foi lançado em 23 de Julho de 1972, com os sensores RBV (Return Beam Vidicon) e MSS (Multispectral Scanner System). Os satélites Landsat - 2 e 3 foram lançados a 22 de Janeiro de 1975 e 5 de Março de 1978 respectivamente, com os mesmos instrumentos a bordo no satélite Landsat-1. Em 16 de Julho de 1982 o Landsat- 4 começou a operar, com o MSS (Multispectral Scanner System) e também com um novo sensor chamado TM (Thematic Mapper). O satélite Landsat-5 foi lançado no dia 1 de Março de 1984, doptado dos mesmos sensores a bordo no seu antecessor. O Landsat – 6, projectado com um novo sensor ETM (Enhanced Thematic Mapper), faliu no lançamento em 5 de Outubro de 1993 não conseguindo atingir a órbita terrestre. O Landsat-7 foi lançado no dia 15 de Abril de 1999, com o sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), uma evolução do sensor ETM. de forma a dar continuidade aos dados da série Landsat, no dia 11 de Fevereiro de 2013 foi lançado o Landsat -8, trazendo como novidade dois novos sensores, o espectral OLI (Operational Land Imager) e o Infravermelho Termal TIRS, que colectam dados em conjunto para fornecer imagens correspondentes a superfície da Terra, incluindo regiões costeiras, gelo polar, ilhas e Zonas Continentais, no dia 27 de Setembro de 2021 foi lançado o landsat-9, este transporta dois instrumentos científicos sofisticados para observação Operational Land Imager 2 (OLI-2) e o Thermal Infrared Sensor 2 (TIRS-2) este substitui o landsat 7 e se Junta ao landsat 8 e continua colectado dados de todo planeta (USGS, 2022).

Apresenta-se na tabela 2 as características resumidas do sensor TM e na tabela 3 as características resumidas do sensor OLI.

Tabela 2 - Características do sensor TM(Thematic Mapper)

Fonte: Lillesand *et al.* (2015)

Sensor	Comprimento de Onda (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica
TM (Thematic Mapper)	Banda 1 - Azul (0,45 - 0,52) μm	30 Metros	16 dias	8 bits
	Banda 2 - verde (0,52 - 0,60) μm			
	Banda 3 - Vermelho (0,63 - 0,69) μm			
	Banda 4 - Infravermelho Próximo(0,76 -0,90) μm			
	Banda 5 - Infravermelho Médio (1,55 - 1,75) μm			
	Banda 6 - Infravermelho Termal (10,4 - 12,5) μm	120 Metros		
	Banda 7 - Infravermelho Distante (2,08 - 2,35) μm	30 Metros		

Tabela 3 - Características do sensor OLI (Operational Land Imager)

Fonte: USGS (2013).

Sensor	Comprimento de Onda (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	Banda 1 - Aerossol (0,43 - 0,45) μm	30 Metros	16 dias	12 bits
	Banda 2 - Azul (0,45 - 0,51) μm			
	Banda 3 - Verde (0,53- 0,59) μm			
	Banda 4 - Vermelho (0,64 - 0,67) μm			
	Banda 5 - Infravermelho Próximo (0,85 - 0,88) μm			
	Banda 6 - Infravermelho Termal (1,57 - 1,65) μm			
	Banda 7 - Infravermelho Médio(2,11 - 2,29) μm			
	Banda 8 - Pancromatica (0,50 - 0,68) μm	15 Metros		
	Banda 9 - Cirrus (1,36 - 1,38) μm	30 Metros		

2.4. Processamento digital de imagens

De acordo com Jansen (1986) processamento digital de imagens é o conjunto de procedimentos para manipulação e análise de imagens através de computador. O segmento importante do processamento digital de imagens consiste em executar operações matemáticas dos dados, transformando em imagens de melhores qualidades espectrais e espaciais que sejam mais apropriadas para uma determinada aplicação. O processamento de imagens de Detecção Remota é orientado para cada tipo de problema (Meneses e Almeida, 2012).

2.4.1. Pré processamento das imagens

As técnicas de pré-processamento são, essencialmente, funções operacionais para remover ou corrigir os erros e as distorções nas imagens causadas pelos sistemas sensores devidos a erros instrumentais (ruídos espúrios), às interferências da atmosfera (erros radiométricos) e à geometria de imageamento (distorções geométricas) (Meneses e Almeida, 2012).

A função principal do pré-processamento é melhorar a imagem de maneira a aumentar as chances de sucesso nos outros processos (Sousa e Silva, 2011).

2.4.1.1. Projecção

Segundo Jenny *et al.* (2017), as projecções de um mapa não podem conservar todas as propriedades da esfera original, os cartógrafos devem identificar que propriedades são mais importantes por conservar. Esta consideração é baseada no objectivo do mapa e na técnica cartográfica usada para visualizar a informação.

2.4.1.2. Correção Geométrica

Segundo Lillesand (2015) o objetivo da correção geométrica é compensar as distorções produzidas por estes factores de modo que a imagem corrigida venha a possuir a integridade geométrica de um mapa. As correcções geométricas incluem a correcção de distorções geométricas devidas avariações na geometria do sensor ou da Terra e a conversão das coordenadas terrestres para coordenadas verdadeiras (Sousa e Silva, 2011).

No processo de correcção geométrica são eliminadas as distorções geométricas sistemáticas provocados no momento de aquisição das imagens devido á rotação, inclinação e curvatura da Terra e devido á instabilidade da plataforma (Meneses e Almeida, 2012).

2.4.1.3. Correção Radiométrica

A correção radiométrica refere-se à remoção ou diminuição de distorções originadas a quando do registro da radiação eletromagnética por parte de cada detector. A correção radiométrica de imagens corrigi as degradações, esta é uma das mais importantes fases do processamento digital pois, caso estas imperfeições não sejam removidas, podem vir a ser enfatizadas (Rosa, 2013).

Este tratamento destina-se, a pelo menos reduzir as degradações radiométricas decorrentes dos desajustes na calibração dos detetores e erros esporádicos na transmissão dos dados. As principais correções radiométricas são o “*stripping*” aplicado ao longo das linhas com base em padrão sucessivo, que aparecem na imagem, em decorrência, da diferença ou desajuste de calibração dos detetores, e o “*dropped lines*”, que é aplicado entre linhas com base em padrão anômalo na imagem, que ocorre devido a perda de informações na gravação ou na transmissão dos dados (Figueiredo, 2005).

2.4.1.4. Correção Atmosférica

Esta correção é feita com a intenção de minimizar os efeitos atmosféricos na radiância de um alvo, visto que a atmosfera, devido aos fenómenos de espalhamento, absorção e refração da energia electromagnética, afecta a radiância reflectida ou emitida que é captada pelo sensor.

Segundo Rosa (2013):

Na prática existem duas técnicas de correção atmosférica: o método do mínimo histograma, que consiste em identificar na imagem, áreas com sombras de relevo, sombra de nuvens ou corpos de água, onde é assumido que estas áreas possuem radiância zero e os valores de níveis de cinza não nulos encontrados nestes alvos considera-se provenientes do efeito aditivo do espalhamento atmosférico. O menor valor medido em cada banda espectral nestas áreas é subtraído dos valores digitais de toda a cena na respectiva banda;

Método da regressão de bandas este método assume que entre duas bandas altamente correlacionadas, a equação da reta de melhor ajuste deve passar pela origem, caso não haja efeito aditivo da atmosfera. Devido a este efeito, a reta corta o eixo y em algum ponto maior do que zero. O valor do ponto de intercepção representa o valor adicionado devido a efeitos atmosféricos naquela banda. Este valor constante da equação da reta é subtraído da banda considerada.

Os efeitos observados nas imagens de satélite, devido a presença da atmosfera entre o satélite e a superfície terrestre são a diminuição da faixa dos valores digitais registrados pelo sensor, redução do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho de cada ponto da imagem

2.4.1.5. Composição de Bandas

A Composição de Bandas consiste na junção de três bandas espectrais para formação de uma banda colorida que facilite a percepção ao olho humano.

Trata-se de um dos artifícios de maior utilidade na interpretação das informações do Detecção Remota, ela é fundamental para melhor identificação e discriminação dos alvos terrestres pois o olho humano é capaz de discriminar mais facilmente matizes de cores do que tons de cinza (Figueiredo, 2005).

2.4.2. Processamento

O processamento (ou transformação) consiste na extração de informação qualitativa e quantitativa dos dados, de acordo com o fim a que se destinam. Abrange técnicas que tem como objetivo realçar determinadas propriedades dos objetos a estudar e que podem ser de natureza espacial ou espectral (Lira *et al.*, 2016).

2.4.2.1. Classificação

Segundo Richards e Jia (2006) apresentam que a classificação de uma imagem realizada em um sistema pode ser entendida como um método em que são atribuídos valores específicos (rótulos) aos *pixels* de acordo com sua resposta espectral.

O processo de classificação permite fragmentar uma imagem em grupos (clusters) com características espectrais semelhantes, a partir do reconhecimento dos padrões de resposta espectral dos diferentes elementos analisados (Lira *et al.*, 2016).

2.4.2.1.1. Classificação supervisionada

A classificação supervisionada exige conhecimentos prévios das classes de alvos, a fim de classificar a imagem nas classes de interesse pré-fixadas pelo analista. Esta fundamenta-se na definição das classes e na coleta das suas respectivas amostras, denominadas como áreas de treinamento, desenvolvidas, ambas as etapas, pelo usuário (Meneses e Almeida, 2012).

Segundo Mather (2004) o processo de classificação consiste em duas etapas. A primeira é o reconhecimento das categorias dos objetos do mundo real, as quais poderiam incluir, por exemplo, floresta, água, pastagem e outros tipos de cobertura do solo, dependendo da escala geográfica e natureza do estudo. A segunda etapa é a rotulagem das entidades (normalmente *pixels*) a ser classificadas.

Conforme Lillesand e Kiefer (2015), dentre os métodos iterativos de classificação, os mais comuns são a classificação por paralelepípedo (Single Cell) e a classificação por máxima verossimilhança (Maximum Likelihood).

- **Método Paralelepípedo**

Para Crósta (1992), o método paralelepípedo é definido pelo nível de cinza mínimo e máximo do conjunto de treinamento, os lados da figura geométrica constituem os limites de decisão de determinada classe. Este método caracteriza cada classe definida pelas áreas de treino pelo intervalo de variação dos valores de cada classe em cada banda (Sousa e Silva, 2011).

Segundo Rosa (2013) Este método apresenta os seguintes problemas: aproximação grosseira da assinatura espectral real dos alvos; pode haver superposição de classes dificultando a separação destas, além do fato de as classes, na realidade, não serem perfeitamente retangulares, levando a erros por excesso (pontos de uma certa classe que na realidade não pertencem a elas podem ser classificadas como tal).

- **Método Distância mínima à média**

O método da distância mínima calcula a distância espectral entre o vetor de medida para o pixel candidato e a média para cada assinatura de classe. O método se utiliza da medida de distância Euclidiana. Cada pixel será incorporado a um agrupamento através da análise da medida de similaridade de distância Euclidiana, que é dada por (Meneses e Almeida, 2012):

$$D(x, n) = \sqrt{(x_i - m_i)^2} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

x_i = *pixel* candidato;

m_i = média das classes;

n = número de bandas.

Segundo o mesmo autor o método apresenta os seguintes problemas: Os *pixels* que deveriam permanecer não - classificados, isto é, eles não estão espectralmente próximos a nenhuma amostra dentro de limites razoáveis, serão classificados; O método não considera a variabilidade espacial da classe.

