



ANÁLISE ESPACIO - TEMPORAL DAS ALTERAÇÕES
DE USO E COBERTURA DA TERRA NA CIDADE DE
PEMBA, PROVÍNCIA DE CABO DELGADO (ANOS
2001 e 2021)

Arlene Atija de Fátima Cebola Lucas Momade

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas
de Informação Geográfica

ANÁLISE ESPACIO - TEMPORAL DAS ALTERAÇÕES DE USO E
COBERTURA DA TERRA NA CIDADE DE PEMBA, PROVÍNCIA DE CABO
DELGADO (ANOS 2001 e 2021)

Dissertação orientada por:
Professor Doutor Pedro da Costa Brito Cabral

Julho 2025

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Declaro que o trabalho contido neste documento é da minha autoria e não de outra pessoa. Toda a assistência recebida de outras pessoas está devidamente assinalada e é efetuada referência a todas as fontes utilizadas (publicadas ou não). O trabalho não foi anteriormente submetido ou avaliado na NOVA Information Management School ou em qualquer outra instituição.

Pemba, Julho de 2025

AGRADECIMENTOS

Quero em primeiro lugar agradecer a Deus, por guiar os meus passos, fortalecer a minha fé e me permitir viver momentos únicos como os que marcaram esta longa caminhada.

Aos meus pais, Lucas (que Deus o tenha) e Júlia, meu amor e gratidão eternos. Obrigada pelos ensinamentos, pelos sacrifícios, por sonharem comigo e por sempre acreditarem no meu potencial.

Aos meus irmãos, companheiros de vida, obrigada pelo carinho, pelas palavras de força e por estarem ao meu lado mesmo à distância.

Agradeço também a uma pessoa muito especial, cuja presença foi essencial nos primeiros passos desta jornada, sou profundamente grata pelo apoio moral e material, que fizeram toda a diferença no momento certo.

Aos meus familiares, que celebram cada conquista minha com entusiasmo e torcem por mim com o coração cheio de amor, obrigada por estarem presentes em cada etapa, mesmo que em silêncio.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Pedro Cabral, agradeço não apenas pelas orientações valiosas ao longo do trabalho, mas também pela compreensão durante o momento em que precisei ausentar-me.

Ao CENACARTA e ao Conselho Municipal da cidade de Pemba, muito obrigada pela colaboração e disponibilidade na partilha de informação para a realização deste trabalho.

Aos professores e colegas de turma, obrigada pelo aprendizado, pela convivência e pelo incentivo constante.

A todos que, de alguma forma, contribuíram neste processo, deixo aqui minha mais profunda gratidão.

ANÁLISE ESPACIOTEMPORAL DAS ALTERAÇÕES DE USO E COBERTURA DA TERRA NA CIDADE DE PEMBA, PROVÍNCIA DE CABO DELGADO (ANOS 2001 e 2021)

RESUMO

As informações referentes ao uso e cobertura da terra constituem uma base essencial para a compreensão das dinâmicas espaciais e territoriais, e desempenham um papel estratégico em processos de tomada de decisão nos âmbitos social, económico, político e ambiental. Essas informações são fundamentais pois auxiliam os programas e políticas públicas voltadas à gestão socioambiental, contribuindo para a mitigação dos impactos associados ao desenvolvimento económico, sobretudo nas áreas urbanas. Nos últimos anos, soluções baseadas na plataforma Google Earth Engine (GEE) têm se destacado por oferecerem grandes possibilidades de aplicação prática na análise de alterações de uso e cobertura do solo, especialmente em estudos de larga escala e em períodos temporais distintos. Constitui objetivo do trabalho analisar as alterações no uso e cobertura da terra na cidade de Pemba, com recurso a imagens de satélite dos sensores Landsat 7 (2001) e Landsat 8 (2021), processadas na plataforma Google Earth Engine. Recorreu-se a classificação supervisionada, com recurso ao algoritmo Random Forest, para mapear e quantificar as principais mudanças ocorridas ao longo do período. Os resultados indicam um crescimento significativo de 46,98% para a área urbanizada, refletindo a expansão das zonas construídas e o aumento da pressão urbana. Em contrapartida, registou-se uma redução acentuada da cobertura vegetal (- 43,05%) e a completa eliminação das áreas cultivadas (- 100%), indicando um possível abandono de práticas agrícolas e perda de espaços verdes. O mangal teve um acréscimo de 14,39%, possivelmente associado a processos de regeneração natural ou a medidas de conservação. As áreas com presença de água aumentaram 7,58%, enquanto o solo sem vegetação apresentou ligeira diminuição (- 2,82%) e as áreas inundáveis mantiveram-se praticamente estáveis (+0,41%). Esses resultados evidenciam uma tendência de urbanização crescente e redução das coberturas naturais, com implicações relevantes para o planeamento territorial e a sustentabilidade ambiental. O GEE demonstrou potencial para múltiplas aplicações analíticas das alterações no uso e cobertura do solo, como subsídio para a gestão sustentável de áreas urbanas.

SPATIOTEMPORAL ANALYSIS OF LAND USE AND LAND COVER CHANGE IN THE CITY OF PEMBA, PROVINCE OF CABO DELGADO (YEARS 2001 AND 2021)

ABSTRACT

Information on land use and land cover is an essential basis for understanding spatial and territorial dynamics and plays a strategic role in decision-making processes in the social, economic, political and environmental spheres. This information is fundamental as it helps public programs and policies aimed at socio-environmental management, contributing to mitigating the impacts associated with economic development, especially in urban areas. In recent years, solutions based on the Google Earth Engine (GEE) platform have stood out as offering great possibilities for practical application in the analysis of changes in land use and land cover, especially in large-scale studies over different time periods. The aim of this study is to analyze changes in land use and land cover in the city of Pemba, using satellite images from the Landsat 7 (2001) and Landsat 8 (2021) sensors, processed on the Google Earth Engine platform. Supervised classification using the Random Forest algorithm was used to map and quantify the main changes over the period. The results indicate a significant growth of 46.98% for the urbanized area, reflecting the expansion of built-up areas and increased urban pressure. On the other hand, there was a marked reduction in vegetation cover (-43.05%) and the complete elimination of cultivated areas (-100%), indicating a possible abandonment of agricultural practices and loss of green spaces. The mangrove forest increased by 14.39%, possibly associated with natural regeneration processes or conservation measures. Areas with water increased by 7.58%, while land without vegetation showed a slight decrease (- 2.82%) and flooded areas remained practically stable (+0.41%). These results show a trend of growing urbanization and a reduction in natural cover, with relevant implications for territorial planning and environmental sustainability. The GEE has shown potential for multiple analytical applications of changes in land use and cover, as a subsidy for the sustainable management of urban areas.

PALAVRAS – CHAVE

Sistemas de Informação Geográfica

Detecção Remota

Uso e cobertura da terra

Imagens Satélite

Google Earth Engine

KEYWORDS

Geographic Information Systems

Remote Sensing

Land use and cover

Satellite Images

Google Earth Engine

ACRÓNIMOS

AFRICOVER - Land Cover Database and Map of Africa

API - Application Programming Interface

CAD - Computer Aided Design

CDROM - Compact Disc Read Only Memory

CENACARTA - Centro Nacional de Cartografia e Teledeteção

CIT - Zona de Convergência Intertropical

CGIS - Canadian Geographic Information System

CMCP – Conselho Municipal da Cidade de Pemba

ERTS - Earth Resources Technology Satellite

ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus

EUA - Estados Unidos da América

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

IIAM – Instituto de Investigação Agrária de Moçambique

INE – Instituto Nacional de Estatística

IDE - Interactive Development Environment

GEE - Google Earth Engine

GIS - Geographic Information System

MSS - Multispectral Scanners System

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NCGIA - National Center for Geographic Information and Analysis

ND - Número Digital

ONG - Organização Não Governamental

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

ÍNDICE DO TEXTO

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT.....	v
PALAVRAS – CHAVE	v
KEYWORDS	vi
ACRÓNIMOS.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	x
LISTA DE ANEXOS	xi
1. Introdução	1
1.1. Motivação	3
1.2. Relevância do estudo	4
1.3. Objectivos.....	5
1.4. Premissas/hipóteses.....	5
1.5. Estrutura da tese.....	6
2. Revisão da literatura	7
2.1. Uso e Cobertura da Terra.....	7
2.1.1. Uso e cobertura da terra em Moçambique	9
2.1.2. Nomenclatura do Uso e Cobertura da Terra.....	10
2.2. Técnicas de detecção de mudanças de uso e cobertura da terra	11
2.3. Uso do Google Earth Engine para detecção de mudanças de uso e cobertura da terra.....	13
3. Materiais e Métodos.....	15
3.1. Área de estudo.....	15
3.2. Caracterização da área de estudo.....	17
3.2.1. Clima.....	17
3.2.2. Geologia.....	17

3.2.3. Topografia.....	20
3.2.4. Solos	21
3.2.5. Hidrografia	23
3.2.6. Vegetação	24
3.2.7. Ambiente marinho e costeiro.....	25
3.3. Metodologia	26
3.3.1. Dados	27
3.3.2. Métodos	28
3.4. Classificação das imagens de satélite	31
3.5. Produção de mapas temáticos.....	34
4. Resultados e Discussão	35
4.1. Classificação supervisionada de imagens satélite para Uso e Cobertura da Terra	35
4.2. Validação e Acurácia do Algoritmo Classificador.....	38
5. Conclusão	49
Referências Bibliográficas.....	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Dados usados para o trabalho	28
Tabela 2: Amostras	32
Tabela 3: Características das Classes de Uso e Cobertura da Terra	33
Tabela 4: Qualidade da classificação baseada no índice Kappa	38
Tabela 5: Classificação de Acurácia (2001)	39
Tabela 6: Classificação de Acurácia (2021)	40
Tabela 7: Balanço de áreas de mudanças no uso e cobertura da terra	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Enquadramento Regional da Área de Estudo	16
Figura 2: Geologia da Área de Estudo	19
Figura 3: Topografia da Área de Estudo	20
Figura 4: Solos da Área de Estudo	22
Figura 5: Hidrografia da Área de Estudo	24
Figura 6: Resumodo fluxograma para elaboração do trabalho	30
Figura 7: Classificação de Uso e Cobertura da Terra para o ano 2001	36
Figura 8: Classificação de Uso e Cobertura da Terra para o ano 2021	37
Figura 9: Principais Mudanças de Uso e Cobertura da Terra entre os anos 2001 e 2021	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Uso e Cobertura da Terra dos anos 2001 e 2021	42
Gráfico 2: Contribuições das diferentes classes para area construída	43
Gráfico 3: Contribuições das diferentes classes para vegetação	43
Gráfico 4: Contribuições das áreas cultivadas para as diferentes classes	44
Gráfico 5: Ganhos e perdas entre 2001 e 2021	45

Grafico 6: Principais Alterações de Uso e Cobertura da Terra dos anos 2001 e 2021	48
---	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Imagens Satelite Landsat 7 do ano 2001 e Landsat 8 do ano 2021	56
Anexo 2: Mapa de Mudancas de uso e cobertura da terra dos anos 2001 e 2021	57
Anexo 3: Quantificação de Mudanças de uso e cobertura da terra dos anos 2001 e 2021	58

1. Introdução

A terra desempenha um papel indispensável para a manutenção da vida no planeta, e é a base para o funcionamento dos ecossistemas terrestres. No entanto, a crescente procura por este recurso para fins agrícolas, florestais e urbanos, afectam negativamente a capacidade dos ecossistemas continuarem a garantir o a qualidade de vida (HALPERN et al., 2008; KAREIVA et al., 2011 *apud* Niquisse & Cabral, 2018).

Pesquisas voltadas à detecção de mudanças ao longo dos anos, auxiliam a compreensão sobre o funcionamento e evolução dos ecossistemas e a interacção existente entre os fenómenos naturais e a actividade humana (Lu et al., 2004). A interferência antrópica sobre a terra e os demais recursos naturais contribuem para estas mudanças e alteram consideravelmente os modelos de uso e cobertura da terra.

É devido a estes factores que surge o despertar de interesse da comunidade científica, como consequência do acelerado processo e aos possíveis impactos ambientais e socioeconómicos dessas mudanças. Neste contexto, torna-se relevante compreender as mudanças no uso e cobertura da terra, para a tomada de decisões relacionadas ao ordenamento do território, tendo em conta os factores socioeconómicos, ambientais, entre outros que influenciam as transformações, (B. Meneses et al., 2013).

A década 60, conhecida como período da corrida espacial, marcou o início do sensoriamento remoto pelos contributos ao rápido desenvolvimento de sistemas de sensores, plataformas de captação de imagens auxiliados pelos foguetes lançadores de satélites, permitiram a colocação de satélites artificiais no espaço, destacando-se os satélites meteorológicos (P. R. Meneses & Almeida, 2012).

Com o aperfeiçoamento das técnicas de geoprocessamento, actualmente elas são responsáveis por representar com maior precisão as transformações espaciais, como mudanças no uso e cobertura da terra, a expansão da área urbana, monitoramento ambiental, agricultura, entre outros, bem como as mudanças

ocorridas nas paisagens de uma determinada região ao longo do tempo, além do monitoramento orbital, permitindo identificar as alterações resultantes da acção humana e processos naturais (Cunha et al., 2012).

Actualmente, diferentes abordagens metodológicas tem sido aplicadas no mapeamento e monitoria do uso e cobertura da terra, tendo em conta a evolução tecnológica que reduzem o tempo de processamento e análise dos dados de sensoriamento remoto, tal é o caso da computação em nuvem. Essa evolução metodológica trouxe um contributo significativo, pela sua elevada capacidade de armazenar e pela rapidez no processamento de um grande volume de dados em escala multitemporal, que antes não era possível, não só pelo tempo, mas também pela onerosidade (Medeiro, 2018).

O *Google Earth Engine*, é uma plataforma acessada e controlada através de uma Interface de Programação de Aplicação (API), e através de navegadores web em um Ambiente de Desenvolvimento Interativo (IDE), que facilita o rápido desenvolvimento de modelos e a visualização dos resultados, mesmo que o usuário não tenha grandes habilidades técnicas no desenho de aplicativos ou em programação web. A plataforma tem a capacidade de gerir um conjunto diversificado de dados socioambientais ligados a protecção ambiental, desflorestamento, desastres naturais, patologias, segurança alimentar, gestão de recursos naturais, observação contínua do clima, reforçada pela grande quantidade de dados geoespaciais constantemente actualizados. Além disso, possibilita que os usuários e pesquisadores partilhem com facilidade os resultados dos seus trabalhos com outros profissionais e o público em geral (Gorelick et al., 2017).

A obtenção e processamento de dados de sensoriamento remoto através da plataforma, contribui para a compreensão das alterações ocorridas no uso e cobertura da terra, facilitando a análise do modelo actual de mudança.

O presente trabalho tem como objectivo fazer uma análise espácio-temporal das alterações no uso e cobertura da terra na Cidade de Pemba com recurso ao Google Earth Engine.

A Cidade de Pemba, capital da Província de Cabo Delgado, localiza-se no extremo oriental norte da República de Moçambique (Figura 1), com uma superfície de 96km² e uma população de 200.529 segundo o IV Censo da População e Habitação realizado em 2017 e em 2022 a população passou para 400.726 (CMCP, 2023; INE, 2019).

Dada a sua importância estratégica no contexto socioeconómico de Moçambique, este trabalho mostra-se relevante, pois seus resultados poderão subsidiar as estratégias de planeamento e ordenamento territorial e ambiental, num contexto de crescente demanda por áreas para investimento, impulsionada pelas actividades de prospecção para exploração de hidrocarbonetos na bacia do Rovuma que resultaram no aumento do investimento na cidade de Pemba.

Além disso, a Cidade de Pemba tem-se tornado um destino preferencial, não apenas pelos investimentos, mas também pela instabilidade provocada pelos conflitos armados que afectam os distritos da região centro e norte da província de Cabo Delgado. Esses conflitos forçaram o deslocamento de mais de 700 mil pessoas em busca de áreas consideradas seguras.

1.1. Motivação

A crescente influência antrópica sobre o meio ambiente tem trazido consequências para o funcionamento e no equilíbrio do ecossistema, o que tem despertado um interesse acrescido a comunidade académica e científica. Nos últimos anos, tem-se verificado o estudo das alterações do uso e cobertura da terra com recurso a imagens de satélite, uma vez que verificava-se a falta de informação georreferenciada.