- **Método da máxima verossimilhança**

O classificador por máxima verossimilhança é uma técnica estatística de classificação de imagens baseadas no vizinho mais próximo em que o *pixel* assume as classes espectrais, que podem ser descritas por uma distribuição no espaço multi - espectral (Meneses e Almeida, 2012).

Segundo os mesmos autores este é um classificador mais eficiente porque as classes de treinamento são utilizadas para estimar a forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe no espaço de n bandas, como também a localização do centro de cada classe (Meneses e Almeida, 2012). A classificação de um ponto x é realizada de acordo com (Richard e Jia, 2006):

$$x \in W_i \text{ se } p\left(\frac{x}{W_i}\right)p(W_i) > p\left(\frac{x}{W_j}\right)p(W_j) \quad (\text{Inequação 1})$$

onde, a probabilidade $p(x/W_i)$ dá a possibilidade de x pertencer à classe W_i e $p(W_i)$ é a probabilidade de a classe ocorrer na imagem, que de fato é conhecida das áreas de treinamento.

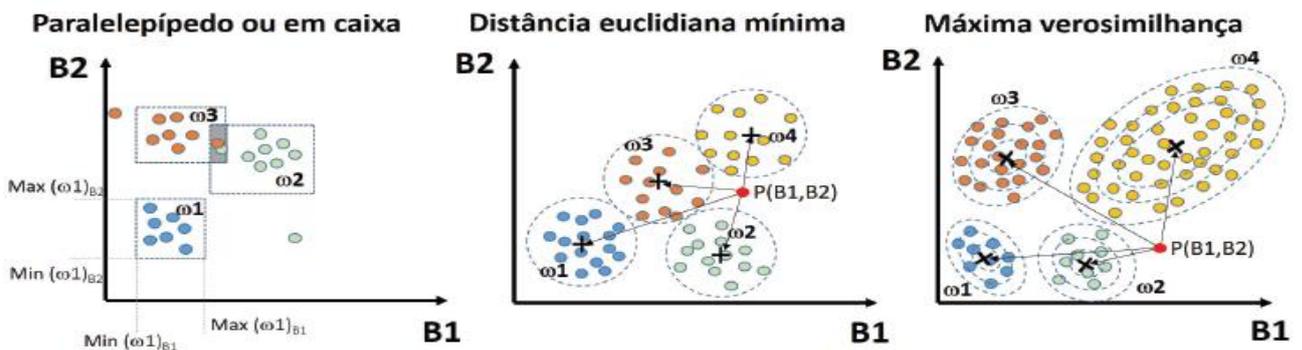


Figura 4 - Tipos de Classificadores estatísticos mais conhecidos

Fonte: (Lira *et al.*, 2016)

2.4.2.1.2. Classificação não supervisionada

São classificadores que requerem pouca ou nenhuma participação do analista no processo de classificação da imagem. Há duas situações em que isso pode acontecer. Uma delas é quando não se tem suficientes conhecimentos acerca do número e natureza das classes de alvos que possam estar presentes numa área. 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, 2011).

2.4.3. Pós – processamento

A fase de pós-processamento inclui, não só os melhoramentos dos resultados obtidos no processamento (e.g. aplicação de filtros para reduzir o ruído), como a avaliação dos resultados (e.g. avaliação da classificação) e a apresentação dos mesmos (layout) (Lira *et al.*, 2016).

2.4.3.1. Validação

A acurácia temática é uma verificação para constatar se o mapa está correto no concernente ao rótulo das classes, além de aumentar a qualidade da informação do mapa, identificando e corrigindo as fontes de erros. Assim, a avaliação da acurácia determina a qualidade do mapa criado a partir de imagens e produtos da DR, qualitativa ou quantitativamente, indicando e mensurando os erros do mapa (Congalton e Green, 1999).

Segundo Campbell (1996), os erros estão presentes em qualquer tipo de classificação. A forma padronizada para verificar tais erros em locais específicos é a chamada matriz de erros, também conhecida como matriz de confusão por identificar não somente o erro global da classificação para cada categoria, mas também como deram as confusões entre categorias. A matriz de confusão é formada por um arranjo quadrado de números dispostos em linhas e colunas que expressam o número de unidades de amostras de uma categoria da legenda – inferida por um classificador (ou regra de decisão), em comparação com a categoria atual verificada no campo (Congalton, 1999). O método da Exactidão Global é calculado dividindo a soma da diagonal principal da matriz de erros x_{ii} , pelo número total de amostras colectadas n , ou seja:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^C x_{ii}}{n} \text{ (Equação 2)}$$

Onde:

G= Coeficiente de Exactidão Global;

x_{ii} = Observações na linha i e coluna i;

n = Número de observações (pontos amostrais).

Alguns dos coeficientes de concordância comumente usados para avaliar a acurácia total do mapa temático são: a concordância total, o coeficiente de concordância Kappa e o coeficiente de concordância Tau (Rosa, 2013).

- **Índice Tau**

O índice Tau foi introduzido por Ma e Redmond (1995) em DR, este fornece uma medida quantitativa relativamente precisa e intuitiva sobre a acurácia da classificação. O coeficiente Tau (T) é superficialmente similar ao Kappa e pode ser calculado como segue:

$$T = \frac{P_0 - P_r}{1 - P_r} \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

T= Coeficiente Tau;

P_0 = Proporção de pontos de verdade terrestre concordantes;

P_r = Concordância esperada.

- **Índice Kappa**

Segundo Congalton e Green (1999), a classificação pode ser avaliada por este índice, que realiza uma análise da exatidão através de matrizes de erro, apresentando a distribuição da porcentagem de pixels classificados de forma correta ou não, calculando ao final o índice Kappa de concordância.

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

K – índice de exatidão Kappa;

P_0 – Concordância total ou Exatidão global;

P_e - Concordância esperada.

Tabela 4 - Parâmetros do índice Kappa para avaliação da qualidade da classificação (Landis e Koch, 1977)

Valor de Kappa	Qualidade da classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razuável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

2.4.3.2. Detecção de Mudanças

A detecção de mudanças no uso e na cobertura da terra pode ser considerada a função da Detecção Remota que agrega uma dimensão temporal à análise das informações contidas nas imagens (Kiel, 2008).

A detecção de mudanças envolve o uso de conjunto de dados multitemporais para discriminar áreas de mudanças de cobertura entre datas de mapeamento, podendo ser desde fenómenos de curta duração como uma cobertura de neve ou uma inundação ou de longa duração como uma frente de urbanização ou desertificação.

Conforme Santos (2004), a percepção das mudanças de cenários se dá pela utilização de imagens espaçadas no tempo, através de sobreposição e confronto de cenários que tem a capacidade de comparar dados de séries temporais. Para detectar mudanças de fenómenos naturais de sucessão usa-se um distanciamento de décadas entre uma imagem e outra.

As mudanças de Cobertura e Uso da Terra ocorrem de duas formas a saber: Conversão de uma categoria de uso para outra e a mudança dentro da própria categoria.

2.5. Sistemas de Informação Geográfica

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) está definido como um conjunto de ferramentas computacionais para coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais do mundo real atendendo um conjunto particular de propósitos (Burrough e McDonnell, 2010).

Sistema de Informação Geográfica (SIG) – é um sistema informático capaz de reunir, armazenar, manipular, transformar, analisar e representar informação referenciada geograficamente, isto é, de acordo com a sua localização (Nassel, 2011).

O termo SIG é aplicado a sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos em que são armazenados a geometria e os atributos dos dados georreferenciados, ou seja, localizados na superfície terrestre e representados em uma projeção cartográfica (Câmara e Medeiros, 1998).

2.5.1. Características dos sistemas de Informação Geográfica

A ferramenta dos SIG caracteriza-se por conjugar dois tipos de dados diferentes, mas que apenas em estreita relação fazem sentido:

- A representação física do território (mapas, cartas ou plantas) ;
- A sua caracterização numérica ou descritiva que constitui a base de dados alfanumérica.

Os SIG possuem a capacidade de aliar a informação alfanumérica à informação gráfica, tendo por isso, uma capacidade analítica única, e uma melhor compreensão da realidade.

2.6. Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas a colecta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação (Rosa, 2013).

O geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, com o objetivo principal de fornecer ferramentas computacionais para que os analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenómeno geográfico e as inter-relações entre diferentes fenómenos. O geoprocessamento é aplicado a profissionais que trabalham com cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica (Câmara e Medeiros, 1998).

2.6.1. Tipos de dados em Geoprocessamento

Segundo Câmara *et al.*(2001)

Dados Temáticos - Dados temáticos descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como os mapas de pedologia e a aptidão agrícola de uma região.

Dados Cadastrais - Um dado cadastral distingue-se de um temático, pois cada um de seus elementos é um *objeto geográfico*, que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas.

Redes - Em Geoprocessamento, o conceito de "rede" denota as informações associadas a:

- Serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone;
- Redes de drenagem (bacias hidrográficas);
- Rodovias.

Modelos Numéricos De Terreno (MNT) - Um MNT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y) , em um referencial qualquer, com atributos denotados de z , que descrevem a variação contínua da superfície.

Imagens - Obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados, as imagens representam formas de captura indireta de informação espacial.

2.6.2. Principais Aplicações do Geoprocessamento

Segundo Rosa (2013)

- **A Gestão Municipal** - relacionar o mapa da cidade ao banco de dados com as informações de interesse do planejador, por exemplo, é possível relacionar a localização dos postos de saúde e a população atendida, a localização das escolas, etc.
- **Áreas de saúde pública** - podem mapear ocorrências de endemias e agir directamente nos locais onde estas ocorrem, aumentando as chances de sucessos.
- **Cadastro Imobiliário** - é possível relacionar cadastros urbanos com sua localização espacial, com valores cobrados e situação do contribuinte.
- **Meio Ambiente** - usada no monitoramento de regiões remotas e distante, na detecção de focos de queimadas/incêndios, nos estudos de impactos ambientais principalmente quando da construção de grandes obras e na fiscalização de áreas desmatadas, etc.
- **Planejamento Estratégico de Negócios** - possibilitam mapear vários factores fundamentais para o sucesso de um negócio, respondendo a questões como: onde estão os clientes, onde estão os fornecedores, onde estão os concorrentes, entre outros.
- **No Agronegócio** - uso de imagens de satélites e softwares específicos permite monitorar e prever safras, da mesma forma, o domínio da componente geográfica permite o melhor planejamento no uso da terra, na gestão de bacias hidrográficas e na detecção de pragas;
- **Concessionárias e Redes, os serviços públicos de saneamento, energia eléctrica e telecomunicações** - relacionar as suas redes de distribuição às demais informações de seus bancos de dados.

Material e Métodos

No presente capítulo aborda-se sobre o material usado para realização do trabalho e a metodologia seguida com vista a deixar de uma forma clara e objectiva como tudo foi realizado.

3.1. Material

Para alcançar os objectivos do presente trabalho foram utilizados dados no modelo vectorial no formato shapefiles (.Shp) disponibilizados no Centro Nacional de Cartografia e Teledeteção (CENACARTA), instituição competente para produção de cartografia de base, com informação referente a divisão administrativa e cursos de água.

Para o uso e ocupação do solo foram usados dados matriciais, sendo que foram adquiridos gratuitamente no *websit* oficial (<https://earthexplorer.usgs.gov>) do United States Geological Survey (USGS), que são imagens oriundas dos satélites Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI), cuja informação resumida das características referentes aos dados utilizados encontram – se na tabela 5 e Programas computacionais usados na tabela 6.