Considerando o crescente aumento populacional decorrente dos movimentos migratórios forçados, motivados pelos conflitos armados que se registam nos distritos do norte e centro da província de Cabo Delgado, observa-se uma

crescente procura por áreas consideradas seguras, como é o caso da cidade de Pemba. Este fluxo populacional tem impulsionado uma maior pressão sobre os recursos urbanos, especialmente no que refere à demanda por espaços destinados à habitação e à implantação de actividades essenciais à subsistência. Este cenário, despertou o interesse para desenvolver o presente trabalho, cujo objectivo é analisar as mudanças no uso e cobertura da terra na área em estudo utilizando as imagens de satélite, contribuindo para o planeamento territorial e a gestão do espaço urbano.

1.2. Relevância do estudo

O conhecimento das dinâmicas no uso e ocupação da terra são fundamentais para compreender os modelos de organização espacial, constituindo uma ferramenta crucial para subsidiar a tomada de decisão.

As constantes alterações nos ecossistemas provocadas tanto por acções antrópicas, quanto por agentes naturais, trazem consigo impactos ambientais significativos, como a degradação do solo, da vegetação nativa e dos ecossistemas, alteração do regime hídrico, redução da biodiversidade, entre outros. Compreender essas mudanças, tornou-se cada vez mais essencial para o planeamento e ordenamento territorial, além da adopção de práticas de preservação da biodiversidade, assegurando uma gestão sustentável do espaço físico.

As alterações no uso e cobertura do solo são igualmente necessárias para o desenvolvimento socioeconómico, recorrendo ao uso de informações cartográficas confiáveis, para subsidiar políticas socioeconómicas e ambientais eficientes minimizando os efeitos negativos provocados pelo desenvolvimento. Os mapas de uso da de cobertura da terra são ferramentas essenciais para essa finalidade, pois auxiliam na promoção do desenvolvimento sustentável na perspectiva ambiental, e são indispensáveis para o planeamento no âmbito regional ou local (Filho et al., 2007).

A aplicação de detecção remota em períodos distintos, com recurso ao mapeamento, contribuirá para a análise das relações espaciais existentes e arquivadas em ambiente SIG, possibilitando a compreensão dos factores que contribuíram para alteração do uso e cobertura da terra.

1.3. Objectivos

Objectivo geral

O presente trabalho tem como objectivo analisar as alterações de uso e cobertura da terra na Cidade de Pemba, através do Google Earth Engine nos anos 2001 e 2021.

Objectivos específicos

- Identificar e mapear os usos e a cobertura da terra nos anos 2001 e 2021;
- Realizar o mapeamento temático do uso e cobertura da terra nos anos 2001 e 2021, identificando as suas alterações através de uma análise temporal de imagens LANDSAT;
- Elaborar mapas temáticos, espacializando os aspectos físicos da área de estudo que interferiram nas alterações de uso e cobertura da terra;
- Quantificar as alterações de uso e cobertura da terra nos anos 2001 e 2021.

1.4. Premissas/hipóteses

As imagens de satélite tem apresentado excelentes resultados quando utilizadas para identificar alterações da paisagem em diferentes áreas, por essa razão, espera-se igualmente que possam apresentar resultados satisfatórios para o presente trabalho, tendo em conta a metodologia que será empregada.

Como hipóteses para o trabalho apresentam-se as seguintes:

- As actividades antrópicas de uso da terra no decorrer dos anos contribuíram para a redução da cobertura vegetal, portanto, estas alterações resultantes do uso e cobertura da terra são passíveis de análise multi-espacial;
- A crescente demanda por áreas destinadas a habitação e serviços, influencia nas alterações de uso e cobertura da terra, pois a população é obrigada a

procurar áreas alternativas para habitação e outras actividades indispensáveis à vida.

1.5. Estrutura da tese

O presente trabalho está estruturado em 5 capítulos, conforme se descreve a seguir:

Capítulo 1: Introdução

Neste capítulo, apresentam-se o contexto geral do trabalho, a motivação que o fundamenta, os objectivos propostos e as principais contribuições do trabalho.

Capítulo 2: Fundamentação Teórica

Este capítulo é dedicado a apresentação dos conceitos teóricos que sustentam a pesquisa, com destaque para os principais métodos de detecção de mudanças no uso e cobertura da terra.

Capítulo 3: Materiais e Métodos

Neste capítulo, descreve-se a área de estudo, os dados utilizados e a metodologia aplicada para detectar mudanças, especificamente os passos usados para o processamento dos dados, bem como a identificação das classes de cobertura e das alterações, definição dos parâmetros das segmentações adoptadas em cada conjunto de dados, o processo de classificação do uso e cobertura bem como das alterações e os procedimentos de avaliação da acurácia.

Capítulo 4: Resultados e discussão

Este capítulo é dedicado a apresentação e análise qualitativa e quantitativa dos resultados alcançados.

Capítulo 5: Conclusão e Recomendações

É dedicado a sintetização da conclusão do estudo, destacando os principais resultados e limitações, bem como propostas de melhorias e recomendações para futuros trabalhos.

2. Revisão da literatura

2.1. Uso e Cobertura da Terra

A análise das formas de uso e ocupação da terra, mostra-se relevante para a compreensão dos modelos de organização do espaço, razão pela qual o monitoramento da paisagem se torna crucial, por forma a contribuir para o planeamento sustentável da utilização do solo (Venturieri e Santos, 1998) *apud* (Valadares, 2017).

Pela sua similaridade, há uma necessidade de distinguir os conceitos de uso e cobertura da terra, pois frequentemente são usados sem distinção. A cobertura da terra refere-se a condição biofísica da superfície, e localiza-se logo abaixo desta, e abrange tanto a quantidade quanto o tipo de cobertura vegetal, dos corpos de água e de outros elementos e estruturas, sejam eles naturais ou resultantes da acção humana, que é exactamente o que as imagens de sensoriamento remoto conseguem capturar (Filho et al., 2007; Lu et al., 2004). Ao passo que o uso da terra envolve não apenas os atributos biofísicos, mas também as actividades realizadas e a finalidade do seu uso pela acção humana, algo que, nesse caso, não podem ser captadas pelas imagens. Compete ao usuário identificar as relações entre reflectâncias, textura, estrutura e padrões com objectivo de extrair informações sobre as actividades de uso, com base nos dados referentes a cobertura da terra.

Para compreender a alteração do uso e cobertura da terra é fundamental descrever a utilização e os agentes envolvidos, onde a classificação e o seu uso devem ser analisadas em conjunto. É igualmente crucial identificar o tipo de mudanças existentes na cobertura da terra, geralmente identificados por conversão e modificação. A conversão está relacionada a remoção total de um tipo de cobertura, que dará lugar a outra, ao passo que modificação refere-se a alterações imperceptíveis que mudam os elementos distintivos da cobertura sem alterar sua classificação geral, esta conversão pode ser resultado de um processo de modificação (Lambin & Geist, 2006).

A identificação das alterações decorrentes de processos de conversão exige menos esforço quando comparada às decorrentes de processos de modificação, geralmente os processos de conversão provocam alterações rápidas, necessitando uma quantidade reduzida de imagens de boa resolução temporal (Reis, 2014).

Várias são as áreas que necessitam de informações actualizadas sobre o uso e cobertura da terra, como por exemplo: mapeamento de recursos hídricos, monitoramento de inundações, localização de áreas em estágios avançados de erosão, avaliação de impacto ambiental, formulação de políticas econômicas etc. Contudo, não existe uma classificação de uso e cobertura da terra que seja exclusiva e perfeita, cada uma é projectada para responder as exigências do utilizador e ajustadas à cada região (ROSA, 2013).

As ferramentas mais usadas para avaliação das alterações no uso e cobertura da terra são o sensoriamento remoto e geoprocessamento, sobretudo pela frequente actualização de dados, eficiência no processamento e a acessibilidade nos custos associados (Vaeza et al., 2010) *apud* (Valadares, 2017).

De acordo com (ROSA, 2013), há uma variedade de processos metodológicos adoptados para o levantamento e mapeamento de categorias de uso e cobertura da terra, mas de forma geral as etapas compreendem:

- Elaboração de um mapa base contendo os limites da área de estudo, redes de drenagem, coordenadas geográficas, sistema viário, entre outros;
- Elaboração de uma chave de interpretação, baseada nos elementos de análise presentes na imagem, nomeadamente, a tonalidade, a cor, a textura, a forma, o tamanho, o padrão, entre outros;
- Avaliação visual preliminar das imagens, ou seja, a classificação;
- Trabalho de campo cujo objetivo é definir a correlação entre os elementos identificados na imagem e os elementos presentes no terreno, assim como a validação do mapeamento;
- Avaliação visual final, ou classificação, para rever a interpretação realizada inicialmente e depois do levantamento dos dados em campo;

- Elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal.

2.1.1. Uso e cobertura da terra em Moçambique

Actualmente, a colecta de dados de sensoriamento remoto com recurso a satélites é reconhecida como a mais eficaz para acompanhar a evolução dos fenómenos naturais e a constante e crescente diversificação de tipos de ocupação do espaço físico pela acção antrópica, particularmente em países territorialmente extensos, como é o caso de Moçambique (Hamada & Gonçalves, 2007).

De acordo com a base cartográfica ¹ disponibilizada pelo CENACARTA, Moçambique possui um banco de dados de uso e ocupação da terra em escala 1:250.000, elaborado em 1996 com base em fotografias aéreas e imagens de satélite, complementado por trabalhos de campo e uso de mapas analógicos. O banco de dados classifica o uso e cobertura da terra em categorias, a saber, arbustos baixos, cultivados de regadio, matagais médios, cultivo de sequeiro, matagal aberto, formação vegetal natural, zonas inundáveis, mangais, plantação ou campos cultivados e área para habitação urbanizada e semi-urbanizada.

O processo de levantamento de dados seguiu a metodologia usada para o inventário florestal realizado pelo Instituto de Investigação Agronómica (IIAM), e a classificação baseou-se no projecto AFRICOVER da FAO ², com categorias definidas para a cobertura da terra, como natural e antropogénica.

Considera-se cobertura natural, a área cujo tipo de cobertura é apresentado com uma cor e modelo característico, considerando-se áreas homogéneas compostas exclusivamente por objectos da mesma classe, embora seja menos complexo identificar na escala 1: 50 000 quando comparado com a escala 1: 250 000.

¹ Base cartográfica de Moçambique, disponível no CENACARTA, acessada a 14 de Novembro de 2024

² O projecto AFRICOVER, tinha como objectivo criar uma base de dados digital georeferenciada sobre uso e cobertura da terra para toda a África, e uma referência geográfica (geodésia, toponomia, estradas, hidrografia) à escala 1:200.000 a 1:250.000.

Considera-se cobertura antropogénica, as áreas com a combinação de múltiplas classes de cobertura da terra em diferentes dimensões, e as áreas seleccionadas apresentam homogeneidade apenas quanto ao seu padrão de heterogeneidade.

2.1.2. Nomenclatura do Uso e Cobertura da Terra

Segundo o mapa de uso e cobertura do solo³ produzido pelo CENACARTA, os tipos de cobertura da terra existentes em Moçambique, usam a seguinte nomenclatura:

- a) Área residencial urbanizada e semi - urbanizada, regiões ocupadas por infraestruturas, de intensa actividade humana com alta ou media densidade populacional.
- b) Cultivo de sequeiro, regiões de prática de actividade agrícola, sem uso de sistemas de irrigação artificial, geralmente usada para culturas de subsistência como milho, feijão e mandioca.
- c) Solo exposto / solo sem vegetação, geralmente lamacentos e salinidade moderada das áreas baixas, podendo ser rochosos das zonas altas ou montanhas, ou ainda arenosos, localizados na sua maioria ao longo da costa, do curso dos rios, no leito menor dos rios, etc.
- d) Mangais, formações vegetais associadas a terrenos alagáveis, salinos e salobres, podendo ainda ocorrer em solos sem vegetação, lamacentos, e caracterizam-se por apresentar raízes aéreas.
- e) Campos inundáveis, áreas sujeitas a inundações periódicas com vegetação adaptada a presença da água, podem ser inclusas zonas húmidas naturais.
- f) Moita, correspondem a formações compostas por arbustos de baixa estatura, geralmente com altura que varia de 50 centímetros a mais de 2 metros, e desenvolvem-se em áreas de alta exposição ao vento, temperatura baixa, pouca profundidade, onde as plantas lenhosas de grande porte são limitadas.

³ Mapa de uso e cobertura do solo disponível em <https://www.mozgis.gov.mz/portal/home/item.html?id=4a79fb2557384ac48882aa7f6da926f9> (acessado em Novembro de 2024)

- g) Vegetação herbácea, são predominantemente revestidas por gramíneas ou outras ervas, e representam as primeiras formações fisionomicamente dominantes no ambiente, podendo ser naturais causadas pelas restrições sejam elas temporárias ou permanentes dos solos alagados, solos de pouca profundidade ou pobres em nutrientes e antropogénicas resultante da acção humana, como desflorestamento para a prática de actividades agrícolas, pastorícia, queimadas descontroladas, etc.
- h) Bosque aberto a denso, ocorrem em diversas condições climáticas e edáficas, correspondem as áreas com cobertura arbórea variando entre 40% e mais de 70%, variando desde as formações menos densas, bosque aberto, até áreas com maior concentração de árvores, bosque denso.
- i) Vegetação herbácea arborizada, são formações de transição entre campos abertos e florestas mais densas, onde a distribuição de plantas lenhosas encontra-se entre 10 e 40% de cobertura, predominam gramíneas e plantas baixas.
- j) Vegetação herbácea com árvore anã, ocorrem em áreas cujos solos são superficialmente pedregosos com restrições no solo que limitam o crescimento íntegro da floresta. Parte destas árvores representam o estrato lenhoso, quando as accoes do homem aumenta, há uma modificação das áreas de formação lenhosa arbustiva para formação herbácea com árvores anãs “antropogénico”.

2.2. Técnicas de detecção de mudanças de uso e cobertura da terra

Detectar as mudanças de uso e cobertura da terra é extremamente importante para a obtenção de dados contínuos e precisos sobre a área de estudo para qualquer tipo de planeamento. Os Sistemas de informação geográfica e a detecção remota têm mostrado suas grandes capacidades para resolver várias questões em estudo, como o uso da terra e mudanças na cobertura da terra.

Segundo Singh (1989), detectar mudanças é um processo que consiste na identificação das alterações de um objecto ou fenómeno, em diferentes estados,

através da observação em períodos distintos. Assim sendo, o mapeamento do uso e da cobertura da terra pode ser conduzido manualmente através da interpretação visual de imagens (vectorização) ou de forma informatizada com base nos algoritmos de classificação, que podem ser supervisionados ou não supervisionados. Essa técnica de classificação é conhecida como Classificação Digital de Imagens, e consiste na rotulagem um píxel da imagem, associando-o a uma classe, que detecta o uso em uma determinada área.

Para Meneses & Almeida (2012), as técnicas para identificar das alterações podem ser classificadas com base nos diferentes elementos, entre os quais, a distinção das datas usadas, a pertinência de treinar o algoritmo que identifica as mudanças e o procedimento realizado. Grande parte dos autores, defendem que as abordagens estão relacionadas à detecção de mudanças utilizando imagens ópticas e diferencia as técnicas que identificam essas alterações entre supervisionadas e não-supervisionadas, onde as técnicas supervisionadas necessitam de amostras de cada classe para treinar o classificador enquanto que nas técnicas não-supervisionadas o conjunto de dados é analisado de modo a permitir a detecção das alterações sem necessidade de treinar previamente.

Castellana et al., (2007), apresenta uma nova abordagem para análise das alterações com base na combinação de técnicas de classificação supervisionada e classificação não supervisionada, e defende ainda que a outra forma de compreender o processo de uso e cobertura da terra é usando autómatos celulares, que são úteis tanto para detectar as alterações no uso e cobertura da terra, como também para prever as mudanças futuras.

Para Anderson et al. (1976) *apud* (Filho et al., 2007), não existe um método único de classificação de uso e cobertura da terra. Eles propõem um primeiro método de classificação que utiliza dados de sensoriamento remoto, onde espera-se que os métodos de classificação favoreçam no mínimo o reconhecimento das categorias com base em uma linguagem clara, a partilha dos dados e das classes determinadas, bem como a generalização da informação. Esses métodos devem

conter o máximo possível de dados, permitindo que o usuário agregue em níveis mais generalizados ou subdivida em novos níveis, de acordo com os resultados esperados. Os autores fazem referência ainda, para o alcance mínimo de precisão para analisar as categorias de uso da terra e cobertura da terra, e a precisão para as diferentes categorias a partir de imagens de sensoriamento remoto, deve ser de pelo menos 75%.

Lu et al., (2004), defendem que para realização de investigações eficazes em detecção de alterações, é necessário ter a capacidade de detectar a ocorrência ou não de alterações e fornecer dados sobre a área, a taxa, a distribuição espacial e o tipo de alteração. O processo de análise de detecção de mudanças, com dados do sensoriamento remoto, envolve diferentes fases, a saber: identificação das causas das alterações; escolha de dados apropriados; processamento das informações; escolha das variáveis relevantes; escolha do algoritmo de análise; e avaliação dos resultados alcançados.

2.3. Uso do Google Earth Engine para detecção de mudanças de uso e cobertura da terra

As imagens de satélite constituem a solução de menor custo para os estudos sobre alterações no uso de terra, mapeamento de solos e cobertura da vegetação, ainda que se tenha menor precisão quando comparado com as fotografias aéreas (Dias, 2010).

De modo geral, a análise de informação com recurso ao sensoriamento remoto exige uma grande capacidade de armazenamento e processamento, tanto através de *softwares* de geoprocessamento ou linguagens de programação, sempre que forem usadas séries históricas. Entretanto, destaca-se recentemente uma plataforma inovadora para processamento de dados de detecção remota, o *Google Earth Engine*, que integra um catálogo extenso com imagens de satélite e dados geoespaciais associadas a ferramentas para análise na escala global e compartilha de forma gratuita a pesquisadores, cientistas e desenvolvedores para identificar

alterações, identificar padrões e quantificação de transformações na superfície da Terra (Pereira et al., 2018).

Segundo Gorelick *et al.* (2017) *apud* Pereira et al., (2018), para a realização de análises espaciais, o Google Earth Engine utiliza a computação em nuvem pela capacidade operacional de gerir múltiplos desafios sociais de grande relevância, como, o desflorestamento, preservação do meio ambiente, estiagem prolongada, os desastres naturais, epidemias, segurança alimentar, gestão de recursos naturais, monitoramento climático. Além disso, a plataforma é um serviço de computação altamente eficiente, que é acessado e gerenciado por meio de uma interface de programação de aplicativos com acesso remoto via internet, e por um ambiente de desenvolvimento dinâmico conectado à Web que possibilita o desenvolvimento de modelos e visualização dos resultados de forma ágil e eficiente.

O levantamento do uso e cobertura do solo demonstra a distribuição espacial dos diferentes tipos de uso, com base em padrões uniformes da cobertura da terra, por forma a alcançar uma representação temática da superfície terrestre compilada em um mapa. A cobertura do solo corresponde aos elementos físicos presentes na superfície terrestre como vegetação, campos cultivados, corpos de água e áreas construídas, enquanto o uso do solo é a função a que serve, representando várias ações antrópicas com a intenção de beneficiar-se dos produtos fornecidos pelo meio ambiente (Carvalho et al., 2021).

3. Materiais e Métodos

3.1. Área de estudo

A Cidade de Pemba é a capital da Província de Cabo Delgado, localiza-se no extremo oriental norte da República de Moçambique (Figura 1), com uma superfície de 96km² e uma população de 200.529 segundo o IV Censo da População e Habitação realizado em 2017 (INE, 2019). Devido a situação de insegurança provocada pelos ataques terroristas, que afectou os distritos da região norte e centro da província de Cabo Delgado, o número da população aumentou para 400.726 habitantes (CMCP, 2023). A Cidade situa-se junto a Baía de Pemba que é considerada a terceira maior Baía natural do mundo e a maior de África, com cerca de 14 Km no sentido Norte-Sul e 11.5 Km no sentido Este-Oeste.

Dada a sua importância estratégica no contexto socioeconómico de Moçambique, este trabalho se torna relevante, pois seus resultados poderão subsidiar as estratégias de planeamento e ordenamento territorial e ambiental. Isso ocorre numa altura em que cresce a demanda por áreas para investimento, impulsionada pelas actividades de prospecção para exploração de hidrocarbonetos na bacia do Rovuma que resultaram no aumento do investimento na cidade de Pemba.

Nos últimos anos, também houve uma crescente procura de áreas para habitação na Cidade de Pemba, não apenas pelos investimentos, mas também pela instabilidade causada pelos conflitos armados que afectam os distritos da região centro e norte da província, o que forçou o deslocamento de mais de 700 mil pessoas em busca de áreas consideradas seguras. Sendo a capital da província de Cabo Delgado, a Cidade de Pemba conta com uma infraestrutura mais desenvolvida em comparação a outras áreas da província, oferecendo acesso à assistência humanitária, serviços de saúde e outras necessidades básicas, o que atrai a população que se deslocada em busca de apoio (República de Moçambique, 2021) .

A combinação de factores ligados ao deslocamento, os desastres naturais e a vulnerabilidade socioeconómica da população agravou os deslocamentos forçados,

3.2. Caracterização da área de estudo

3.2.1. Clima

A cidade de Pemba enquadra-se na zona tropical, com Clima Tropical Quente e Húmido que sofre influência da Baía de Pemba e da sua proximidade da corrente quente do Canal de Moçambique. Possui duas estações quentes com um curto período de transição entre elas. O Verão quente e Húmido, coincide com a estação Chuvosa que vai de Novembro a Abril, ao passo que o Inverno seco e quente coincide com a estação seca que vai de Março a Outubro, onde os meses de Agosto são verdadeiramente secos (CMCP, 2023).

No verão, a temperatura média varia entre 25°C e 27°C, enquanto no inverno regista-se a média de 22°C a 25°C, e a média anual ronda nos 24,7°C.

De acordo com informações da Estação Meteorológica de Pemba, os índices de pluviosidade atingem os 1084 mm/ano, verificando-se efeitos das depressões costeiras, sobretudo nos meses de Abril a setembro, apresentando características de sub-tropicalidade e períodos de transição entre as duas estações nos meses de Março e Outubro.

Apesar da variação anual da velocidade do vento não ser significativa, há alturas do ano em que, devido à baixa percentagem de humidade na atmosfera, algumas regiões da faixa costeira são assoladas por ventos secos, com maior incidência no período de transição da estação seca para a estação das chuvas.

3.2.2. Geologia

A geologia da Cidade de Pemba (Figura 2) é dominada por rochas do Quaternário que compreendem aluvião recente, areias em lamelas e cascalhos locais em associação com a areia não consolidada, arenito e formação conglomerada de Mikindani. Os solos aluviais são pouco desenvolvidos, excepto em alguns trechos dos principais rios. Uma pequena percentagem da zona costeira também possui recifes marinhos, corais e sedimentos bioclásticos também formados durante o período Quaternário (CMCP, 2023).

A oeste do planalto de Pemba, ocorrem margas e conglomerados com concreções calcárias atribuídas ao Cretáceo Superior.

O Cenozóico é representado por terrenos terciários e quaternários, cobertos por depósitos transgressivos com matriz argilosa, níveis conglomeráticos e calhaus de rochas cristalinas. A origem pode estar ligada à sedimentação continental, fluvial e eólica, mas foi alterada, o que dificultou a identificação das estruturas originais.

Segundo a carta geológica, formações marinhas recentes do Quaternário cobrem toda a cidade de Pemba. São formações dunares ao longo da costa, com posição estratigráfica do Pleistoceno Médio. No litoral, há recifes e, em áreas protegidas, florestas de mangal.

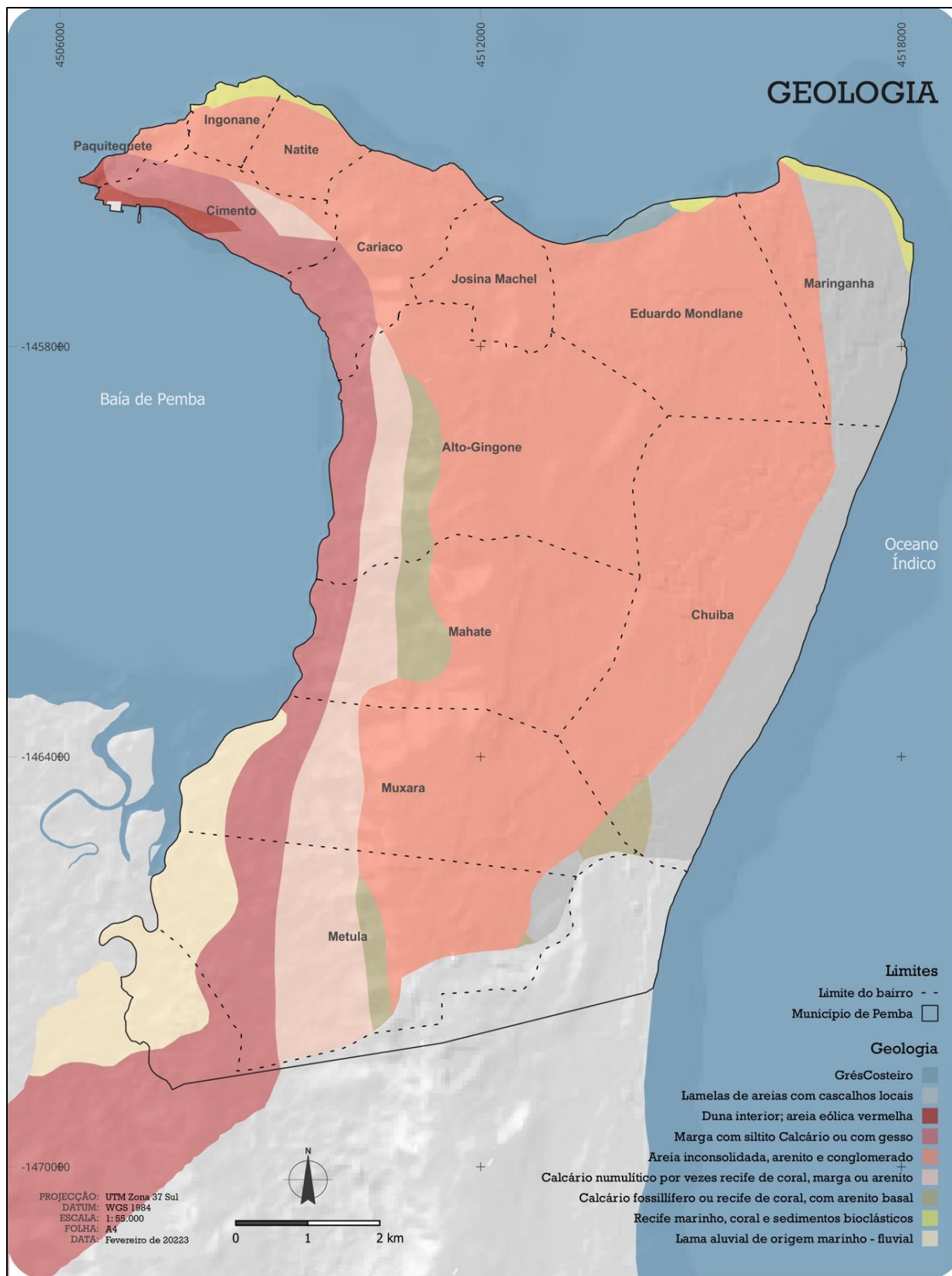


Figura 2: Geologia da Área de Estudo

Fonte: CMCP (2023)

3.2.3. Topografia

A Cidade de Pemba assenta em parte sobre planícies costeiras com elevações tipicamente abaixo de 25 metros e com uma linha de costa que se situa a cerca de 5 metros acima do nível médio do mar (Figura 3). A topografia do lado Oeste da península é variável, elevando-se o terreno de forma acentuada, formando uma encosta íngreme para o lado da Cidade, até aproximadamente 60 metros acima do nível médio do mar. Do lado do oceano o gradiente é menos acentuado, sendo o terreno ligeiramente inclinado em direcção ao mar. A variação topográfica do eixo longitudinal quer para o eixo a Oeste quer para o eixo Este é marcado por declives bastante acentuados partindo de cotas de 100 metros para 5 metros com declives acentuados até mais de 30% na zona ocidental (CMCP, 2023).

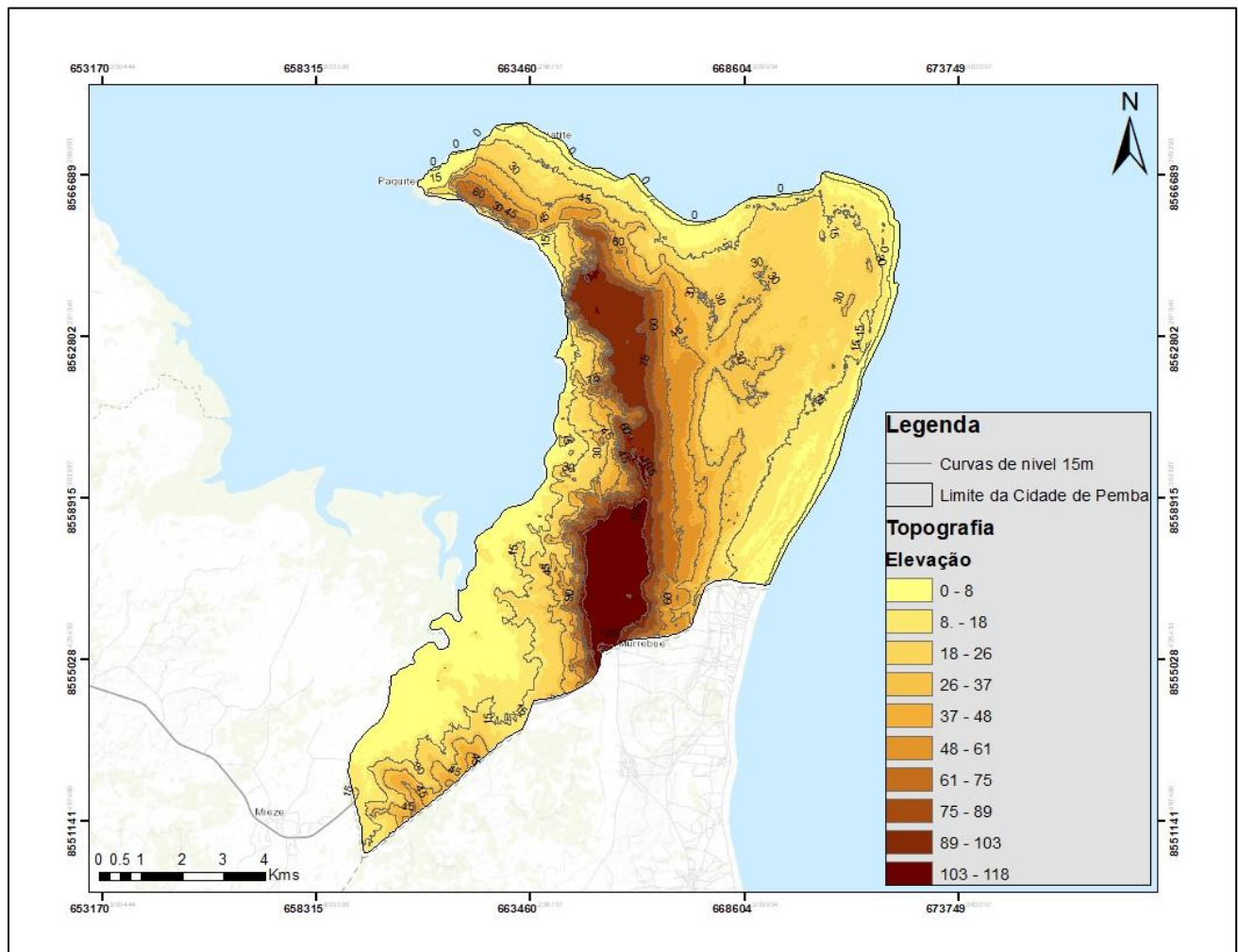


Figura 3: Topografia da Área de Estudo

Fonte: <http://www.opentopography.org/> (2005), elaborado pelo autor

3.2.4. Solos

A cidade de Pemba é predominada por solos argilosos profundos a pouco profundos sobre rocha não calcária (Ws + Wc), ocupando cerca de 50% da área total da cidade de Pemba, seguindo-se os Solos pouco profundos sobre rocha calcária (Wpk), que ocupa cerca de 30% de Pemba (Figura 4).