Tabela 5 – Características resumidas dos dados

Dados	Modelo de dados	Formato de dados	Ano de aquisição	Resolução Espacial	Fonte
Divisão Administrativa	Vectorial	Shapefiles (.shp)	1999		CENACARTA
Cursos de Água					
Landsat 5 (TM)	Matricial	GeoTIFF (.tiff)	2001 e 2011	30 m	USGS
Landsat 8 (OLI)	Matricial	GeoTIFF (.tiff)	2021	30 m	

Tabela 6 - Programas computacionais usados

Tipo de ferramenta	Finalidade
Microsoft Office 2013	Elaboração do relatório e criação de Tabelas
Draw.io	Criação do fluxograma metodológico
Qgis 3.28.2	Processamento de dados e Elaboração dos mapas

3.2. Métodos

Para atingir os objectivos do presente trabalho, realizou –se uma revisão bibliográfica abrangente sobre o tema com objectivo de entender os factores que falam sobre utilização de imagem satélite no processo de mapeamento do uso e ocupação do solo.

Foram usadas três imagens dos anos 2001, 2011 correspondentes ao Landsat 5 e 2021 correspondentes a Landsat 8, com as datas 06/05/2001, 09/04/2011 e 29/06/2021. As datas foram escolhidas com diferença de 10 anos pra melhor fazer a análise para o presente estudo.

Segundo Coppin (2014) as metodologias de detecção de mudanças podem ser estabelecidas pelo número de imagens de satélite utilizadas na comparação, se forem duas imagens, a metodologia de detecção e bi-temporal, se forem três ou mais a metodologia de análise e Multi- temporal.

Para realização deste trabalho foi usado o método de classificação supervisionada por interpretação visual que consiste na identificação das classes de informação (tipos de cobertura da terra) presentes na imagem e com posterior caracterização das refletâncias para cada classe de informação, usando o algoritmo de classificação de máxima verossimilhança. Nesta classificação o classificador tem que identificar de forma confiável as diferentes assinaturas espectrais extraídas apartir da combinação de bandas.

As classes utilizadas para interpretação foram extraídas do mapa de acordo com o Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra (CENACARTA, 1999), onde uso e cobertura da terra indicam os tipos de ocupação da terra mais predominante no distrito de Boane.

A metodologia que foi usada para alcançar o objectivo do trabalho está descrita abaixo:

O processamento digital das imagens foi feito em três fases: pré – processamento, processamento e pós – processamento.

3.2.1. Pré – processamento

Pré-processamento é uma fase de transformação e exploração das imagens, em que se incluem as operações cujo objetivo é a eliminação de possíveis distorções radiométricas ou geométricas, resultantes de diversos fatores no momento de aquisição (Lira *et al.*, 2016). Nesta fase fez – se a correção atmosférica, reprojeção e composição de bandas das imagens usadas para o presente estudo.

3.2.1.1. Correção atmosférica

Para a correção atmosférica foi usado um complemento no QGIS de Classificação Semiautomática (SCP) que permite a classificação supervisionada de imagens de Detecção remota, fornecendo ferramentas para download, pré-processamento e pós-processamento de imagens este foi desenvolvido por Luca Congedo em 2013.

No complemento foi feita a correção atmosférica da imagem de 2001, 2011 e 2021 do Satélite Landsat. A correção foi feita em fases, primeiro foram corrigidas as imagens de 2001 e 2011 do Satélite Landsat 5 TM e de seguida a imagem de 2021 do satélite Landsat 8 OLI como resultado obteve - se imagens corrigidas para cada ano em destaque. A correção atmosférica de imagens minimiza a influência dos factores que compõem a atmosfera.

Após a correção atmosférica foi feita a reprojeção das imagens corrigidas para a Projecção/Datum WGS1984 UTM Zona 36 S, sendo que estas estavam na Projecção/Datum WGS1984 UTM Zona 36 N.

3.2.1.2. A composição de Bandas

A utilização de composições coloridas é fundamentada no fato de que o olho humano é capaz de discriminar mais facilmente matiz de cores do que tons de cinza (Rosa, 2013).

Após a reprojeção fez – se a composição bandas. Neste processo foram usadas as bandas correspondentes a faixa do Visível, vermelho (b3), verde (b2), azul (b1) com o comprimento de onda de (0.45 -0.52) μm , (0.52 – 0.60) μm e (0.63-0.51) μm respectivamente para o Sensor TM e as bandas, vermelho (b4), verde (b3), Azul (b2) com comprimento de onda de (0.63 -0.69) μm , (0.52 – 0.60) μm e (0.45 – 0.69) μm respectivamente para o sensor OLI, ambas correspondendo a composição de cor natural. A composição permitiu a visualização dos alvos na cor aproximada a sua cor real que permitiu-nos discriminar cada um deles segundo o interesse do presente estudo.

3.2.2. Processamento

É a fase em que são realçadas as características úteis para o objetivo do estudo (Lira *et al.*, 2016). Esta é a segunda fase da metodologia seguida no presente estudo em que foi feita a classificação supervisionada pelo método de máxima verossimilhança.

3.2.2.1. Classificação

Neste processo foram colhidas amostras na imagem, contendo *pixels* representativos, espectralmente, de padrões dos alvos reconhecidos, ou que podem ser identificados com a ajuda de mapas e posteriormente foram classificadas as amostras. Esta classificação foi feita no complemento do Qgis denominado dzetsaka: Classification tool onde se obteve imagem classificada com as classes representadas para os anos de 2001, 2011 e 2021.

Para o presente estudo foram indentificadas 8 classes de uso e ocupação do solo no distrito de Boane a saber:

Cursos de água; Cultivado irrigado; Cultivado e sequeiro; Área habitacional; Solo sem vegetação; Formação herbácia; Mangal; Matagal médio.

3.2.3. Pós – processamento

É a fase em que são realçados e avaliados os resultados do processamento e onde é representada a informação (qualitativa e/ou quantitativa) extraída (Lira *et al.*, 2016). nesta fase foi feita a validação da classificação.

3.2.3.1. Validação

A qualidade de um mapa temático é avaliada em termos de precisão e exatidão. A precisão refere-se ao quanto a área de uma categoria obtida com o mapeamento reflete a verdade no campo. No entanto, a exatidão refere-se à determinada categoria identificada na imagem, esta realmente correta (Rosa, 2013).

Neste processo foi avaliada a precisão do mapa em relação a realidade. A validação das classificações procedeu-se no programa Qgis 3.28.2 a partir da ferramenta r.kappa esta foi a última etapa da classificação digital de imagens tendo como resultado do índice Kappa qualidade excelente o que demonstra que mais de 80% dos *pixels* foram avaliados corretamente.

A tabela 7 ilustra os valores do índice Kappa obtidos nas classificações supervisionadas de Máxima Verossimilhança e a qualidade da classificação:

Tabela 7 - Resultados do índice Kappa

Imagem	Índice Kappa	Classificação
2001	0.81395	Execelente
2011	0.86342	Excelente
2021	0.88022	Excelente

3.2.4. Quantificação de Áreas de Uso e Ocupação do Solo

A quantificação das áreas de uso e ocupação do solo foi feita para cada ano, 2001, 2011 e 2021 como resultado desta quantificação obtive – se áreas de uso e ocupação do solo quantificadas para cada ano como mostra a tabela 8 e a representação gráfica das áreas quantificadas figura 7.

Com o resultado obtido no passo anterior fez – se análise das mudança de uso e ocupação do solo no intervalo de 2001 – 2011 como mostra a tabela 10 e gráfico da figura 8 que representam as mudanças para este intervalo de seguida fez – se análise das mudanças de uso e ocupação do solo no intervalo de 2011– 2021 como mostra tabela 11 e gráfico da figura 9 que representam as mudanças para este intervalo por ultimo fez-se análise das mudanças de uso e ocupação do solo de 2001 – 2021 como mostra a tabela 11 e gráfico da figura 9.

3.2.5. Detenção de Mudanças de Uso e Ocupação do Solo

A detenção de mudanças de uso e ocupação do solo foi feita em fases. A primeira fase foi detectar mudanças de uso e ocupação do solo no intervalo de 2001 – 2011 e a segunda fase foi detectar mudanças de uso e ocupação do solo no intervalo de 2011 – 2021 e a terceira fase foi detectar mudancas de uso e Ocupacao do solo no intervalo de 2001 – 2021.

3.2.6. Evolução do Uso e Ocupação do Solo

Para compreender a evolução do uso e ocupação do solo nos anos de 2001, 2011 e 2021 foi feita uma análise comparativa das áreas quantificadas no intervalo de tempo de 2001 – 2011, posteriormente no intervalo de 2011 – 2021 por último no intervalo de 2001 – 2021. Esta análise permitiu observar o fenómeno de aumento e de redução das classes de uso e ocupação do solo.

Com auxilio do complemento do QGIS de Classificação Semiautomática (SCP) na ferramenta pós-processamento de imagens foi executado o mapa de mudança de uso e ocupação do solo para o intervalo de 2001 - 2021.

3.3. Fluxograma Metodológico

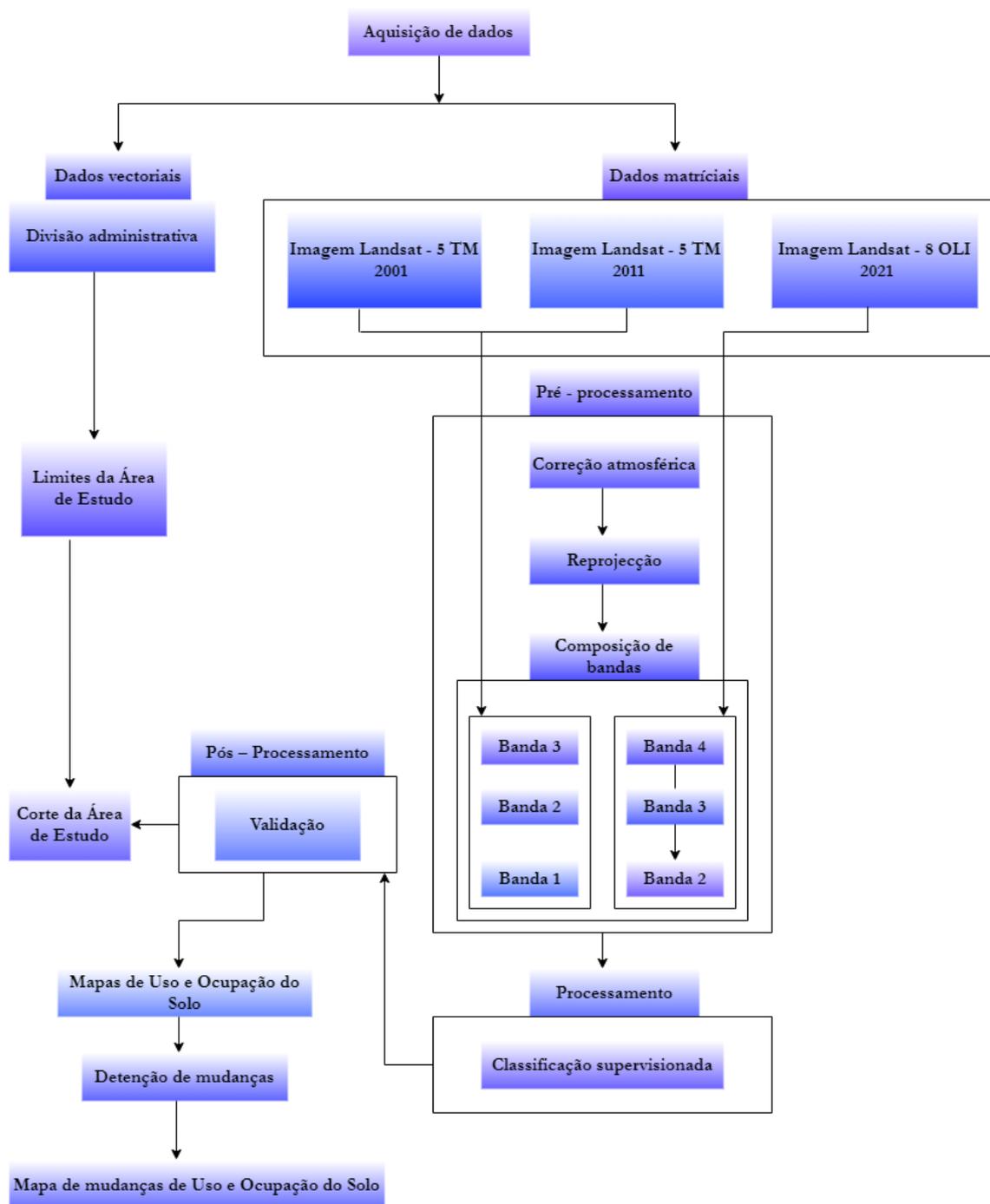


Figura 5 - Fluxograma metodológico

Resultados e Discussão

No presente capítulo apresenta-se os resultados dos métodos aplicados no capítulo anterior. Os resultados são discutidos de acordo com a literatura seleccionada com vista a alcançar o objectivo do presente trabalho.