No extremo oeste da cidade é caracterizada por Solos argilosos profundos sobre rocha não calcária (Wc) com cerca de 15% e Solos pouco profundos sobre rocha não calcária (Wp) ocupando cerca de 10%. Na zona litoral, a leste da cidade, os solos são essencialmente arenosos esbranquiçados (Ab), ocupando cerca de 4% (CMCP, 2023). Os solos aluvionares e coluvionares cobrem a maior parte da Cidade de Pemba. Podem ser reconhecidos três tipos, nomeadamente:

- Solos de areia branca carregada de paleo-praia (tal como em Chuiba e arredores): Os solos têm baixa fertilidade. (O cajueiro é a árvore mais comum);
- Solos de areia ou argila vermelha (como em Mahate) – para além dos cajueiros e coqueiros, o milho e o feijão são cultivados nestes solos; e
- Solos argilosos nas zonas baixas (como em Natite) – estes solos têm fraca capacidade de suporte e são responsáveis pelos problemas dos arruamentos no bairro..

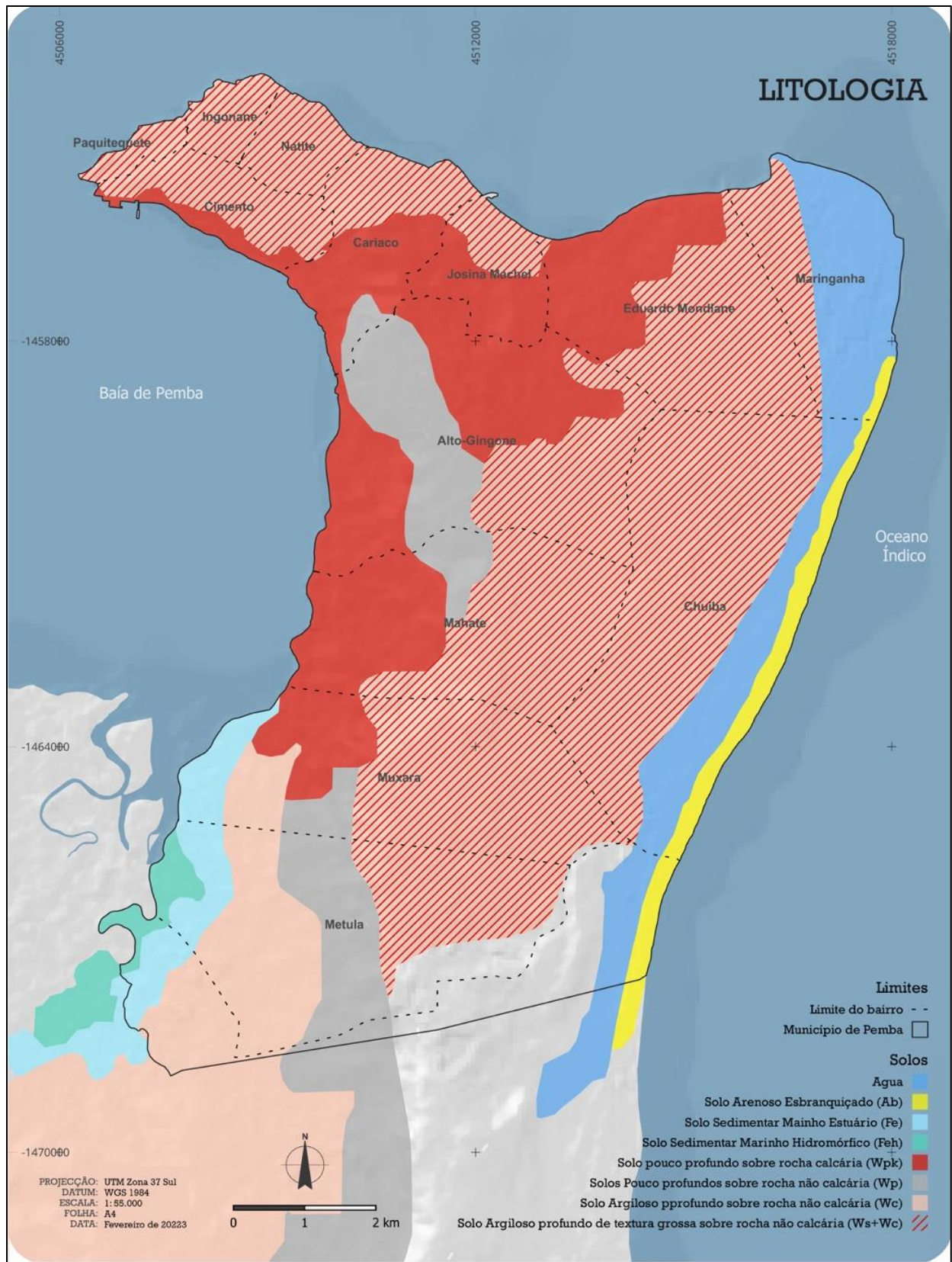


Figura 4: Solos da Área de Estudo

Fonte: CMCP, 2023

3.2.5. Hidrografia

Os Aquíferos Subterrâneos de água têm sido as principais e até a única fonte de água para alguns bairros. Elas têm uma grande potencialidade de aliviar o problema de abastecimento de água em algumas zonas onde vivem comunidades menos favorecidas da Cidade de Pemba.

Os aquíferos em solos permeáveis capeados por argilas – a camada de calcarenito que aflora nos vales em ambos os lados da crista do bloco de Pemba não apresenta bons aquíferos. A camada da rocha está inclinada, com uma ligeira inclinação de 1:150 para Oeste. A linha de nascente de água fica ao longo de 70 m de contorno no lado Oriental da crista, e ao longo de 60 m de contorno no lado ocidental da crista (Figura 5).

Existe uma série de furos de captação no bairro de Chuiba onde os solos são arenosos e grosseiros em dunas com água doce. Vários outros poços podem ser abertos no lado interior da duna. Deve, contudo, ter-se em mente que a quantidade de água envolvida é limitada, a captação excessiva de água irá simplesmente secar o aquífero e isso será seguido por uma intrusão salina.

Nas zonas de Paquitequete e Natite situadas num nível inferior, os poços foram feitos onde a superfície de água é mais elevada (1,5 – 2,0 m). A água é salobra e turva, mas as pessoas continuam a bebê-la na ausência de uma alternativa. Uma observação geral é de que a água tirada de um poço perto de um coqueiro tende a ser menos salobra (CMCP, 2023).

Os vales em ambos lados da crista do bloco de Pemba são idealmente adequados para a recolha das águas pluviais.



Figura 5: Hidrografia da Área de Estudo

Fonte: CMCP, 2023

3.2.6. Vegetação

Pemba enquadra-se no mosaico de floresta costeira de Zanzibar-Inhambane do sul com um elevado endemismo nas suas regiões do norte. Assim sendo, dois tipos de florestas têm sido identificados na área da Cidade de Pemba, nomeadamente, as Florestas Costeiras secas e Bosques Costeiros. As Florestas Costeiras secas, são formações encontradas dentro de 50 a 150 m da costa com um dossel fechado ou quase fechado (CMCP, 2023).

A vegetação da Baía de Pemba está sob a influência de factores antropogénicos, tais como o desmatamento para assentamentos humanos e da agricultura de subsistência bem como para a extração de produtos florestais.

Actualmente, a vegetação natural na Cidade de Pemba incluem manchas dominadas por árvores de imbondeiros que estão espalhadas pelos bosques e onde

os moradores praticam agricultura de subsistência. Os imbondeiros são uma espécie importante que pode exigir protecção. Uma parte da floresta seca e intacta encontra-se a norte da Baía de Pemba e oferece condições para a prática do ecoturismo, actividades de lazer como passeios em trilha e observação. A mata costeira fechada é dominada por uma cobertura de árvores baixas, em mosaico com arbustos, geralmente em crescimento emaranhado, com a presença de espécies da família fabaceae como uma característica cospícua.

Como anteriormente se referiu, na cidade de Pemba, os extratos de vegetação diferente quando existentes, normalmente não são facilmente distinguíveis. A presença de espécies de acácias e outras espécies é uma característica proeminente em matas abertas e fechadas. Espécies de palmeiras ocorrem nas terras baixas e com solos mais escuros e húmidos.

Quanto a fauna, existe pouca informação documentada sobre a diversidade e a abundancia de fauna na Cidade. Um número significativo de aves, mamíferos de pequeno e médio porte e répteis são reportados como existirem a ocorrência de anfíbios e de um grande número de espécies de insectos também é de esperar.

3.2.7. Ambiente marinho e costeiro

A Cidade de Pemba, situa-se dentro da Eco-região Marinha da África Ocidental e os habitats que ocorrem dentro da região incluem praias arenosas/Zona entre marés, estuários e mangais, recifes rochosos/coral, tapetes de ervas marinhas e bancos de algas (CMCP, 2023).

Na Baía, os recifes de coral ocorrem ao longo a península de Londo e os relatos mostram que a península de Londo possui uma das mais elevadas diversidades de corais relatadas para a região Oeste do Oceano Indico. Os corais representam uma grande atracção turística, ao mesmo tempo, protegem a costa da acção erosiva e constituem áreas com grande potencial para a reprodução e desenvolvimento de algumas espécies marinhas.

Ao longo da costa da Cidade, existem vários pequenos estuários associados a mangais e pântanos e são áreas importantes de reprodução para crustáceos e várias espécies de peixe.

Com cerca de 27 km² de cobertura, os mangais são importantes na prevenção da erosão costeira e das margens fluviais, na mitigação de inundações e na reprodução de várias espécies incluindo aves.

A área da Baía de Pemba é frequentada também por espécies como, as baleias e golfinhos apesar de algumas delas serem maiores em tamanho e composição estrutural das suas populações e exigem grandes extensões de praias de areias acima da área de inundação de maré para fazer o seu ninho. A zona entre marés e mangais presente na Baía de Pemba fornece habitats adequadas a uma grande variedade de espécies de aves e não só. Na região norte de moçambique, os peixes são predominantemente compostos por espécies demersais seguido por espécies de tubarões pelágicos e raias.

3.3. Metodologia

Para o alcance dos objectivos do trabalho que consistem em analisar as alterações de uso e cobertura da terra na Cidade de Pemba, com recurso ao Google Earth Engine nos anos 2001 e 2021. A seguir, descrevem-se os procedimentos adoptados neste trabalho, cuja síntese pode ser visualizada na Figura 6.

Para fundamentar teoricamente o trabalho, desenvolveu-se um levantamento bibliográfico abrangente, permitindo a construção de um referencial teórico sobre as temáticas da pesquisa. O levantamento envolveu a consulta de artigos científicos, livros e outros materiais técnicos que abordem temas como geoprocessamento, sensoriamento remoto e mudanças no uso e cobertura da terra.

Nessa etapa, foram seleccionadas as fontes de dados espaciais e as técnicas analíticas mais adequadas considerando as ferramentas existentes no Google Earth Engine.

Vários métodos foram desenvolvidos e introduzidos para medir as mudanças na cobertura da terra, seja através das mudanças térmicas da superfície da terra, observação de índices de vegetação, pós-classificação e muito mais (Wahap & Shafri, 2020). Em todos eles há factores limitantes que vão desde a definição da escala temporal e a disponibilidade de imagens, bem como as técnicas a empregar para o pré-processamento das imagens.

Para o presente trabalho o método a usar será o processamento de imagens em nuvem por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE), considerada mais acessível e rápida para realizar análises espaciais e processamento de dados em áreas maiores, como é o caso da área de estudo e será dividida nas seguintes etapas:

1. Definição dos materiais e métodos;
2. Colecta de dados e construção da base de dados;
3. Composição de mosaicos;
4. Classificação supervisionada;
5. Treinamento dos classificadores;
6. Validação;
7. Exportação de resultados;
8. Análise e discussão dos resultados

3.3.1. Dados

Para análise espacial e temporal das alterações no uso e cobertura de terra, foram utilizadas imagens de satélite Landsat de diferentes anos e sensores, conforma apresentado na tabela 1. As imagens utilizadas foram obtidas na plataforma Google Earth Engine, a partir de colecções “**Collection 2 Tier 1 TOA Reflectance**”, que fornecem dados calibrados de reflectância no topo da atmosfera.

As imagens de Landsat 7 ETM⁺ do ano 2001, pertencem a colecção LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA. Esta colecção inclui imagens com resolução

espacial de 30 metros para bandas multiespectrais, sendo adequadas para análises de uso e cobertura da terra.

As imagens de Landsat 8 OLI, referentes ao ano 2021, foram extraídas da colecção LANDSAT/LC08/C02/T1_T2. Esta colecção apresenta dados multiespectrais também, com resolução de 30 metros, com melhor qualidade radiométrica e geométrica em relação aos sensores anteriores. As imagens da Collection 2 Tier 1 foram pré-processadas com parâmetros de calibração refinados, oferecendo dados consistentes para a análise multiespectral.

O limite da area de estudo foi definido com base nos dados vectoriais disponibilizados pelo CENACARTA (Centro Nacional de Cartografia e Teledeteccção) do ano 1999.

Tabela 1: Dados usados para o trabalho

Dados	Ano de produção	Bandas	Resolução (metros)
Landsat 7 (ETM+)	2001	Multiespectral	30
Landsat 8 (OLI)	2021	Multiespectral	30
Limite da área de estudo	1999	-	1:250 000

3.3.2. Métodos

A metodologia adoptada para a realização do presente trabalho, consistiu na aplicação de técnicas de detecção remota e processamento digital de imagens recorrendo a plataforma Google Earth Engine através de script na linguagem JavaScript, inseridos na Interface de Programação de Aplicação (API).

O processamento e análise das imagens foram efectuados com auxílio da interface de programação do GEE, que permite a manipulação e análise de grande volume de dados em nuvem.

O mapeamento do uso e cobertura de terra começou com a delimitação da área de estudo, a cidade de Pemba, utilizando dados vectoriais externos disponibilizados pelo CENACARTA e a interface do GEE.

Durante o processo de colecta de dados e construção da base de dados, foram seleccionadas imagens da colecção LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA (para o ano 2001) e LANDSAT/LC08/C02/T1_T2 (para o ano 2021) do período de 01/01/2001 a 31/12/2001 e 01/01/2021 a 31/12/2021, foi aplicado um filtro para seleccionar por ordem decrescente somente a imagem com menor nível de cobertura de nuvens (<10%) e gerar mosaicos temporais que permitiu obter um conjunto de cenas de imagens para os dois anos, cobrindo a área de estudo.

Estes índices foram combinados com as bandas espectrais originais para compor os vectores de entrada de classificação.

A classificação das imagens foi realizada no GEE, com base no método de classificação supervisionada, que consiste em dividir a imagem de entrada em classes definidas a partir de áreas de treinamento ou amostras disponibilizadas pelo treinador, devendo estas ser espacialmente homogêneas e representar feições distintas para que o sistema tenha capacidade de identificar os padrões na imagem. Para treinar a amostra o algoritmo escolhido foi o Random Forest que é um algoritmo de aprendizado de máquina baseado em árvores de decisão que associa múltiplas árvores para melhorar a precisão da classificação e reduzir o risco de overfitting (Fernandes et al., 2020).

As classes de uso e cobertura da terra foram determinadas tendo em conta a tipologia de ocupação predominante disponibilizadas pelo CENACARTA, nomeadamente: 1) Área urbanizada; 2) Solo sem vegetação; 3) Mangal 4) Vegetação; 5) Área cultivada; 6) Água; 7) Área inundável.

O treinamento do classificador foi realizado com base nas amostras colectadas em cada classe de uso e cobertura de terra e o resultado da classificação para os anos 2001 e 2021 foi exportado para o software ArcMap 10.5, para elaboração dos mapas temáticos.

A validação e a acurácia da classificação foram determinadas por meio da Matriz de Confusão (índice kappa), que consiste em uma tabela cruzada simples entre os rótulos atribuídos à classificação e os dados de referência gerados pelo sistema. A matriz apresenta os valores que indicam o nível de acerto do algoritmo em relação às amostras dos pixels colectados e identificadas conforme a classe correspondente.

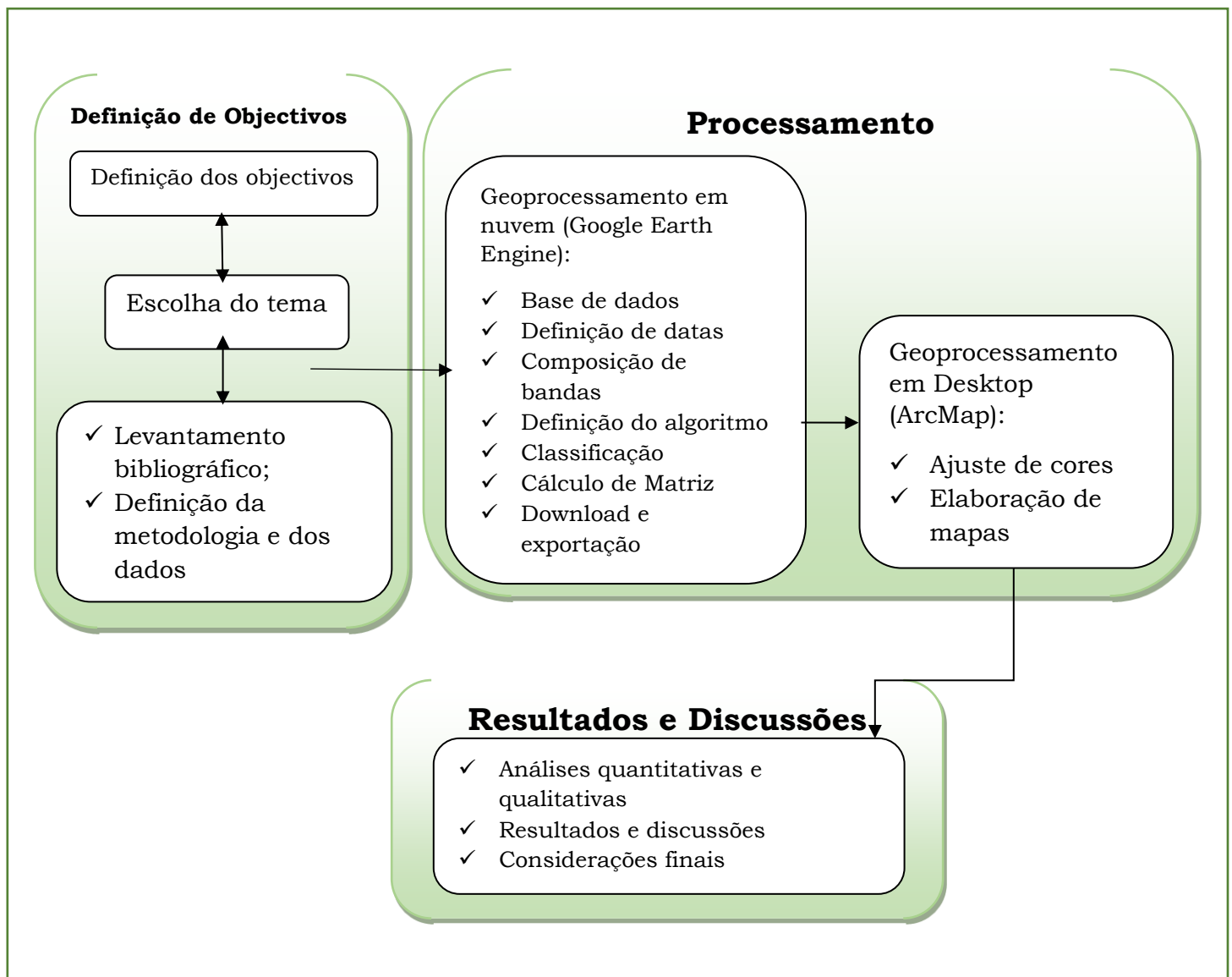


Figura 6: Resumodo fluxograma para elaboração do trabalho

3.4. Classificação das imagens de satélite

A classificação das imagens para o uso e cobertura da terra, adoptado para o trabalho foi a classificação supervisionada disponível na plataforma Google Earth Engine (GEE), utilizando o algoritmo Random Forest, amplamente reconhecido pela eficácia na classificação de dados de sensoriamento remoto. Esse método foi aplicado as imagens de Satélite Landsat 7 e 8 referentes aos anos 2001 e 2021 respectivamente, possibilitando uma análise comparativa de uso da terra ao longo do tempo.

Para garantir a identificação precisa dos padrões de cobertura do solo foram colectadas amostras conforme apresentado na tabela 2, representando as 7 classes de cobertura da terra predominantes e fornecidas pelo CENACARTA para a área de estudo (área urbanizada, vegetação, áreas cultivadas, corpos de água, área inundável, mangal e solo sem vegetação, cujas características são descritas na Tabela 3, para auxiliar na classificação e análise de dados.

As amostras foram seleccionados de forma mais representativa de cada classe, ou seja, o que exigiu que se observasse com maior definição a classe desejada sem interferência de outra. Esse procedimento foi adoptado porque alguns elementos naturais e antrópicos estão distribuídos de formas diferentes, onde área com vegetação podem ser ocupadas por arbóreo, arbustivo e herbáceo que refletem de formas diferentes a respostas espectrais da imagem satélite. O mesmo factor pode-se dar em área com ocupação antrópica.

Das amostras colectadas na imagem de satélite a classe vegetação foi representada em apenas um grupo de amostragem, o mesmo aconteceu com os corpos de água, onde foram colectadas amostras de água nas áreas de mangais e nas delimitações da baía. Os solos sem vegetação incluem áreas que sofreram o desmatamento, bem como estradas de terra batida e quintais das casas, pois embora se trate de uma área urbana, ainda predominam características rurais. A área urbanizada representa as casas, edificios e inclui igualmente estradas pavimentadas.

Tabela 2: Amostras

Amostras				
Classe	2001		2021	
	Amostra	Pixéis	Amostra	Pixéis
Área urbanizada	85	43.872	134	64.351
Solo sem vegetação	54	17.910	77	17.213
Mangal	31	1.620	72	1.823
Vegetação	62	39.665	92	22.922
Áreas cultivadas	16	3.926	0	0
Água	59	2.432	87	2.605
Área inundável	61	5.703	84	6.214

A classificação supervisionada, consistiu na colecta de 914 amostras, que resultou em 230.256 pixels distribuídos de forma homogénea sobre as imagens de satélite Landsat 7 (para o ano 2001) e Landsat 8 (para o ano 2021), onde a amostragem seguiu critérios de representatividade espacial e espectral com vista a assegurar a qualidade da classificação.

As amostras foram organizadas em 7 classes temáticas de uso e cobertura da terra, nomeadamente: Área urbanizada (219 pontos), Solo sem vegetação (131 pontos), Mangal (103 pontos), Vegetação (154 pontos), Áreas cultivadas (16 pontos), Água (146 pontos) e Área inundável (145 pontos).











A distribuição dos pixels por classe variou entre os dois anos, refletindo as dinâmicas de mudanças territoriais observadas nas imagens.





Para o ano 2001 a classe com maior pixel foi a área urbanizada (43.872), seguida da vegetação (39.665), ao passo que para o ano 2021, a área construída continuou

sendo dominante (64.351), acompanhado de aumentos notáveis para mangal e área inundável.

As amostras colectadas, foram subdivididas em dois grupos: 70% para o treinamento dos classificadores e 30% para validação de resultados, para garantir a robustez da classificação supervisionada, mantendo equilíbrio entre modelação e avaliação

Tabela 3: Características das Classes de Uso e Cobertura da Terra

Classe	Descrição	Imagem	Fotografia
Área urbanizada	Área urbana consolidada resultante da concentração populacional, com algumas infra-estruturas, é uma combinação de características urbanas e rurais.		
Vegetação	Áreas cobertas com vegetação natural ou cultivada, incluindo florestas, matas, plantações e vegetação rasteira.		
Água	Águas superficiais que formam espelhos de água (rios, lagos, lagoas, etc).		
Área inundável	Áreas alagadas sazonalmente ou permanentemente e onde o capim encontra-se frequentemente submerso a água.		
Áreas cultivadas	Correspondem a superfícies utilizadas predominantemente para a prática da agricultura, incluindo plantações temporárias e permanentes.		

Solo sem vegetação	Áreas sem cobertura vegetal significativa, onde o solo está estável (inclui áreas agrícolas recém preparadas ou zonas degradadas)		
Mangal	Ecossistema Costeiro de transição entre os ambientes terrestres e marinhos característicos das regiões tropicais, as árvores apresentam raízes aéreas.		

3.5. Produção de mapas temáticos

A fase de produção de mapas foi feita com base no software ArcMap 10.5, com objectivo de gerar mapas temáticos baseados nos resultados da classificação supervisionada realizadas na plataforma GEE. Esta etapa permitiu representar espacialmente as classes de uso e cobertura da terra identificadas nos anos em análise, facilitando a análise visual e comparação entre os diferentes períodos.

4. Resultados e Discussão

Este capítulo é dedicado a apresentação e discussão dos resultados obtidos neste trabalho, como resultado das interpretações baseadas na metodologia predefinida.

A análise comparativa dos mapas temáticos dos anos de 2001 e 2021 revelou transformações significativas no uso e cobertura da terra na área de estudo, conforme resumido na Tabela 4.

4.1. Classificação supervisionada de imagens satélite para Uso e Cobertura da Terra

O processo de classificação supervisionada das imagens de satélite Landsat 7 do ano 2001 e Landsat 8 do ano 2021 foi com base no algoritmo classificador de Random Forest, disponível no Google Earth Engine.

Os resultados obtidos, demonstram a eficiência da ferramenta Google Earth Engine, no que diz respeito a disponibilidade de aquisição e processamento de dados para a concepção dos mapas temáticos, com destaque para a monitoria das alterações no uso e cobertura da terra e sua alteração durante o período em análise.

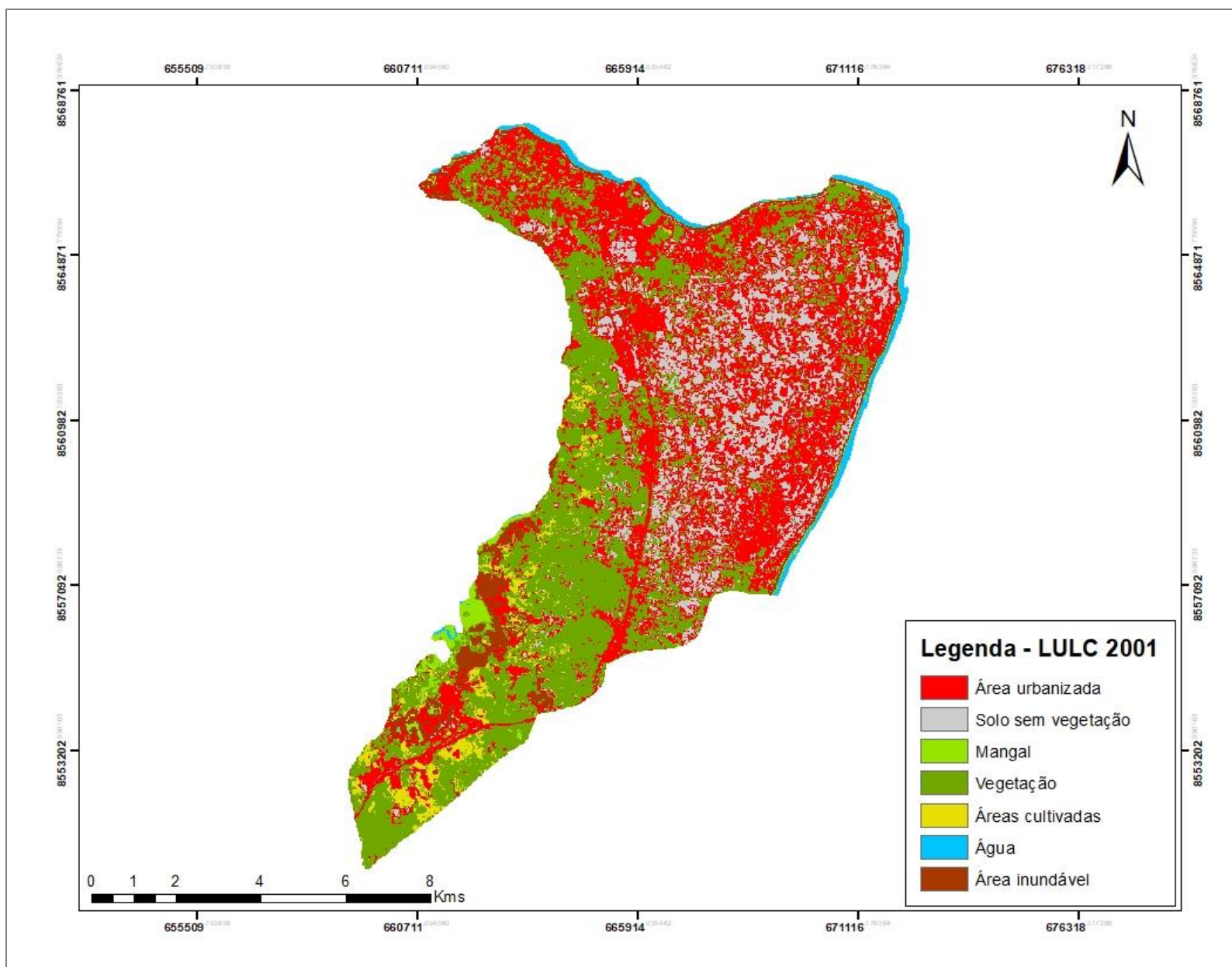


Figura 7: Classificação de Uso e Cobertura da Terra para o ano 2001

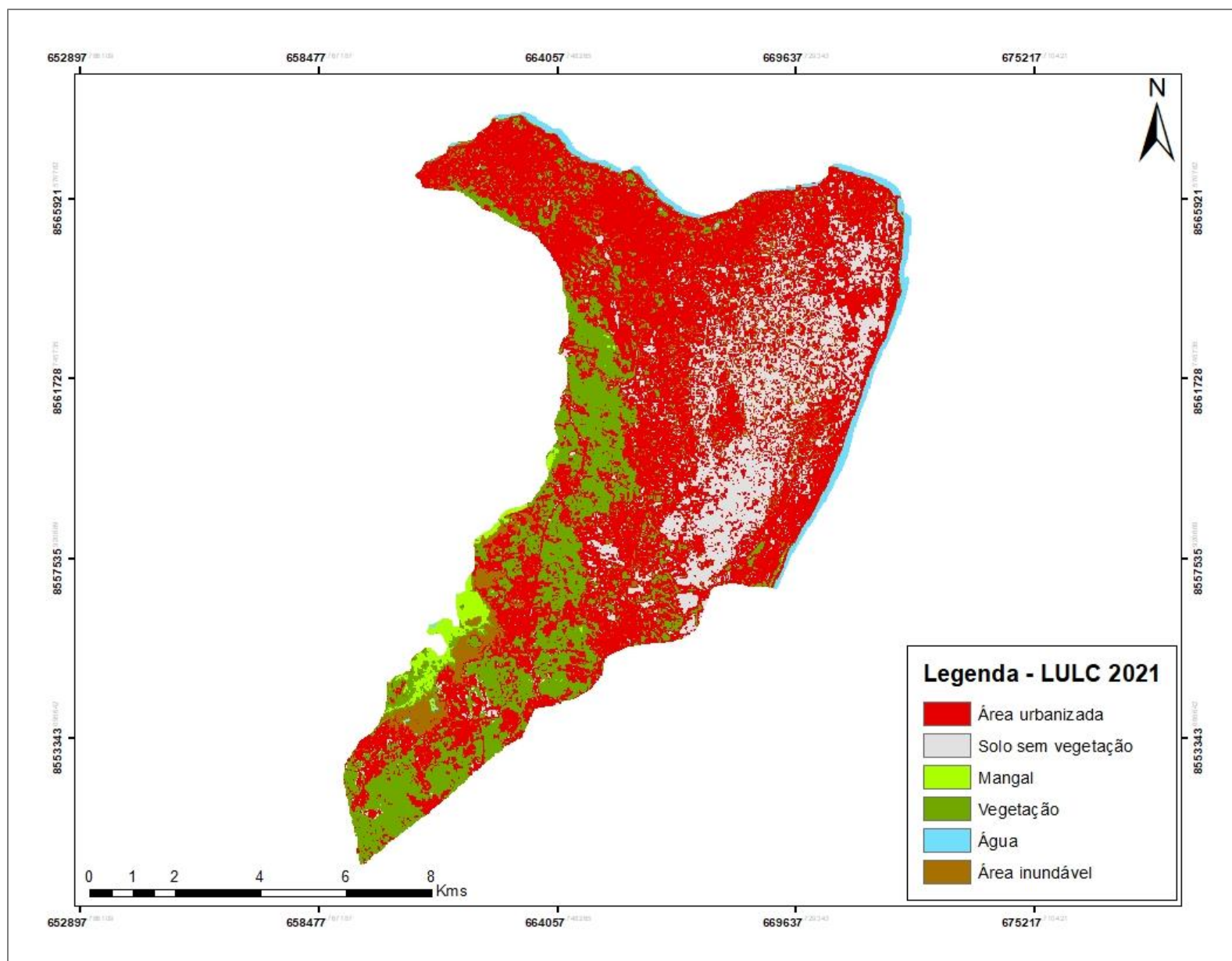


Figura 8: Classificação de Uso e Cobertura da Terra para o ano 2021

A avaliação dos resultados teve como base os indicadores obtidos na matriz de confusão apresentados nas tabelas 5 e 6 e o índice *Kappa*, que permitiu avaliar a exactidão global dos mapas obtidos com base na classificação de 2001 (Figura 7) e de 2021 (Figura 8). A exactidão global foi determinada através do somatório dos valores na diagonal dividido pelo número total de pixéis classificados, onde foram obtidos um total de 89% para o ano 2001 e 84% para o ano 2021, isto indica que mais de 80% dos pixéis de referência em uma classe específica, foram correctamente classificados.