4.1. Mapas de Uso e Ocupação do Solo

De seguida apresenta-se os mapas de uso e ocupação do solo dos anos 2001, 2011 e 2021, pode – se constatar que em 2001 maior parte da área do distrito de Boane estava ocupado por formação herbácia, tendo também parte da área do distrito ocupado pelas outras classes. No ano de 2011 pode – se ver que a área de formação herbácia reduziu e aumentou a área habitacional sendo que as outras classes ocupavam parte restante da área. Para o ano de 2021 conseguimos constatar uma grande parte do distrito esta ocupado por área habitacional e a outra parte do distrito ocupado por outras classes. Percebe - se que nos anos em destaque acontecem mudanças de uso e ocupação do solo na área de estudo.

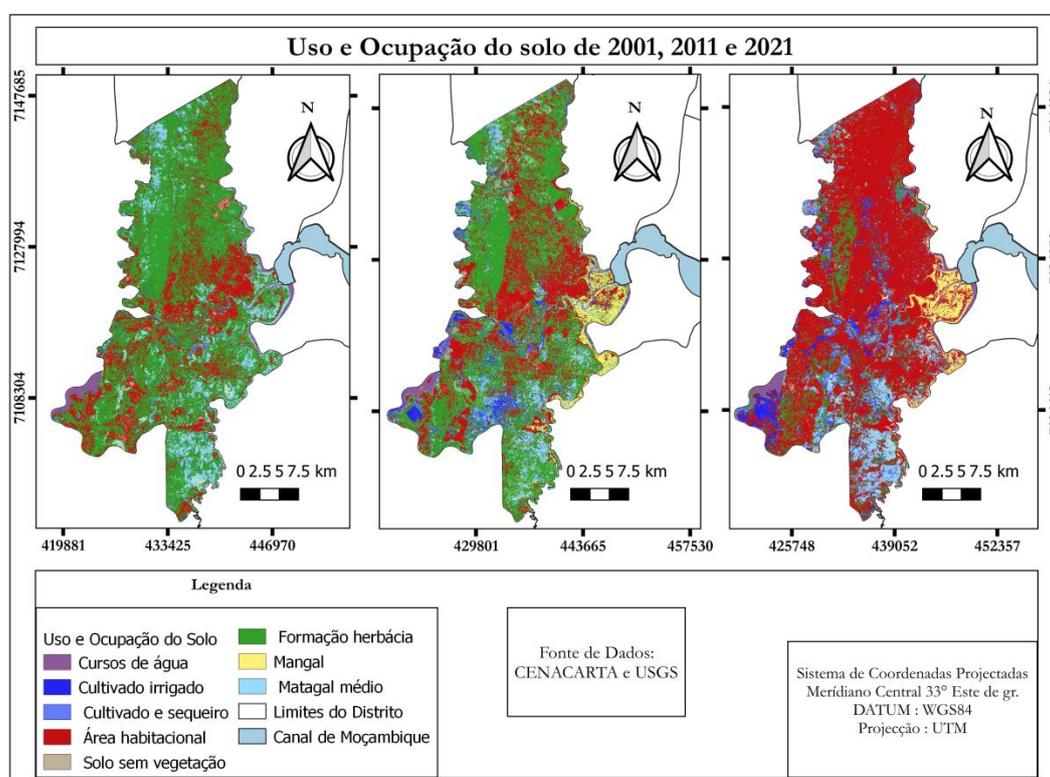


Figura 6 - Mapas de Uso e Ocupação do Solo em 2001, 2011 e 2021

4.1.1. Quantificação das Classes de uso e Cobertura entre 2001, 2011 e 2021

O uso e ocupação do solo no distrito de Boane no ano de 2001, as classes com maior expressão pertencem a áreas de Formação herbácia com área total de (470.4739 Km²), seguida da Área habitacional com área total de (170.5104 Km²), Matagal médio com área total de (81.801 Km²), Mangais com área total de (27.1766 Km²) e Cursos de água com área total de (19.3662 Km²). Por sua vez, as classes Cultivado e sequeiro com área total de (10.1773 Km²), Solo sem vegetação com área total de (10.1961 Km²), outras classes com área total de (14.6808 Km²) e Cultivado irrigada área total de (15.6177 Km²), tem uma expressão média. A classe Cultivado e sequeiro com (10.1773 Km²) de área que em termos espaciais tem menos representação na área de estudo.

Para o ano de 2011, as classes com maior expressão pertencem a áreas de Formação herbácia com (391.2525 Km²) de área, Área habitacional com (216.6165 Km²) de área, Mangais com (43.3208 Km²) de área, Matagal médio com (49.7781 Km²) de área e a classe Cultivado irrigado com (38.3265 Km²) de área e Outros usos com (29.7868 Km²) de área. Com uma expressão média estão, as classes Cultivado e sequeiro com (21.1653 Km²) de área, Cursos de água com (16.0848 Km²) de área. A classe Solo sem vegetação com (13.6737 Km²) de área que em termos espaciais tem menos representação na área em estudo.

No ano de 2021, as classes com maior expressão pertencem a áreas de Área habitacional com (478.5511 Km²) de área, Formação herbácia com (93.834 km²) de área, Mangais com (60.44 Km²) de área e Cultivado e sequeiro com (50.9084 Km²) de área. Por sua vez, as classes Matagal médio com (42.6447 Km²) de área, Cultivado irrigado com (37.9269 Km²) de área e Cursos de água com (20.7165 Km²) de área e outros usos com (20.5806 Km²) de área tem uma expressão média. As classes Solo sem vegetação com (14.3978 Km²) de área em termos espaciais tem menos representação na área em estudo.

A tabela 8 apresenta de forma resumida as classes de uso e ocupação do solo do distrito de Boane e as respectivas áreas em km² e percentagem para os anos 2001, 2011 e 2021 e na figura 7 apresentam – se classes quantificadas de forma gráfica.

Tabela 8 - Classes de Uso e Ocupação do Solo do distrito de Boane de 2001, 2011 e 2021 e as respectivas áreas

Classes	2001		2011		2021	
	Área (Km ²)	Área (%)	Área(Km ²)	Área (%)	Área(Km ²)	Área(%)
Cursos de água	19.3662	0.02	16.0848	0.02	20.7165	0.03
Cultivado irrigado	15.6177	0.02	38.3265	0.04	37.9269	0.05
Cultivado e sequeiro	10.1773	0.01	21.1653	0.03	50.9084	0.06
Área habitacional	170.5104	0.2	216.6165	0.26	478.5511	0.58
Solo sem vegetação	10.1961	0.01	13.6737	0.02	14.3978	0.02
Formação herbácia	470.4739	0.6	391.2525	0.48	93.834	0.1
Mangais	27.1766	0.02	43.5965	0.05	60.44	0.08
Matagal médio	81.801	0.1	49.7731	0.06	42.6447	0.05
Outros usos	14.6808	0.02	29.5111	0.04	20.5806	0.03
Total	820	1	820	1	820	1

Figura 7- Representação gráfica das Classes de Uso e Ocupação do solo em 2001, 2011 e 2021

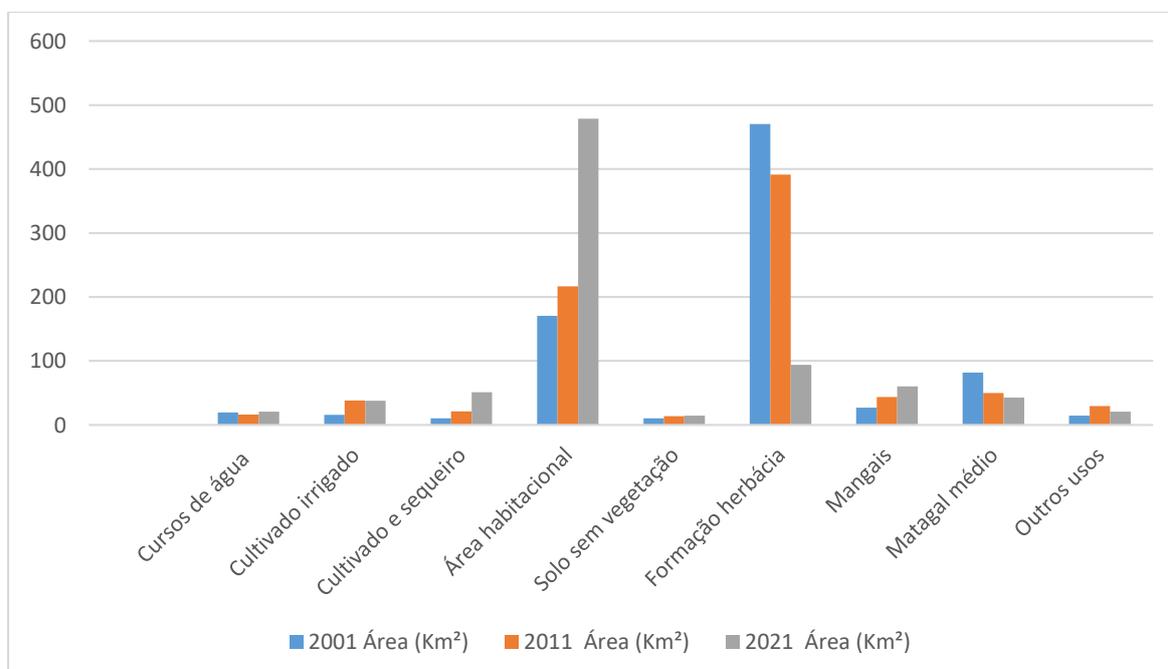


Tabela 9 - Resumo da Exatidão geral de utilizador e produtor por classe, dos mapas de Uso e Ocupação do solo dos anos 2001, 2011 e 2021

Classes	2001		2011		2021	
	Utilizador (%)	Produtor (%)	Utilizador (%)	Produtor (%)	Utilizador (%)	Produtor (%)
Cursos de água	6.98	4.20	18.29	32.47	9.24	7.90
C.irrigado	50.27	75.51	18.95	22.69	32.47	23.39
C. sequeiro	1.25	90.91	30.22	74.67	53.86	70.53
A.habitacional	22.66	23.15	19.95	12.21	5.78	5.83
S.s.vegetação	43.02	54.79	53.42	90.89	35.44	31.88
F.herbácia	14.65	7.94	11.13	4.58	35.72	30.21
Mangais	60.07	95.87	26.16	20.89	6.70	8.06
Matagal médio	50.85	27.04	29.04	42.35	29.39	7.46
Exatidão Geral	0.81395		0.86342		0.88022	

4.2. Análise Comparativa das Classes de Uso e Ocupação

Esta análise foi feita com objectivo de melhor entender o estado evolutivo das diferentes classes de uso e ocupação do solo apresentadas nos mapas da área do estudo.