Os resultados obtidos no índice *Kappa*, refletem um desempenho excelente do processo de classificação, tendo em conta os padrões de classificação estabelecidos na tabela de avaliação proposta por Landis & Koch (1977) apresentado na tabela 4, cujos valores são 0.87 para a classificação supervisionada do ano 2001 e 0.81 para o ano de 2021.

4.2. Validação e Acurácia do Algoritmo Classificador

A validação e a acurácia das classificações foram gerados com base na matriz de confusão (índice Kappa) onde permitiu calcular tanto a Acurácia Geral quanto a Acurácia do Produtor, todos gerados automaticamente pela plataforma GEE.

Concluída a etapa de classificação, o sistema gerou uma matriz numérica contendo os valores relativos à taxa de acerto do algoritmo em relação às amostras dos pixéis previamente colectados e identificados com a classe específica.

Tabela 4: Qualidade da classificação baseada no índice Kappa

Resultado	Qualidade da classificação
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Má
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis & Koch (1977)

Tabela 5: Classificação de Acurácia (2001)

Classificação / Referência	Área urbanizada	Solo sem vegetação	Mangal	Vegetação	Áreas cultivadas	Água	Área inundável	Nr de pixels classificados	Exactidão do utilizador
Área urbanizada	18	0	0	0	0	0	1	19	94%
Solo sem vegetação	4	13	0	1	0	0	0	18	72%
Mangal	0	0	3	0	0	0	0	3	100%
Vegetação	1	0	0	20	1	0	0	22	90%
Áreas cultivadas	2	0	0	0	1	0	0	3	33%
Água	0	0	0	0	0	18	0	18	100%
Área inundável	0	1	0	0	0	0	20	21	95%
Nr de pixels	25	14	3	21	2	18	21		
Exactidão do utilizador	72%	92%	100%	95%	50%	100%	95%		

Precisão geral = 0.894

Cálculo do índice Kappa (2001)

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

Onde:

P_o = Acurácia global

P_e = Probabilidade do acaso, calculada com: $P_e = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{total da linha } i \times \text{total da coluna } i}{\text{total geral}^2} \right)$

$$P_e = \frac{1969}{104^2} = \frac{1969}{10816} = 0.182$$

$$K = \frac{0.894 - 0.182}{1 - 0.182} = \frac{0.712}{0.818} = 0.87$$

Tabela 6: Classificação de Acurácia (2021)

Classificação/ Referência	Área urbanizada	Solo sem vegetação	Mangal	Vegetação	Água	Área inundável	Nr de pixels classificados	Exactidão do utilizador
Área urbanizada	45	3	0	4	0	3	55	81%
Solo sem vegetação	4	24	0	0	0	1	29	82%
Mangal	1	0	19	2	0	0	22	86%
Vegetação	3	0	0	27	0	0	30	90%
Água	1	0	0	0	29	0	30	96%
Área inundável	6	0	1	0	0	17	24	70%
Nr de pixels	60	27	20	33	29	21		
Exactidão do utilizador	75%	88%	95%	81%	100%	80%		

Precisão geral = 0.841

Cálculo do índice Kappa (2021)

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

Onde:

P_o = Acurácia global

P_e = Probabilidade do acaso, calculada com: $P_e = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{total da linha } i \times \text{total da coluna } i}{\text{total geral}^2} \right)$

$$P_e = \frac{6887}{190^2} = \frac{6887}{36100} = 0.191$$

$$K = \frac{0.847 - 0.191}{1 - 0.191} = \frac{0.656}{0.809} = 0.81$$

Apesar dos resultados satisfatórios obtidos na classificação e validação do uso e cobertura da terra, é importante reconhecer algumas limitações que podem ter influenciado a precisão final e a interpretação dos dados. A resolução espacial de 30 metros das imagens Landsat podem ter dificultado a distinção de feições de pequeno porte, como áreas agrícolas de subsistência, vegetação esparsa ou manchas urbanas dispersas, levando a alguns erros de classificação principalmente em áreas de transição entre diferentes usos de solo. Por esta razão, algumas classes como a vegetação, e área urbana foram agrupadas.

Realizada a classificação supervisionada e a avaliação da exactidão dos mapas, os dados foram exportados para análise no ambiente SIG, especificamente o *software* ArcMap 10.5, com base a análise estatística dos valores obtidos.

As etapas seguintes consistiram no cálculo das áreas (em hectares) correspondentes as classes de uso e cobertura da terra, a definição das taxas de crescimento de cada categoria de uso e cobertura da terra entre os anos 2001 e 2021 (Gráfico 1), a detecção das alterações das diferentes classes, bem como a quantificação de ganhos e perdas ao longo do período em análise, conforme apresentado na tabela 7 e no Gráfico 5.

A análise comparativa dos dados de uso e cobertura da terra entre os anos de 2001 e 2021 revelou importantes transformações espaciais, refletindo uma combinação de processos naturais e pressões antrópicas.

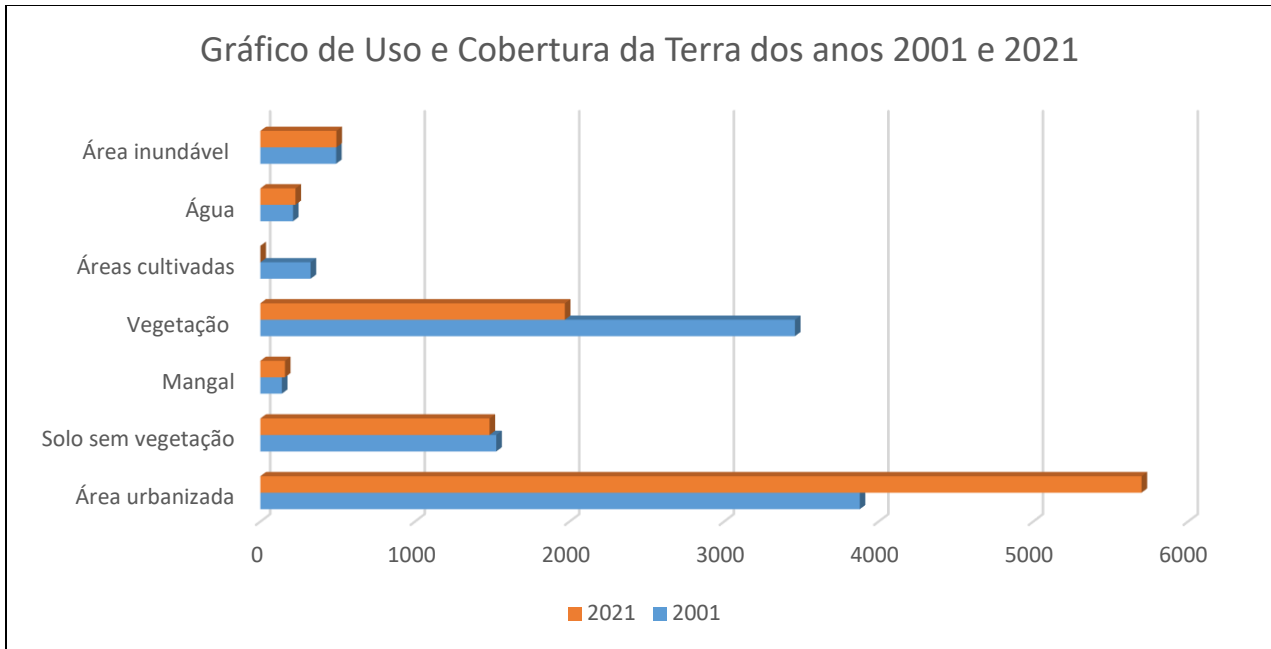


Gráfico 1: Uso e Cobertura da Terra dos anos 2001 e 2021

A área urbanizada destacou-se como a que mais cresceu em termos absolutos e relativos, passando de 3.878 ha (38,7%) em 2001 para 5.700 ha (56,8%) em 2021, um aumento de 46,9 %. Esse incremento reflecte um processo de urbanização acentuado, possivelmente impulsionado pelo crescimento populacional e expansão das infraestruturas urbanas, ou ainda pela entrada massiva de população deslocada das áreas afectadas por ataques armados iniciados em 2017 nos distritos da zona centro e norte da província de Cabo Delgado, em busca de locais seguros para se estabelecerem. A vegetação foi a principal fonte de conversão, contribuindo com maior parte da área transformada, mas houve contribuições embora em menor escala das classes de área cultivadas e solo sem vegetação (Gráfico 2).

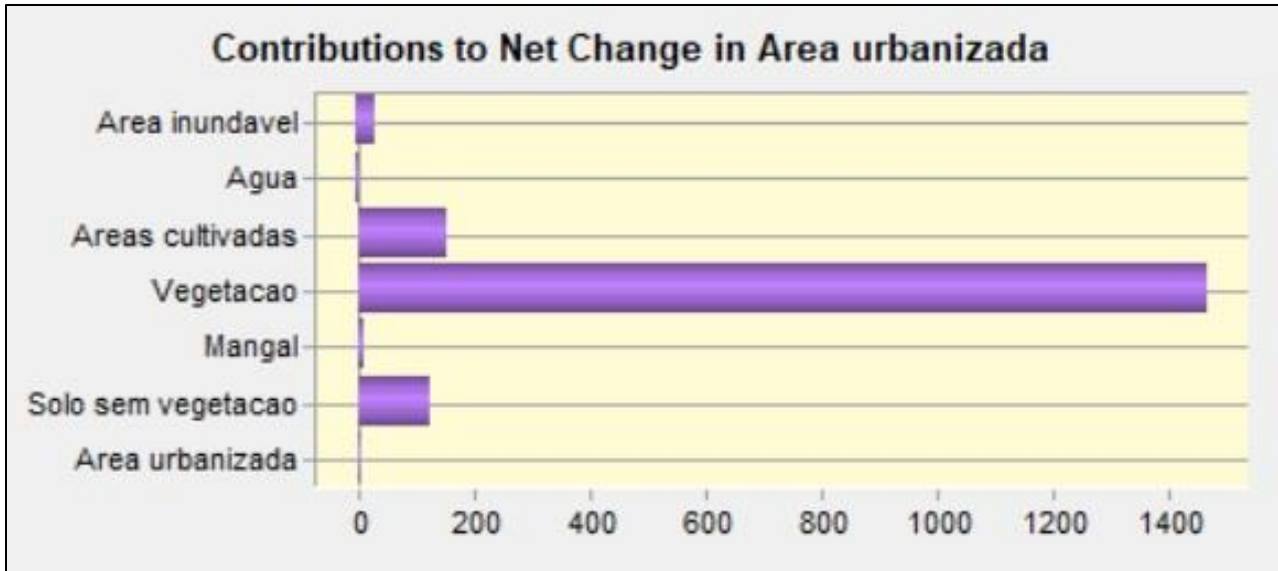


Gráfico 2: Contribuições das diferentes classes para area construída

Por outro lado, observou-se uma redução significativa da classe Vegetação, que passou de 3.459 ha (34,5%) para 1.970 ha (19,6%), representando uma diminuição de 43%. As maiores perdas desta classe ocorreram principalmente para áreas urbanizadas, áreas cultivadas e solo sem vegetação (Gráfico 3), o que pode estar relacionado ao desmatamento, à expansão urbana, e a outras formas de degradação ambiental, como queimadas ou extração de recursos.

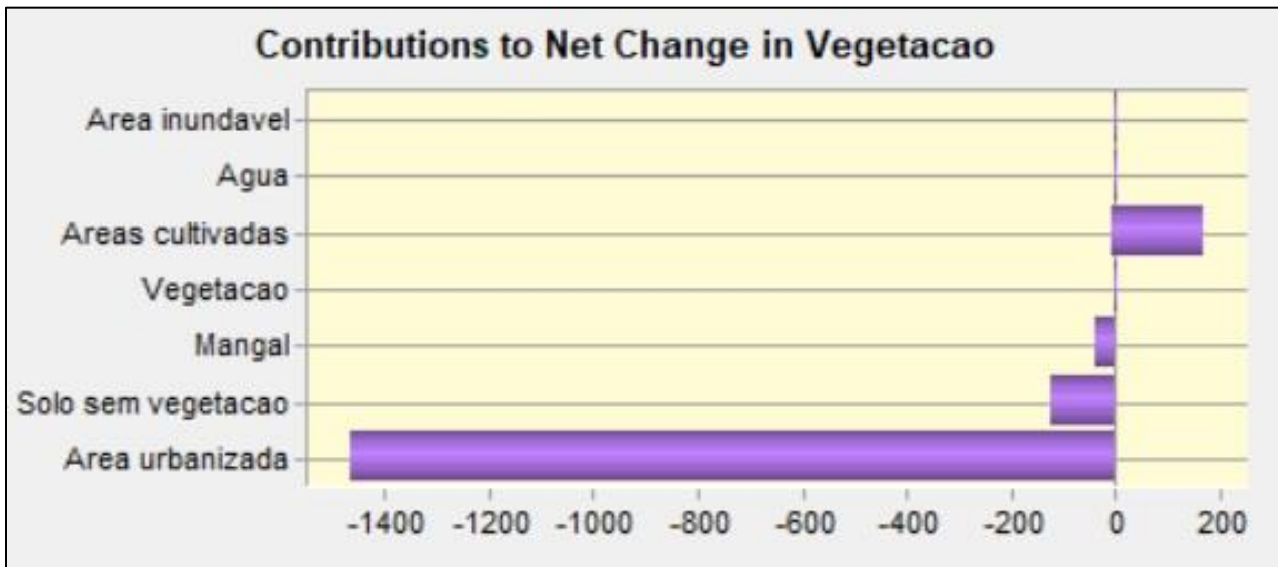


Gráfico 3: Contribuições das diferentes classes para vegetação

A classe Solo sem vegetação apresentou uma leve diminuição de 1.526 ha para 1.483 ha, com uma variação negativa de 2.8%. Embora pequena, essa mudança pode indicar áreas anteriormente degradadas que passaram por processos de regeneração ou reconversão para outros usos.

Em relação aos ambientes naturais sensíveis, a área de mangal aumentou de 139 ha para 159 ha, representando um acréscimo de 14,4%, que pode estar associado a recuperação ecológica natural ou uma melhor capacidade de detecção em imagens mais recentes.

De igual modo, as áreas inundáveis registaram um ligeiro crescimento de 0,4%, passando de 490 ha para 492 ha, o que pode reflectir tanto alterações hidrológicas locais quanto melhorias na acurácia da classificação, que facilitou a identificação dessas áreas alagadas.

As áreas cultivadas que ocupavam 325 ha em 2001, desapareceram completamente em 2021. Essa mudança pode estar associada a expansão urbana e a pressão sobre os espaços, bem como nos modos de vida e praticas locais. As maiores contribuições desta classe foram para as áreas urbanizadas e vegetação (Gráfico 4).

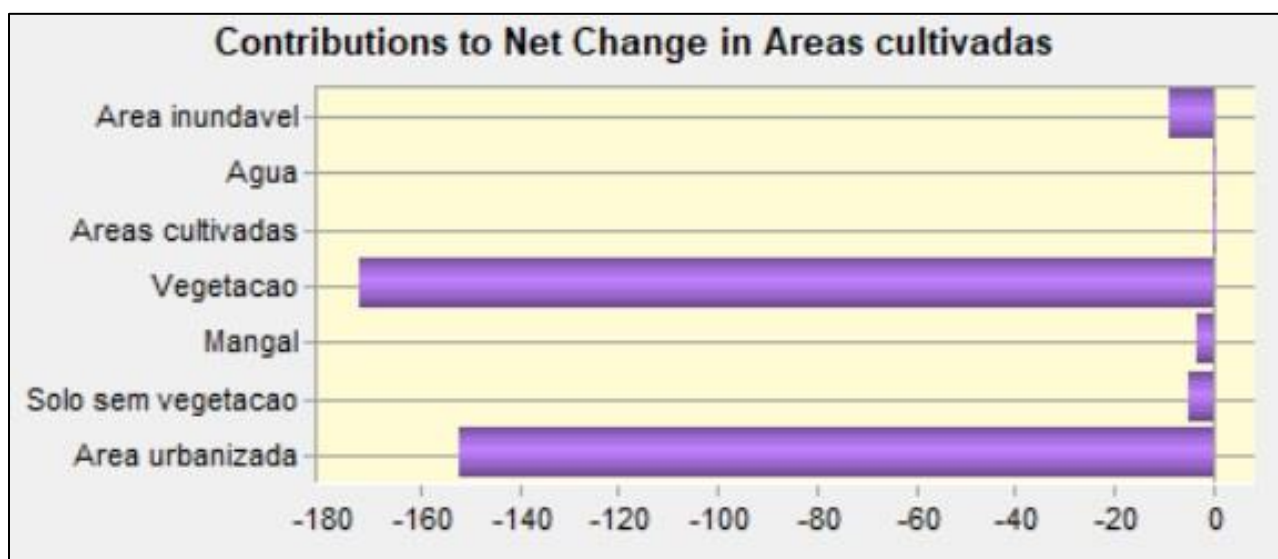


Gráfico 4: Contribuições das áreas cultivadas para as diferentes classes

Por fim, a água teve um aumento 7,6%, ou seja, passou de 211 ha para 227 ha, o que pode estar associado à dinâmica hidrológica sazonal, ao regime de chuvas no momento da captação das imagens, ou ainda à expansão de corpos hídricos permanentes ou temporários.

Tabela 7: Balanço total das áreas de mudanças no uso e cobertura da terra

Classes	2001		2021		Variação	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	ha	%
Área urbanizada	3.878	38,7	5.700	56,8	+1.822	+46.9
Solo sem vegetação	1.526	15.2	1.483	14,8	-43	-2.8
Mangal	139	1,4	159	1,6	+20	+14.4
Vegetação	3.459	34,5	1.970	19,6	-1.489	-43.0
Áreas cultivadas	325	3,2	0	0,0	-325	-100.0
Água	211	2,1	227	2,3	+16	+7.6
Área inundável	490	4,9	492	4,9	+2	+0.4
Total	10.028	100	10.031	100		

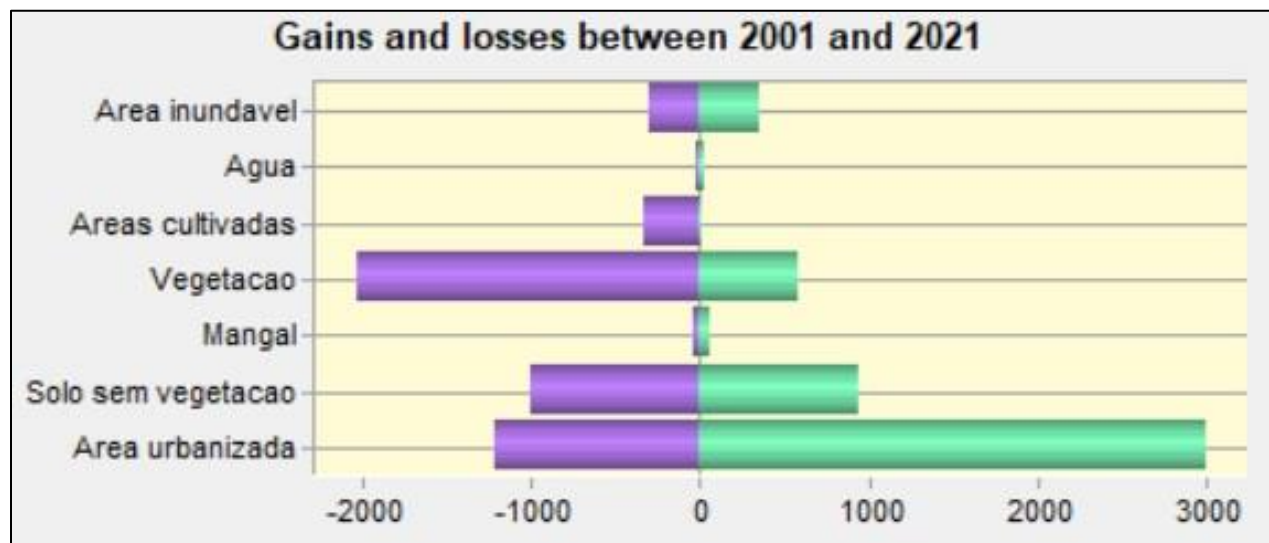


Gráfico 5: Ganhos e perdas entre 2001 e 2021

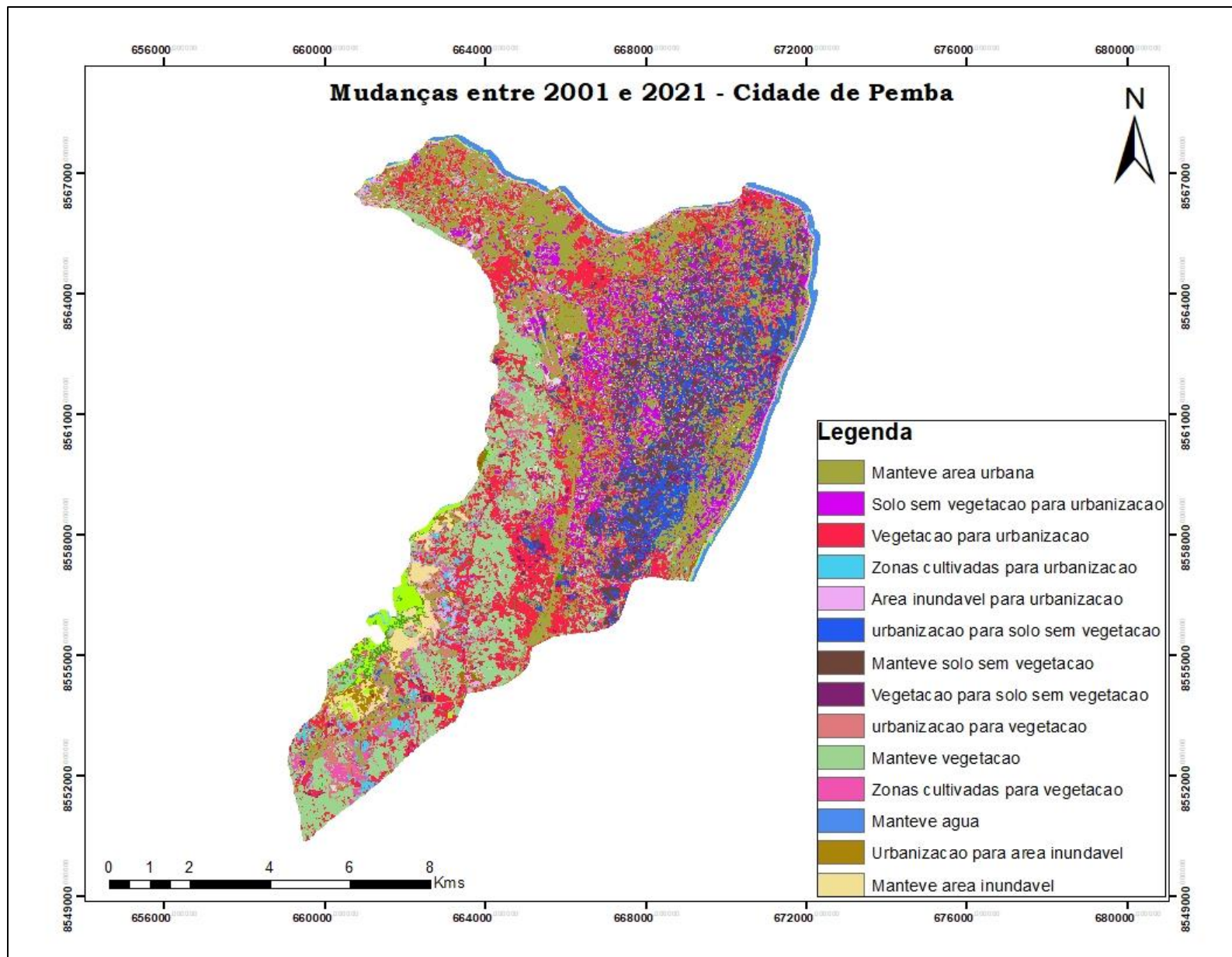


Figura 9: Principais Mudanças de Uso e Cobertura da Terra entre os anos 2001 e 2021

Os resultados sobre as mudanças no uso e cobertura da terra para os anos 2001 e 2021, demonstram padrões significativos de transformação territorial ao longo deste período, onde as maiores percentagens correspondem à manutenção da urbanização, com 25,91% e da vegetação com 14,15%, indicando certa estabilidade dessas classes em áreas previamente ocupadas. No entanto, o facto da urbanização ter mantido a maior proporção pode sinalizar um adensamento urbano ou consolidação do espaço construído.

A conversão da vegetação para urbanização que corresponde a 17,43%, revela a intensa pressão antrópica sobre os ecossistemas naturais, sobretudo a vegetação nativa, representando uma das transições mais críticas em termos de impacto ambiental, podendo estar relacionada à expansão urbana desordenada, que pode estar associada a entrada massiva de deslocados internos em busca de áreas seguras para se estabelecerem.

Tanto a transição de solo sem vegetação para urbanização, que corresponde a 8,69%, quanto a inversa, de urbanização para solo sem vegetação, com 7,48%, sugerem dinâmicas complexas, possivelmente associadas a áreas em obras, abandonadas, ou degradadas.

A conversão de área inundável para urbanização, cuja percentagem ronda nos 2,78 e urbanização para área inundável, com 1,92%, levanta preocupações sobre ocupação de zonas de risco. Esse padrão pode estar ligado a expansão de áreas vulneráveis a inundações, o que representa um risco à segurança das populações e à sustentabilidade do uso do solo.

Outras transições relevantes que se podem destacar nesta análise, são as áreas cultivadas para urbanização com 1,53% e vegetação para solo sem vegetação com 1,82%, indicando substituições de área de uso agrícola e degradação ambiental, respectivamente.

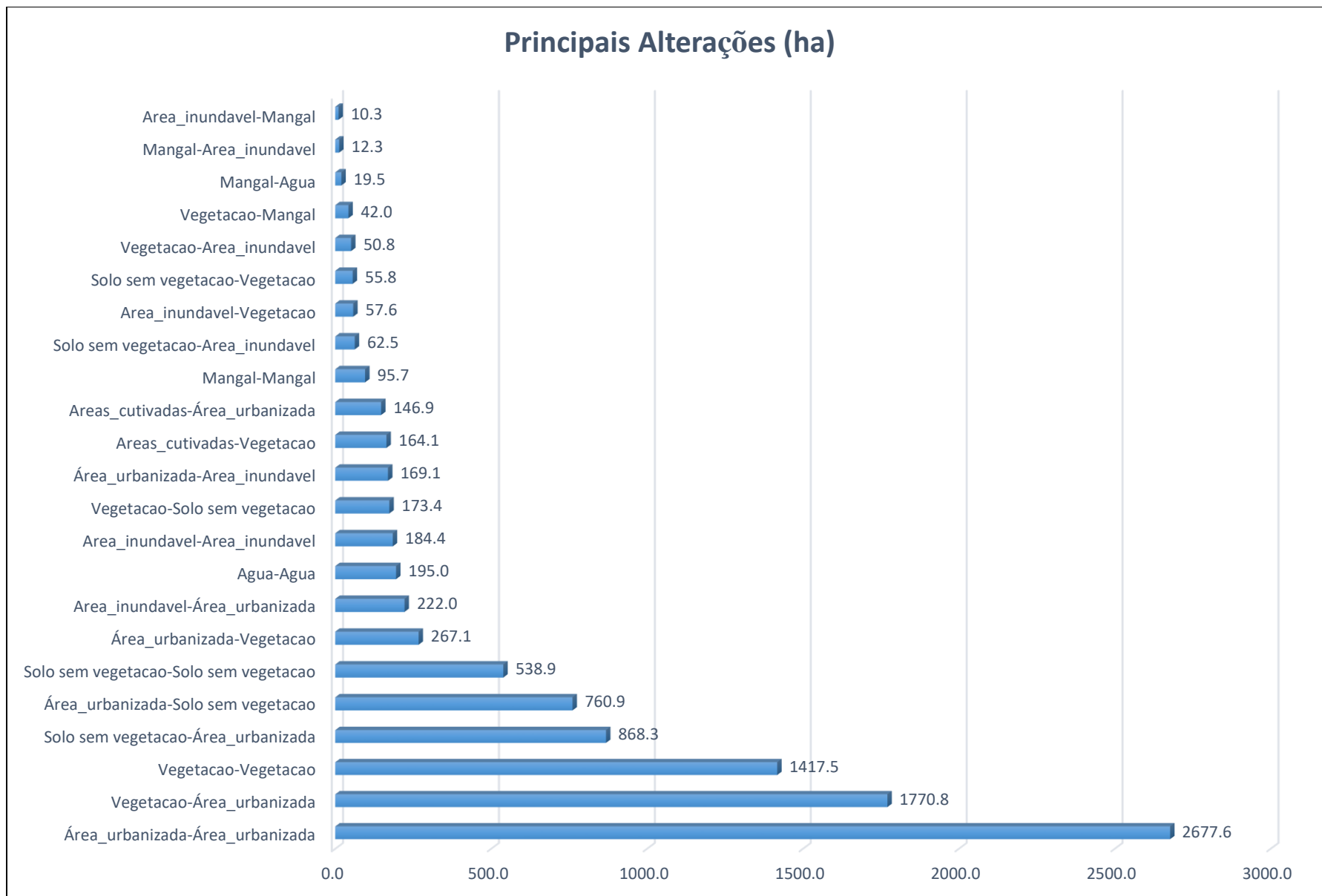


Gráfico 6: Principais Alterações de Uso e Cobertura da Terra dos anos 2001 e 2021

5. Conclusão

O Google Earth Engine demonstrou ser uma ferramenta com bom desempenho e agilidade, proporcionando resultados de elevada precisão, onde se destaca a eficiência do algoritmo Random Forest utilizado neste trabalho para a classificação das imagens de satélite, cujos resultados mostraram-se satisfatórios. Dessa forma, ressalta-se a importância da plataforma online pela funcionalidade no processo de monitoria e controlo do desflorestamento, detecção de alterações no uso e cobertura da terra, e pela possibilidade de fornecer dados de forma ágil e confiável.

Importa destacar ainda, que estudos do género são essenciais para analisar a actual conjuntura socioeconómica da cidade de Pemba, especialmente diante do rápido crescimento populacional registado nos últimos anos, como consequência dos ataques armados que se registam nas zonas centro e norte da Província de Cabo Delgado.

Desta forma, a análise das mudanças no uso e cobertura da terra entre 2001 e 2021 evidencia um processo contínuo de transformação territorial, pois observou-se um expressivo aumento da área urbanizada, em contraste com a redução da vegetação natural, revelando pressões antrópicas crescentes.

Além disso, a crescente procura por áreas para habitação e serviços influencia directamente as alterações no uso e cobertura da terra, uma vez que a população tem sido forçada a buscar áreas alternativas para habitação e outras actividades indispensáveis, o que tem provocado mudanças significativas no território. Esse processo migratório, exige do governo local resposta para acomodar a população, que muitas vezes por falta de recursos acomoda-se em áreas impróprias para habitação, provocando o desmatamento e o surgimento de assentamentos informais.

Apesar disso, algumas áreas ambientalmente sensíveis, como os mangais e áreas inundáveis, apresentaram ligeira expansão, possivelmente ligada à recuperação ecológica ou a melhorias na detecção por sensoriamento remoto.