4.2.1. Comparação das Classes de Uso e Ocupação entre 2001 - 2011

A análise comparativa do uso e ocupação do solo entre 2001 e 2011 permiti-nos observar o fenómeno de aumento e de redução das classes de uso e Ocupação do solo como podemos observar na tabela 10. Verificam-se redução de 79.2214 Km² da Formação herbácia, 32.0229 Km² de Matagal médio e 3.2814 Km² de Cursos de água. As classes de uso e ocupação do solo com aumentos são: Área habitacional 46.1061 Km², Cultivado irrigado 22.7088 Km², Mangais 16.4199 Km², Outros Usos 14.8303 Km², Cultivado e sequeiro 10.988 Km², Solo sem vegetação 3.4776 Km².

Tabela 10 - Evolução das Classes de Uso e Ocupação do Solo entre 2001 - 2011

Classes	Área (Km ²)		Mudanças (Km ²)	Mudanças (%)
	2001	2011		
Cursos de água	19.3662	16.0848	-3.2814	-16.94
Cultivado irrigado	15.6177	38.3265	22.7088	145.40
Cultivado e sequeiro	10.1773	21.1653	10.988	107.97
Área habitacional	170.5104	216.6165	46.1061	27.04
Solo sem vegetação	10.1961	13.6737	3.4776	34.11
Formação herbácea	470.4739	391.2525	-79.2214	-16.84
Mangais	27.1766	43.5965	16.4199	60.42
Matagal médio	81.801	49.7731	-32.0279	-39.15
Outros usos	14.6808	29.5111	14.8303	101.02

4.2.2. Comparação das Classes de Uso e Ocupação entre 2011 e 2021

A análise comparativa do uso e ocupação do solo entre 2011 e 2021 permiti-nos observar o fenómeno de aumento e de redução das classes de uso e Ocupação do solo como podemos observar na tabela 11.

Verificam-se redução de 297.4185 Km² da formação herbácea, Outros usos 8.9305 Km², 7.1284 Km² de Matagal médio e 0.3996 Km² de Cultivado irrigado. As classes de uso e ocupação do solo com aumentos são: Área habitacional 261.9346 Km², Cultivado e sequeiro 29.7431 Km², Mangais 16.8435 Km², Cursos de água 4.6317 Km² e Solo sem vegetação 0.7241 Km².

Tabela 11 - Evolução das Classes de Uso e Ocupação do Solo entre 2011 - 2021

Classes	Área (Km ²)		Mudanças (Km ²)	Mudanças (%)
	2011	2021		
Cursos de água	16.0848	20.7165	4.6317	28.80
Cultivado irrigado	38.3265	37.9269	-0.3996	-1.04
Cultivado e sequeiro	21.1653	50.9084	29.7431	140.53
Área habitacional	216.6165	478.5511	261.9346	120.92
Solo sem vegetação	13.6737	14.3978	0.7241	5.30
Formação herbácea	391.2525	93.834	-297.4185	-76.02
Mangais	43.5965	60.44	16.8435	38.63
Matagal médio	49.7731	42.6447	-7.1284	-14.33
Outros usos	29.5111	20.5806	-8.9305	-30.26

4.2.3. Comparação das Classes de Uso e Ocupação entre 2001 e 2021

A análise comparativa do uso e ocupação do solo entre 2001 - 2021 permiti-nos observar o fenómeno de aumento e de redução das classes de uso e ocupação do solo como podemos observar na tabela 12.

Verificam-se redução de 376.6399 Km² de Formação herbácia e 39.1563 Km² de Matagal médioAs classes de uso e ocupação do solo com aumentos são: Área habitacional 308.0407 Km², Cultivado e sequeiro 40.7311 Km², Mangais 33.2634 Km², Cultivado irrigado 22.3092 Km², Outros usos 5.8998 Km², Solo sem vegetação 4.2017 Km² e Cursos de água 1.3503 Km².

Tabela 12 - Evolução das Classes de Uso e Ocupação do Solo entre 2001 - 2021

Classes	Área (Km ²)		Mudanças (Km ²)	Mudanças (%)
	2001	2021		
Cursos de água	19.3662	20.7165	1.3503	6.97
Cultivado irrigado	15.6177	37.9269	22.3092	142.85
Cultivado e sequeiro	10.1773	50.9084	40.7311	400.22
Área habitacional	170.5104	478.5511	308.0407	180.66
Solo sem vegetação	10.1961	14.3978	4.2017	41.21
Formação herbácia	470.4739	93.834	-376.6399	-80.06
Mangais	27.1766	60.44	33.2634	122.40
Matagal médio	81.801	42.6447	-39.1563	-47.87
Outros usos	14.6808	20.5806	5.8998	40.19

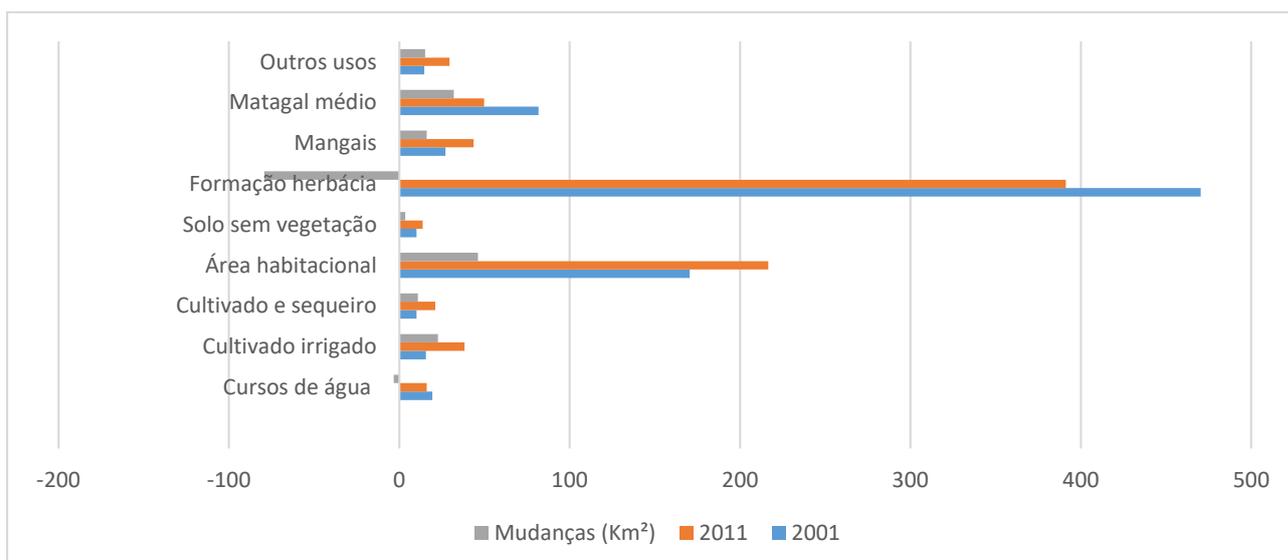
4.3. Detenção de Mudanças de Uso e Ocupação do Solo

Neste processo foram apresentadas as alterações ocorridas no uso e ocupação do solo em intervalos de tempo.

4.3.1. Mudanças de uso e ocupação do solo entre 2001 – 2011

A principal alteração ocorrida no período de 2001-2011 pode ser observado na figura 8. Percebe-se através do gráfico que houve significativos aumentos e reduções para as diversas classes. Para as classes Mangais, Cursos de água, Cultivado e sequeiro, Cultivado irrigado, Área habitacional e Outros usos houve aumento de área. As reduções ocorreram especialmente para as áreas: Formações herbácias, Matagal médio e Solo sem vegetação.

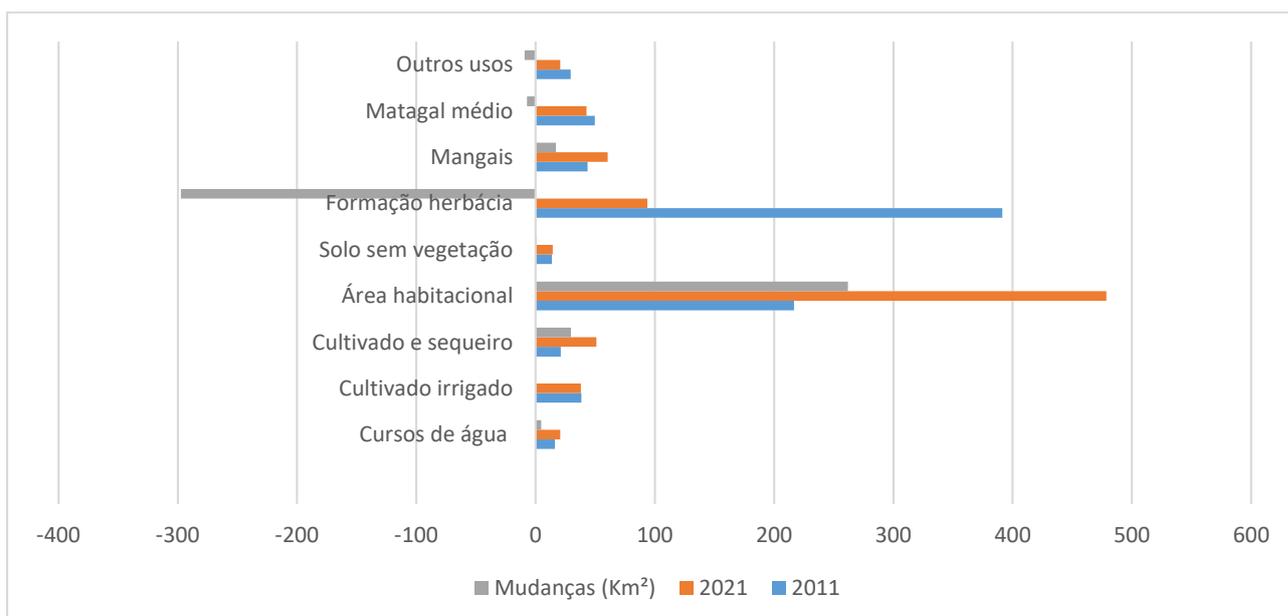
Figura 8 - Representação gráfica das mudanças de Uso e Ocupação do solo entre 2001 - 2011



4.3.2. Mudança do uso e ocupação do solo entre 2011 – 2021

As principais alterações ocorridas no período de 2011-2021 pode ser observado na figura 9. Percebe-se através do gráfico que houve significativos aumentos e reduções para as diversas classes. Para as classes Mangais, Cursos de água, Cultivado e sequeiro, Cultivado irrigado, Área habitacional, Solo sem vegetação e Outros usos houve aumento de área. As reduções ocorreram especialmente para as áreas: Formações herbáceas e Matagal médio.