As mudanças observadas revelam um intenso processo de transformação territorial nas últimas duas décadas, caracterizado por urbanização acelerada, desmatamento expressivo, e retração de práticas agrícolas. Essas alterações tem implicações directas no planeamento territorial, gestão de recursos naturais e adaptação as mudanças climáticas. Portanto, recomenda-se o uso dos resultados para fundamentar políticas públicas e estratégias sustentáveis de uso e ocupação da terra.

Referências Bibliográficas

- Carvalho, W. dos S., Filho, F. J. C. M., & Santos, T. L. dos. (2021). USO E COBERTURA DO SOLO UTILIZANDO A PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE (GEE): ESTUDO DE CASO EM UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO / LAND USE AND LAND COVER USING THE GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORM (GEE): CASE STUDY IN A CONSERVATION UNIT. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 15280–15300. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-243>
- Castellana, L., D’Addabbo, A., & Pasquariello, G. (2007). A composed supervised/unsupervised approach to improve change detection from remote sensing. *Pattern Recognition Letters*, 28(4), 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2006.08.010>
- CMCP. (2023, Maio de). *Plano de Estrutura Urbana da Cidade de Pemba*. Conselho Municipal da Cidade de Pemba.
- Cunha, J. E. de B. L., Rufino, I. A. A., Silva, B. B. da, & Chaves, I. de B. (2012). Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(5), 539–548. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500010>
- Dias, C. M. M. T. (2010). *Análise Espacial do Uso e Cobertura da Terra em Moçambique, Estudo de Caso Distrito de Marracuene—Posto Administrativo de Marracuene*. Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais.

- Fernandes, D., da Silva, C. Y. de O., & Trentin, A. B. (2020). CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DA TERRA A PARTIR DA FERRAMENTA GOOGLE EARTH ENGINE. *Anais Do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*.
- Filho, M. da C. A., Meneses, P. R., & Sano, E. E. (2007). Sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra com Base na Análise de Imagens de Satélite. *Revista Brasileira de Cartografia No 59/02*.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment, 202*, 18–27.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hamada, E., & Gonçalves, R. R. do V. (2007). *Introdução ao Geoprocessamento: Princípios básicos e aplicação*. Embrapa Meio Ambiente - Jaguariuna, SP.
- INE. (2019). *IV RECENSEAMENTO GERAL DA POPULAÇÃO E HABITAÇÃO 2017— Resultados definitivos*. Instituto Nacional de Estatísticas.
- Lambin, E. F., & Geist, H. (Eds.). (2006). *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*. Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7>
- Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing, 25*(12), 2365–2401.
<https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>

- Medeiro, F. S. L. (2018). *Classificação do Uso e Cobertura das Terras e Quantificação dos Padrões Espaciais de Áreas de Caatinga em Séries Temporais* [Tese de Mestrado].
- Meneses, B., Vale, M. J., Reis, R., & Saraiva, R. (2013). Metodologia para a avaliação das alterações do uso e ocupação do solo em Portugal Continental nas últimas três décadas. *CIDADES, Comunidades e Territórios*, 27.
<https://doi.org/10.7749/citiescommunitiesterritories.dec2013.027.art04>
- Meneses, P. R., & Almeida, T. (2012). *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*.
- Niquisse, S. M. A., & Cabral, P. (2018). AVALIAÇÃO E MODELAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÉMICOS EM MOÇAMBIQUE. *Revista Brasileira De Gestão E Desenvolvimento Regional*, v. 14 n. 5.
<https://doi.org/10.54399/rbgdr.v14i5.4098>.
- Pereira, G. H. de A., Júnior, C. C., Fronza, G., & Deppe, F. (2018). Uso da plataforma Google Earth Engine para análise multitemporal de imagens SAR para detecção de variações de áreas inundadas no Pantanal. *Anais 7º Simpósio de Geotecnologias No Pantanal, Jardim*.
- Reis, M. S. (2014). *DETECÇÃO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA UTILIZANDO DADOS ÓTICOS E DE MICRO-ONDAS EM UMA REGIÃO DA AMAZÔNIA RASILEIRA*. INPE.
- República de Moçambique. (2021, Setembro de). *Plano de Reconstrução de Cabo Delgado (PRCD)*.

ROSA, R. (2013, June). *Introdução ao Geoprocessamento*. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA.

Singh, A. (1989). Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), 989–1003. <https://doi.org/10.1080/01431168908903939>

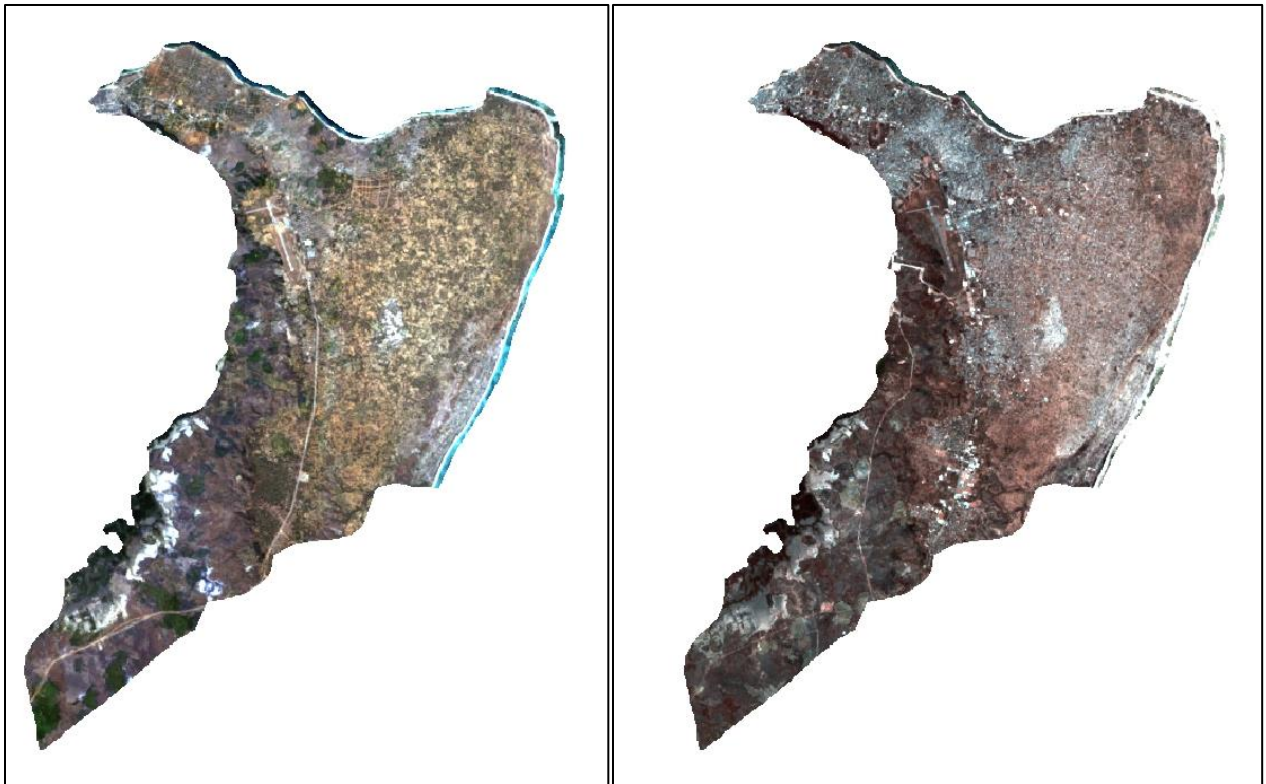
UN-Habitat. (2021, Maio). *A Dimensão Territorial dos Deslocamentos no Norte de Moçambique*.

Valadares, A. de A. (2017). *Análise da Dinâmica do Uso e Cobertura do Solo sobre a Vulnerabilidade Ambiental em Área do Distrito Federal*. Universidade de Brasília.

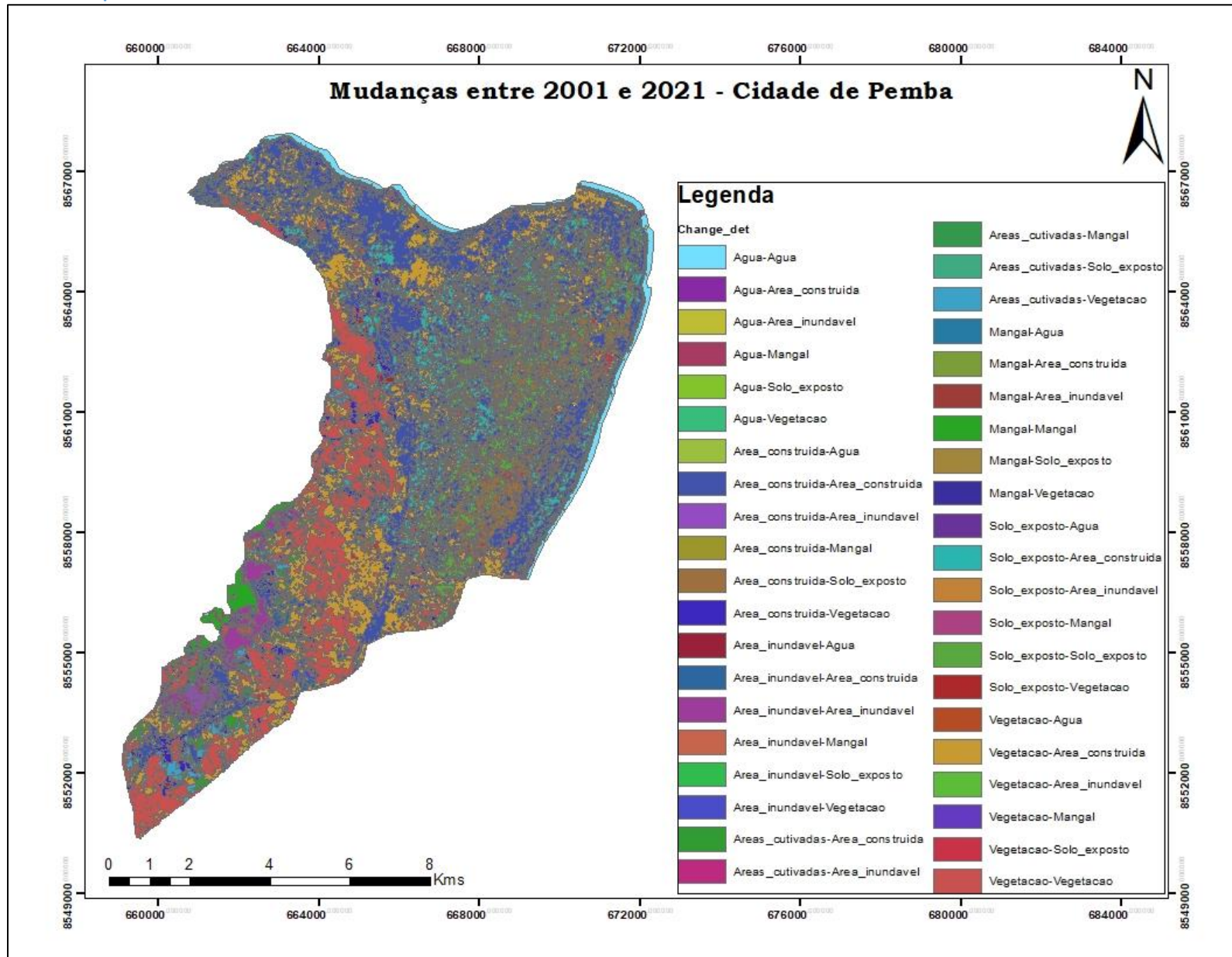
Wahap, N. A., & Shafri, H. Z. M. (2020). Utilization of Google Earth Engine (GEE) for land cover monitoring over Klang Valley, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 540(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/540/1/012003>

Anexos

Anexo 1: Imagens Satelite Landsat 7 do ano 2001 e Landsat 8 do ano 2021



Anexo 2: Mapa de Mudanças de uso e cobertura da terra dos anos 2001 e 2021



Anexo 3: Quantificação de Mudanças de uso e cobertura da terra dos anos 2001 e 2021

ID	Gridcode_1	LULC_2001	Area_1	Gridcode_2	LULC_2021	Area_2	Change_det	Area_Chang
0	1	Área_urbanizada	3878	1	Área_urbanizada	5700	Área_urbanizada-Área_urbanizada	2677.6
1	1	Área_urbanizada	3878	2	Solo sem vegetação	1483	Área_urbanizada-Solo sem vegetacao	760.9
2	1	Área_urbanizada	3878	3	Mangal	159	Área_urbanizada-Mangal	0.9
3	1	Área_urbanizada	3878	4	Vegetação	1970	Área_urbanizada-Vegetação	267.1
4	1	Área_urbanizada	3878	6	Agua	227	Área_urbanizada-Agua	0.5
5	1	Área_urbanizada	3878	7	Area_inundavel	492	Área_urbanizada-Area_inundavel	169.1
6	2	Solo sem vegetação	1526	1	Área_urbanizada	5700	Solo sem vegetação-Área_urbanizada	868.3
7	2	Solo sem vegetação	1526	2	Solo sem vegetação	1483	Solo sem vegetação-Solo sem vegetação	538.9
8	2	Solo sem vegetação	1526	3	Mangal	159	Solo sem vegetação-Mangal	0.1
9	2	Solo sem vegetação	1526	4	Vegetação	1970	Solo sem vegetação-Vegetação	55.8
10	2	Solo sem vegetação	1526	6	Água	227	Solo sem vegetação-Agua	0.0
11	2	Solo sem vegetação	1526	7	Área inundável	492	Solo sem vegetação-Area_inundavel	62.5
12	3	Mangal	139	1	Área_urbanizada	5700	Mangal-Área_urbanizada	6.4
13	3	Mangal	139	2	Solo sem vegetação	1483	Mangal-Solo sem vegetação	0.2
14	3	Mangal	139	3	Mangal	159	Mangal-Mangal	95.7
15	3	Mangal	139	4	Vegetação	1970	Mangal-vegetação	4.6
16	3	Mangal	139	6	Agua	227	Mangal-Agua	19.5
17	3	Mangal	139	7	Area_inundavel	492	Mangal-Area_inundavel	12.3
18	4	Vegetação	3459	1	Área_urbanizada	5700	Vegetação-Área_urbanizada	1770.8
19	4	Vegetação	3459	2	Solo sem vegetação	1483	Vegetação-Solo sem vegetação	173.4
20	4	Vegetação	3459	3	Mangal	159	Vegetação-Mangal	42.0

21	4	Vegetação	3459	4	Vegetação	1970	Vegetação-Vegetação	1417.5
22	4	Vegetação	3459	6	Água	227	Vegetação-Água	1.2
23	4	Vegetação	3459	7	Área_inundável	492	Vegetação-Área_inundavel	50.8
24	5	Áreas_cultivadas	325	1	Área_urbanizada	5700	Áreas_cultivadas-Área_urbanizada	146.9
25	5	Áreas_cultivadas	325	2	Solo sem vegetação	1483	Áreas_cultivadas-Solo sem vegetação	4.0
26	5	Áreas_cultivadas	325	3	Mangal	159	Áreas_cultivadas-Mangal	3.1
27	5	Áreas_cultivadas	325	4	Vegetação	1970	Áreas_cultivadas-Vegetação	164.1
28	5	Áreas_cultivadas	325	7	Área_inundavel	492	Áreas_cultivadas-Área_inundavel	7.1
29	6	Água	211	1	Área_urbanizada	5700	Água_Área_urbanizada	4.4
30	6	Água	211	2	Solo sem vegetação	1483	Água -Solo sem vegetação	0.1
31	6	Água	211	3	Mangal	159	Água -Mangal	5.2
32	6	Água	211	4	Vegetação	1970	Água -Vegetação	0.4
33	6	Água	211	6	Água	227	Água -Água	195.0
34	6	Água	211	7	Área_inundável	492	Água -Área_inundavel	5.2
35	7	Área-inundável	490	1	Área_urbanizada	5700	Área_inundável-Área_urbanizada	222.0
36	7	Área-inundável	490	2	Solo sem vegetação	1483	Área_inundável-Solo sem vegetação	5.2
37	7	Área-inundável	490	3	Mangal	159	Área_inundável-Mangal	10.3
38	7	Área-inundável	490	4	Vegetação	1970	Área_inundável-vegetação	57.6
39	7	Área-inundável	490	6	Água	227	Área_inundável-Água	9.7
40	7	Área-inundável	490	7	Área_inundável	492	Área_inundável-Área_inundável	184.4