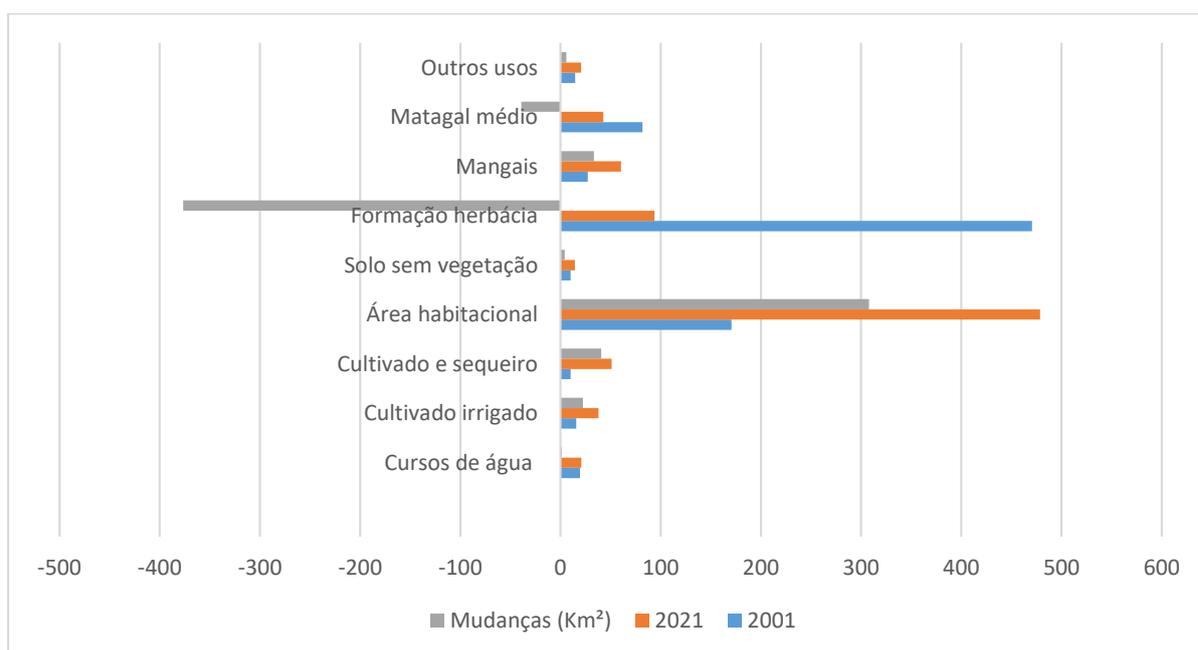
Figura 9 - Representação gráfica das mudanças de Uso e Ocupação do solo entre 2011 - 2021



4.3.3. Mudança do uso e ocupação do solo entre 2001 – 2021

As principais alterações ocorridas no período de 2001- 2021 pode ser observado na figura 9. Percebe-se através do gráfico que houve significativos aumentos e reduções para as diversas classes. Para as classes Mangais, Cursos de água, Cultivado irrigado, Cultivado e sequeiro e Área habitacional e Outros usos houve aumento de área. As reduções ocorrem especialmente para as área: Formações herbáceas e Matagal médio.

Figura 10 - Representação gráfica das mudanças de Uso e Ocupação do Solo entre 2001 – 2021



4.3.4. Mapa de mudança de uso e Ocupação do solo de 2001 - 2021

Na figura 10 são apresentados os mapas de uso e ocupação do solo de 2001, 2021 e o mapa de mudança de uso e ocupação do solo de 2001 – 2021 onde observa-se várias mudanças no uso e ocupação do solo neste intervalo de tempo nas diferentes classes apresentadas no mapa.

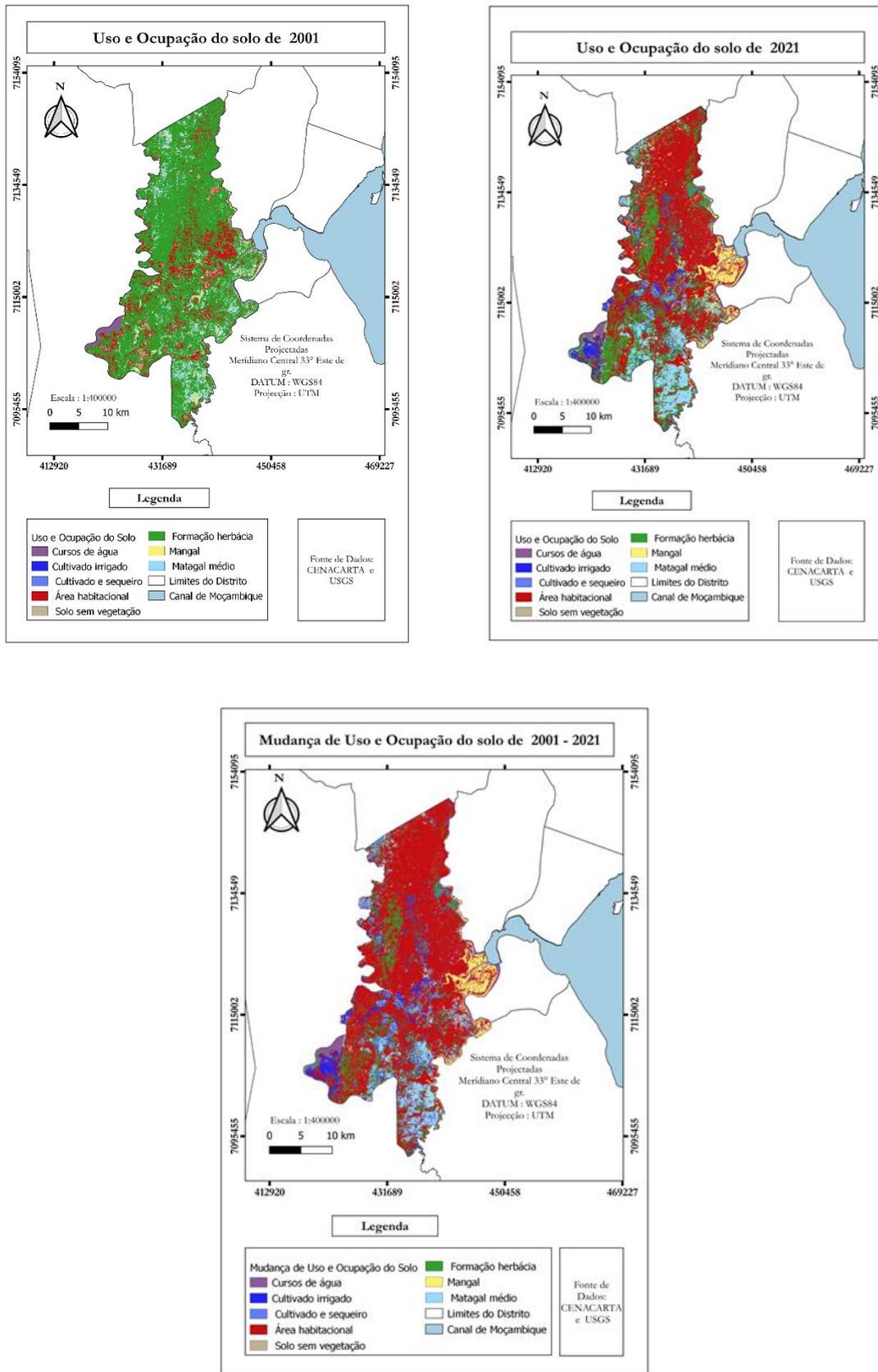


Figura 11 - Mapa de mudanças de Uso e Ocupação do solo de 2001 – 2021

Conclusões e Recomendações

Ao longo de todo trabalho vários aspectos relevantes identificados daí a necessidade de se apresentar em seguida algumas conclusões e recomendações com vista a aprimorar os próximos trabalhos a este relacionado.

5.1. Conclusões

O Geoprocessamento e as ferramentas a ele associadas tais como o SIG, a classificação de imagem satélite, a validação entre outros constituem um poderoso recurso para manipulação de dados espaciais, que tanto para elaboração e representação dos mapas, como para enumeras análises sobre estes, e sobre os dados que lhes deram origem.

Para o presente estudo a partir dos mapas de uso e ocupação do solo no distrito de Boane nos 20 anos em destaque foi possível constatar variação nas diferentes classes de uso e ocupação do solo. As classes em que teve redução de área de uso e ocupação do solo são: Formação herbácia com - 0.20% e Matagal médio com - 0.52%.

As classes que teve aumento de área são: Mangais com 2.22%, Cultivado e sequeiro com 5.00 %, Área habitacional com 2.81%, Cultivado irrigado com 2.43%, Cursos de água com 1.07%, Solo sem vegetação com 1.41% e Outros Usos com 1.40%.

O aumento dos cursos de água pode estar relacionado aos efeitos das mudanças climáticas nos últimos anos, que tem provocado um aumento de temperatura e precipitação periódica conseqüente aumento dos caudais dos rios, permitindo o aumento da prática do cultivado irrigado e Cultivado e Sequeiro Este aumento dos caudais dos rios faz com que haja aumento dos mangais no distrito.

O aumento da Área habitacional levou a redução das formações herbacias, matagal médio este contribuiu para o aumento de solo sem vegetação.

5.2. Recomendações

Recomenda-se que sejam realizados estudos na área de estudo de forma a complementar as informações para um planejamento eficiente do uso e ocupação do solo do distrito, que possa ser complementado ainda com um estudo do potencial agrícola do município, a fim de propiciar a sustentabilidade ambiental e econômica da região. Estudos sobre qualidade e quantidade de água disponível para a população, venham motivar uma boa gestão dos recursos hídricos, no território.

Referências Bibliográficas

- Burrough, P. A. e McDonnell, R. A. (2010). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, Oxford, U.K., 333p.
- Campbell, J. B. (1996). Introduction to Remote Sensing. New York: The Guilford Press.
- Câmara, G. e Medeiros, C. M. (1998). Geoprocessamento para Projetos Ambientais. INPE - São José dos Campos – Brasil.
- Câmara, G., Davis, C. e Monteiro, A. M. V. (2001). Introdução à Ciência da Geoinformação – INPE-São José dos Campos – Brasil.
- CENACARTA, (1999). Uso e Cobertura da Terra.
- Congalton, R. G. e Green, K. (1999). Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. New York: Lewis Publishers.
- Comber, a. J., Wadsworth, R. a., Fisher, P. F. (2008). Using semantics to clarify the conceptual confusion between land cover and land use: the example of “forest”. Journal of Land Use Science 3, 185–198. doi:10.1080/17474230802434187.
- Congedo, Luca. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. Release 4.8.0.1. 29 out. 2015. Disponível em: <<https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-v4/latest/semiautomaticclassificationmanual-v4.pdf> >. Acesso em: 02 nov. 2015.
- Coppin, P. *et al.* (2004). Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring: a review. International Journal of Remote Sensing. Taylor e Francis.
- Coppin, P. (2014). Digital Change Detection Methods In Ecosystem Monitoring: a review. International Journal of Remote Sensing. Taylor e Francis.
- Crosta, A. P. (1992). Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto (Unicamp, Red).
- Fernandes, S., (2006). Análise da Evolução da Ocupação do Solo: Aplicação com base num SIG para o Parque Nacional Peneda-Gerês - Instituto Politécnico de Viana do Castelo- Brasil
- Ferrão, M. F. G. (2005). Manual de Teledeteção Fascículo I: Satélites e princípios Físicos da Teledeteção CENACARTA.
- Figueiredo, D. (2005). Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto – Brasil.
- Filho, S. S. B. (2000). Interpretação de Imagens da Terra - Curso de Especialização em Geoprocessamento – Departamento de Cartografia Centro de Sensoriamento Remoto – UFMG – Brasil.

- Florenzano, T. G. (2008). Imagens de satélites para estudos ambientais - Oficina de Texto - São Paulo
- INE (2020). Anuário Estatístico Província de Maputo. Maputo: Instituto Nacional de Estatística.
- Jansen, J. R. (1986). Introductory digital image processing. New Jersey: Prentice Hall.
- Jesen, J. R. (2011). Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recusos terrestres (tradução da segunda edição) PP.508.
- Kiel, R. (2008). Detecção de mudanças no uso e cobertura do solo em uma série temporal de imagens da região da campanha do Rio grande do sul. -Tese de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Brasil.
- Landis, J. R.; Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, n.1
- Lira, C., Amorim, A., Silva, A. N. e Taborda, R. (2016). Sistemas de Informação Geográfica:Análise de Dados de Satélite - DGRM, Lisboa, Portugal.E-book disponível em www.sophia-mar.pt.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. and Chipman, J. W. (2015). Remote sensing and image interpretation - Seventh edition.
- Ma, Z., Redmond, R. L (1995). Tau coefficients for accuracy assessment of classification of remote sensing data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Reston, v.61, n.4, p.63-152.
- Marchetti, D. A. B., Garcia, G. J. (1989). Princípios de fotogrametria e fotointerpretação - São Paulo
- Mather, P. M. (2004). Computer Processing of Remotely- Sensed Imagens - England.
- Meneses, P. R. e Almeida, T. (2012). Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto – Instituto de Geociências da Universidade Brasília.
- Meyer, W. B., Turner, B. L. I., (1996). Land-use/land-cover change: challenges for geographers. *GeoJournal* 39, 237–240. doi:10.1007/BF00188373.
- Montebelo, L. A., Casagrande, C. A., Ballester, M. V. R., Victoria, R. L., Cutolo, A. P. A. (2005) XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - Goiânia..
- Moraes, E. C. (2002). Fundamentos de Sensoriamento Remoto Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE – Brasil.
- Nassel, C. W. (2011). Princípios básicos de Cartografia e Sistemas de Informação Geográfica – Moçambique.

- Nery, C., Fernandes, F., Moreira, A. e Braga, F. (2013). Avaliação das técnicas de Classificação MaxVer.
- Novo, E. I. M. (2008). Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações – 2nd ed – São Paulo - 363p.
- OBSERVATÓRIO DO MEIO RURAL, observador Rural: Acesso e Alocação de Terras para Além dos Grandes Investimentos: O Papel das Elites Políticas e Económicas em Boane. Edição de 2022.
- Pereira, L. F. e Guimarães, R. M. F. (2018). Mapeando usos/coberturas da terra com Semi-automatic Classification Plugin: quais dados, classificador e estratégia amostral? - Universidade Federal de Viçosa - Universidade Federal de Ouro Preto – Brasil.
- REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE, Ministério da Administração Estatal: Perfil do Distrito da Boane Província de Maputo. Edição de 2014.
- REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE, Província de Maputo, Governo do Distrito de Boane: Plano Estratégico de Desenvolvimento do Distrito de Boane. Edição 2016.
- Richards, J. A. e Jia, X. (2006). Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction. 4. ed. New York: Springer Verlag.
- Rosa, R. (2013). Introdução Ao Geoprocessamento - Universidade Federal de Uberlândia - Instituto de Geografia - Laboratorio de Geoprocessamento.
- Sampaio, E. (2007). Noções Básicas de Detecção Remota Fotogrametria e Foto Interpretação em Pedologia- Departamento de Geociências - Universidade de Évora.
- Santana, A.L.S. e Araújo G. L. (2017). Erosão do solo em uma propriedade rural no município de Abre Campo (MG). III Seminário Científico da FACIG / II Jornada de Iniciação Científica da FACIG.
- Santos, R. F. (2004). Planejamento Ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos.
- Sartori, A. A. C., Barbosa, A. P., Pisani, R. J., Oliveira, F.G. e Zimback, C. R. L. (2009) Mapeamento de conflitos de solo em área de preservação permanente na Bacia Experimental do Rio Pardo. São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal. Anais INPE, P. 6197- 6202.
- Sousa, A. M. O. e Silva, J. R. M. (2011). Fundamentos Teóricos de Detecção Remota- Universidade de Évora - Departamento de Engenharia Rural.
- Tucci, C. E. M. (2008). Águas urbanas – Brasil.

- USGS, (2013). Landsat A Global Land-Imaging Mission, U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey [http://landsat.usgs.gov/Banda_a_designations_Landsat_satellites.php](http://landsat.usgs.gov/Banda_a_designations Landsat_satellites.php) acessado no dia 15/12/2023
- USGS, (2023). Landsat U.S Geological Survey – [USGS.gov](https://www.usgs.gov/landsat_missions...). Fonte: USGS: https://www.usgs.gov/landsat_missions...
- Zanetti, J., Braga, F. L. S. e Duarte, D. C. O. (2017) Comparação dos Métodos de Classificação Supervisionada de Imagem Máxima Verossimilhança, Distância Euclidiana, Paralelepípedo e Redes Neurais Em Imagens Vant, Utilizando O Método de Exatidão Global, Índice Kappa e o Tau - Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Civil -Brasil.

Anexos:

Anexo 1: Tabela 13 - Matriz de erro para Uso e Ocupação do Solo de 2001

Classes	C.Á.	C.I.	C.S.	Á.H.	S.V.	F.H.	Ma.	M.M
Cursos de água	395	14	1	0	0	0	3	6
Cultivado irrigado	3	26	5	2	0	6	7	2
Cultivado e sequeiro	0	0	3	0	0	0	0	0
Área habitacional	0	3	0	246	52	12	0	0
Solo sem vegetação	0	0	0	33	46	0	0	0
Formação herbácea	0	22	14	34	1	963	26	52
Mangais	2	0	0	0	0	3	7	5
Matagal médio	7	36	6	0	0	48	87	187
Total	407	101	29	315	99	1032	130	252

Tabela 14 - Matriz de erro para Uso e Ocupação do Solo de 2011

Classes	C.Á.	C.I.	C.S.	Á.H.	S.V.	F.H.	Ma.	M.M
Cursos de água	185	19	5	2	0	1	4	7
Cultivado irrigado	38	1000	103	1	0	18	0	55
Cultivado e sequeiro	3	13	76	2	0	13	0	0
Área habitacional	1	10	1	1599	294	55	7	0
Solo sem vegetação	0	1	0	41	55	18	0	0
Formação herbácea	24	158	96	145	181	7452	122	91
Mangais	18	21	5	5	1	118	630	41
Matagal médio	0	51	0	1	0	34	21	278
Total	269	1273	1273	286	531	7709	784	472

Tabela 15 - Matriz de erro para Uso e Ocupação do solo de 2021

Classes	C.Á.	C.I.	C.S.	Á.H.	S.V.	F.H.	Ma	M.M.
Cursos de água	968	1	2	68	0	2	11	0
Cultivado irrigado	0	1245	492	62	0	11	0	0
Cultivado e sequeiro	0	180	282	38	0	86	3	6
Área habitacional	58	165	37	8117	34	65	22	4
Solo sem vegetação	0	0	1	36	77	3	0	0
Formação herbácea	0	7	50	164	0	422	0	1
Mangais	11	1	1	17	0	0	520	0
Matagal médio	0	0	53	5	0	5	2	166
Total	1037	1599	918	8507	111	594	558	177

Anexo 2:

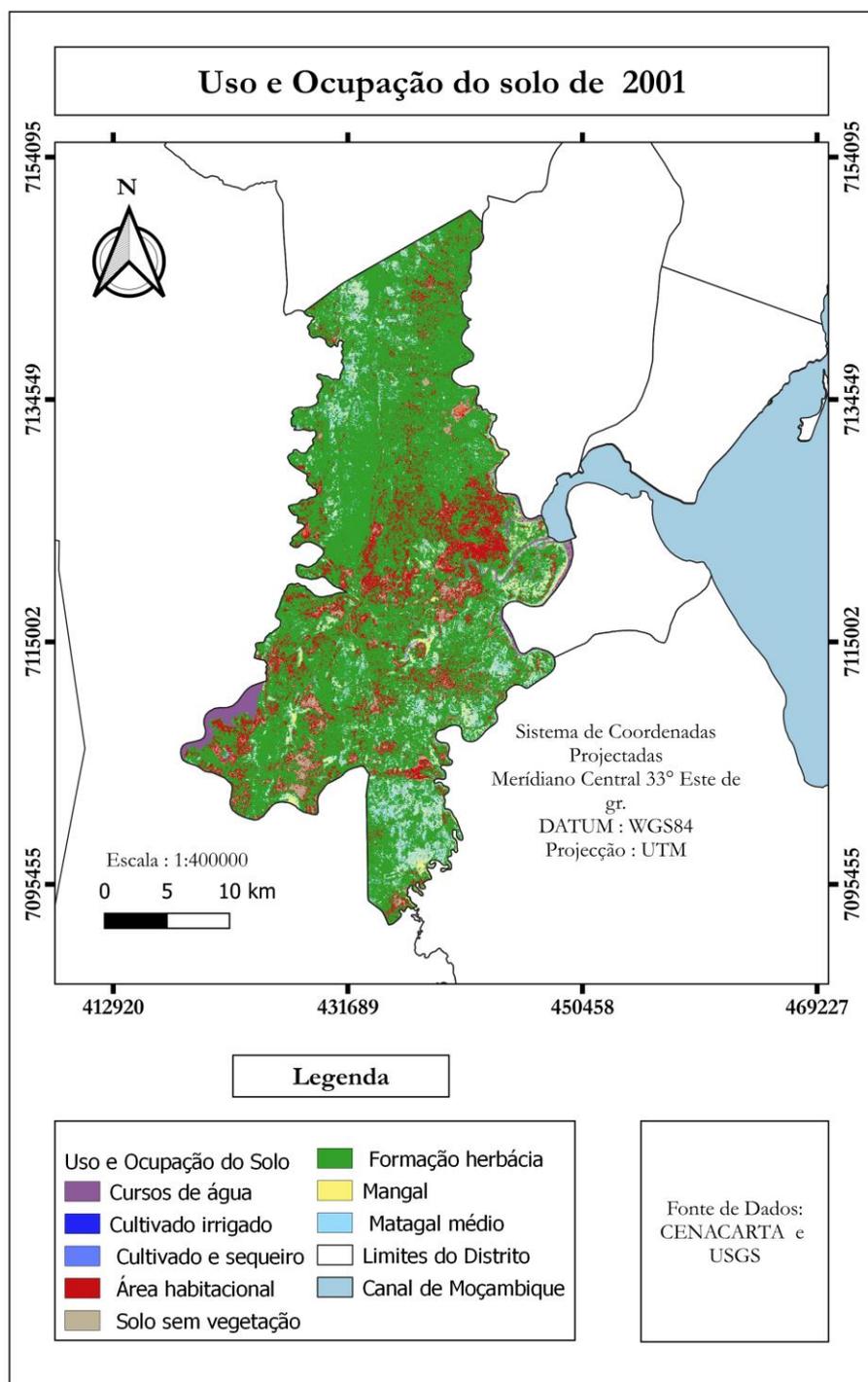


Figura 12 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 2001

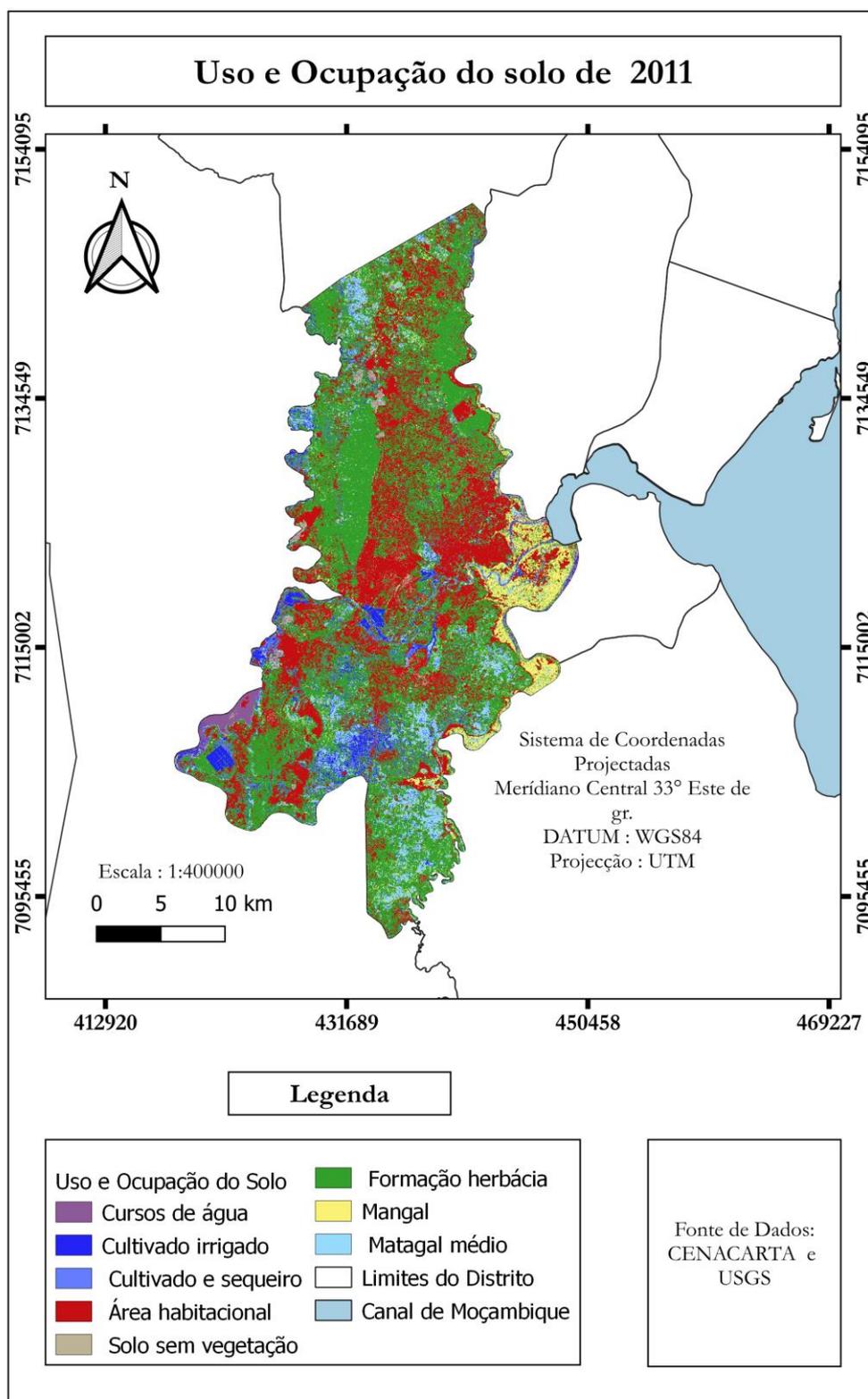


Figura 13 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 2011

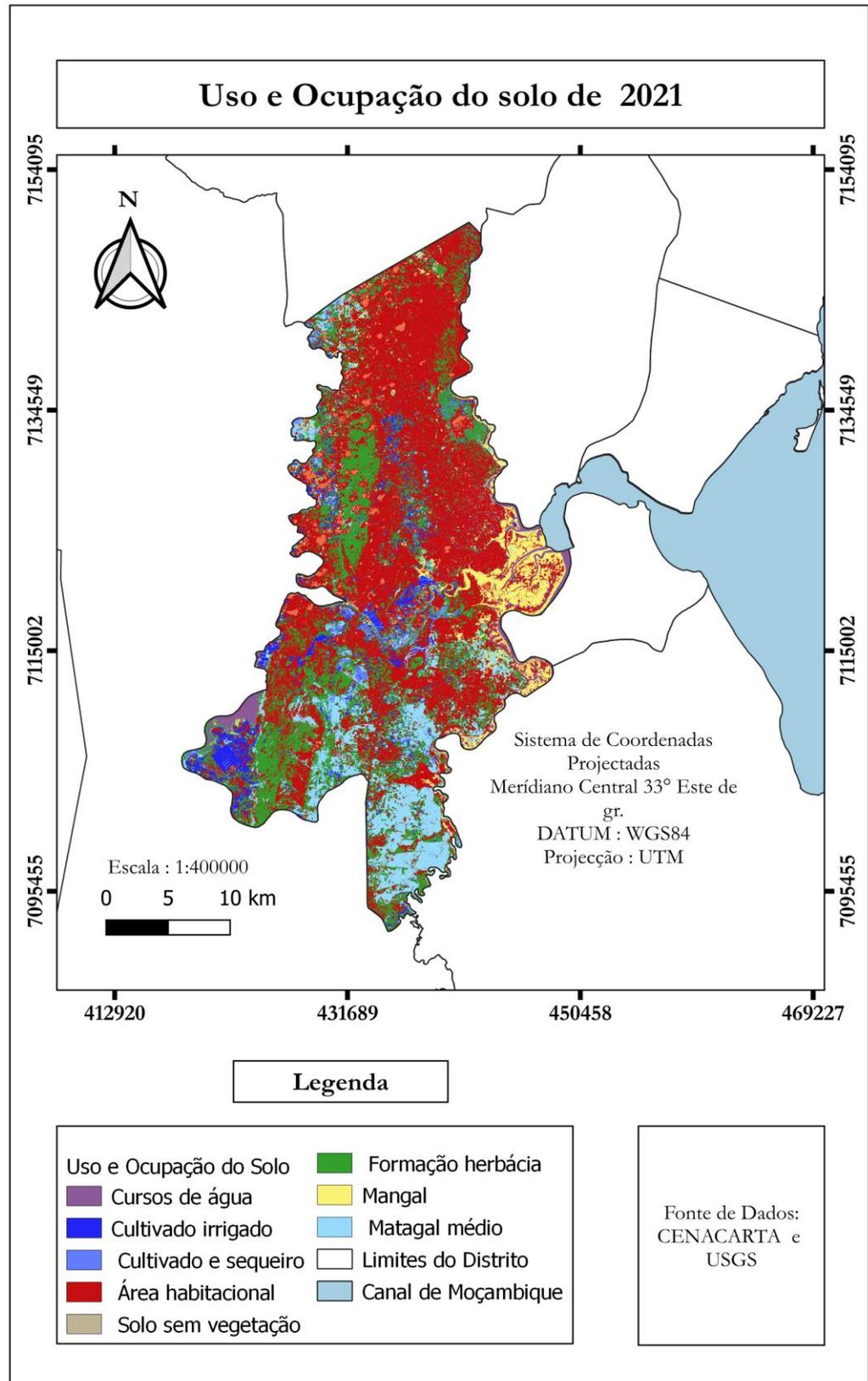


Figura 14 - Mapa de Uso e Ocupação do solo de 2021

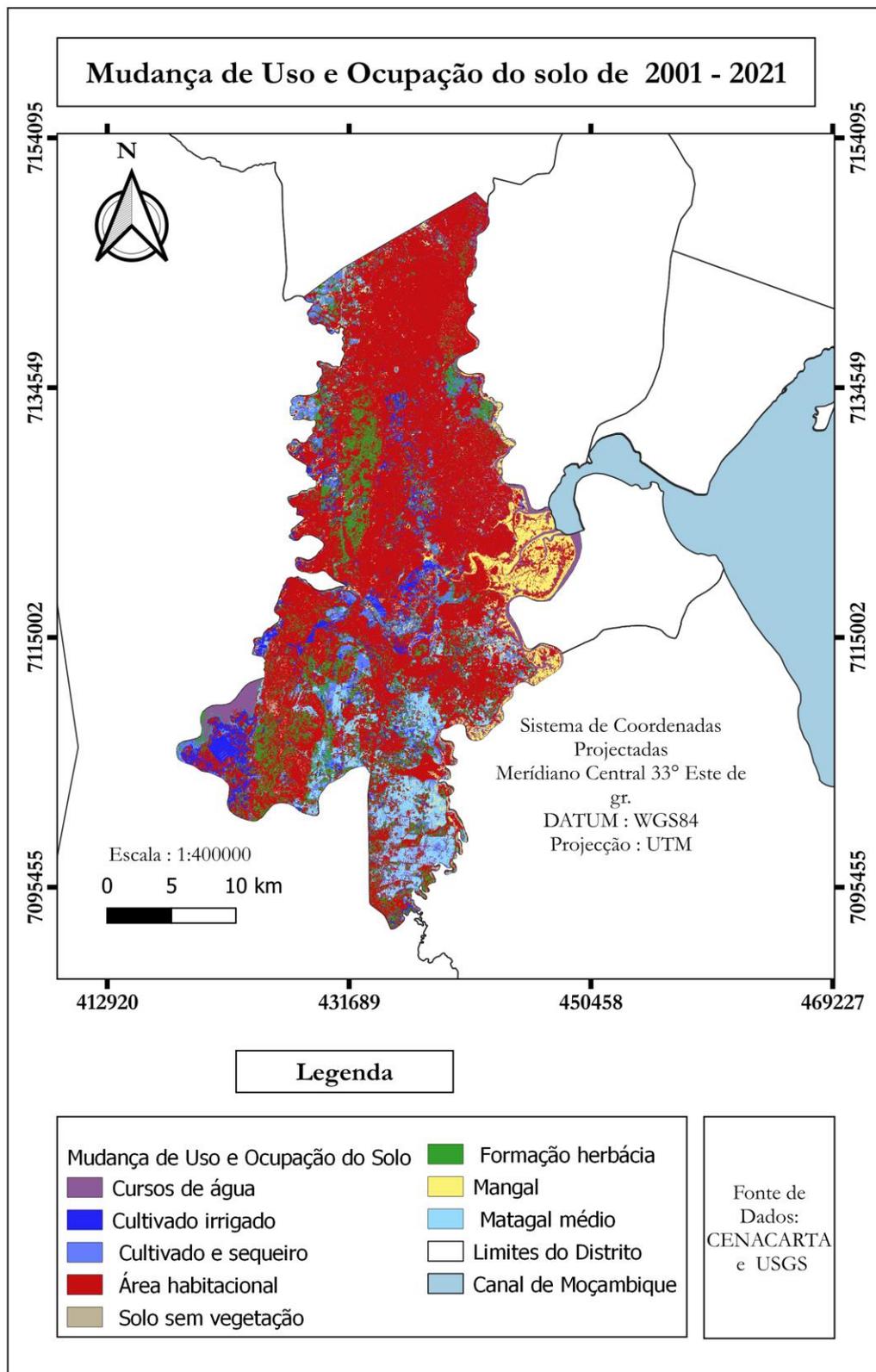


Figura 15 - Mapa de mudanças de Uso e Ocupação do solo de 2001 -2021