

# **Dinâmica espaço temporal do Mangal na Baía de Sofala, região centro de Moçambique entre 2003, 2013 e 2023**

## **Spatio-Temporal Dynamics of the Mangrove in Sofala Bay, Central Mozambique, Between 2003, 2013, and 2023**

**Martes Domingos Louvane Macajo**

<https://orcid.org/0009-0005-9122-242X>

Iniciativa Para o Desenvolvimento e Resiliência Climática- departamento de informação e pesquisa

[martedomingos@gmail.com](mailto:martedomingos@gmail.com)

**Richard Boaventura Inosse Zinenda**

Parque Nacional do Limpopo-Departamento de relações governamentais para reassentamento

<https://orcid.org/0009-0006-9200-2469>

[richardboaventura4@gmail.com](mailto:richardboaventura4@gmail.com)

**Mário Sebastião Tuzine**

Instituto Superior Politécnico de Gaza -Faculdade de Agricultura

<https://orcid.org/0000-0003-0827-9707>

[mtuzine1@gmail.com](mailto:mtuzine1@gmail.com)

### **Resumo**

O estudo da dinâmica e transformações espaço temporais da vegetação fornece o entendimento de como a vegetação e sua estrutura se desenvolvem ao longo do tempo. O presente estudo, teve por objectivo principal avaliar a dinâmica espaço temporal da floresta de mangal, na Baía de Sofala. Para tal, foram usadas imagens de sensoriamento remoto da serie de satélites landsat dos anos de 2003, 2013 e 2023. Usando o Qgis 3.14, imagens foram corrigidas radiométrica e geometricamente, posteriormente classificadas para discriminar o mangal na baía de Sofala de outras formas de uso de terra permitindo assim o mapeamento e quantificações da área de cobertura de mangal para cada ano de estudo. Como resultado, foi observado que durante o período em análise foram perdidos 14.23% da cobertura do mangal na baía de Sofala, correspondentes a 841 hectares. Em media, a cobertura do mangal na baía de Sofala entre 2003 e 2023 reduzia-se em 42 hectares/ano. A cobertura do mangal na baía de Sofala reduz a medida que outras formas de uso e ocupação de terra aumenta. A expansão de áreas habitacionais e exploração madeireira do mangal, são alguns dos factores que influenciaram a perda de vegetação.

**Palavras Chaves:** Mangal; dinâmica espaço temporal; Baía de Sofala.

## Abstract

The study of the dynamics and transformations of vegetation temporal space provides the understanding of how vegetation and its structure develop over time. The present study was mainly aimed at evaluating the dynamic temporal space of the mangrove forest in the sofala bay. To this end, images of remote sensing of the Landsat satellites of 2003, 2013 and 2023 were used. Using QGIS 3.14, images were reprojected and geometrically, later classified to discriminate the mangrove in the sofala bay of other forms of land use, thus allowing mapping and quantification of the mangrove coverage area for each year of study. As a result, it was observed that during the period in analysis 14.23% of the mangrove coverage in the sofala bay, corresponding to 841 hectares, were lost. In the media, the coverage of mangrove in the sofala bay between 2003 and 2023 was reduced by 42 hectares/year. The mangrove coverage in the sofala bay reduces as other forms of land use and occupation increases. The expansion of housing areas and mangrove logging are some of the factors that influenced vegetation loss.

**Keywords:** mangrove; dynamic temporal space; sofala bay.

## 1. Introdução

Os mangais são florestas costeiras que habitam a interface terra-mar, ao longo de baías, estuários e enseadas nas zonas tropicais e subtropicais em todo o mundo, tolerantes a salinidade onde cumprem com vários aspectos ecológicos, ambientais e socioeconômicos (Chambo, 2017).

As florestas de mangal têm enfrentado uma perda crescente nos últimos 50 anos, impactada por factores antropogénicos, como exploração de produtos florestais, erosão, sedimentação, dinâmica hidrológica e conversão (Jones, *et al.*, 2014; Pereira, 2023). Moçambique, em particular, ostenta uma cobertura de mangais de cerca de 2.909 km<sup>2</sup> (Fatoyinbo *et al.*, 2008) e são usados principalmente para construção, lenha, armadilhas de peixe e medicina (Pereira, 2023).

O estudo das transformações ou dinâmica espaço temporal da cobertura florestal, pode resumir-se no entendimento do comportamento das taxas de cobertura, crescimento, recrutamento e mortalidade, em condições naturais e sob manejo. Essas informações são fundamentais para o monitoramento florestal e informam também qual é a resposta da floresta ao sistema de manejo ou gestão aplicada (Azevedo, 2006).

Todo o processo de transformação da cobertura do mangal tem implicações profundas não só na paisagem e estrutura, assim como na vida das populações que directamente lidam com esta realidade. Estudos mostram que constituem alguns dos principais indicadores da transformação da cobertura do mangal na área em estudo, é a existência de enormes clareiras nas mesmas áreas onde outrora tinha mangal, redução da área de cobertura do mangal e indícios de exploração (Uacane, 2014).

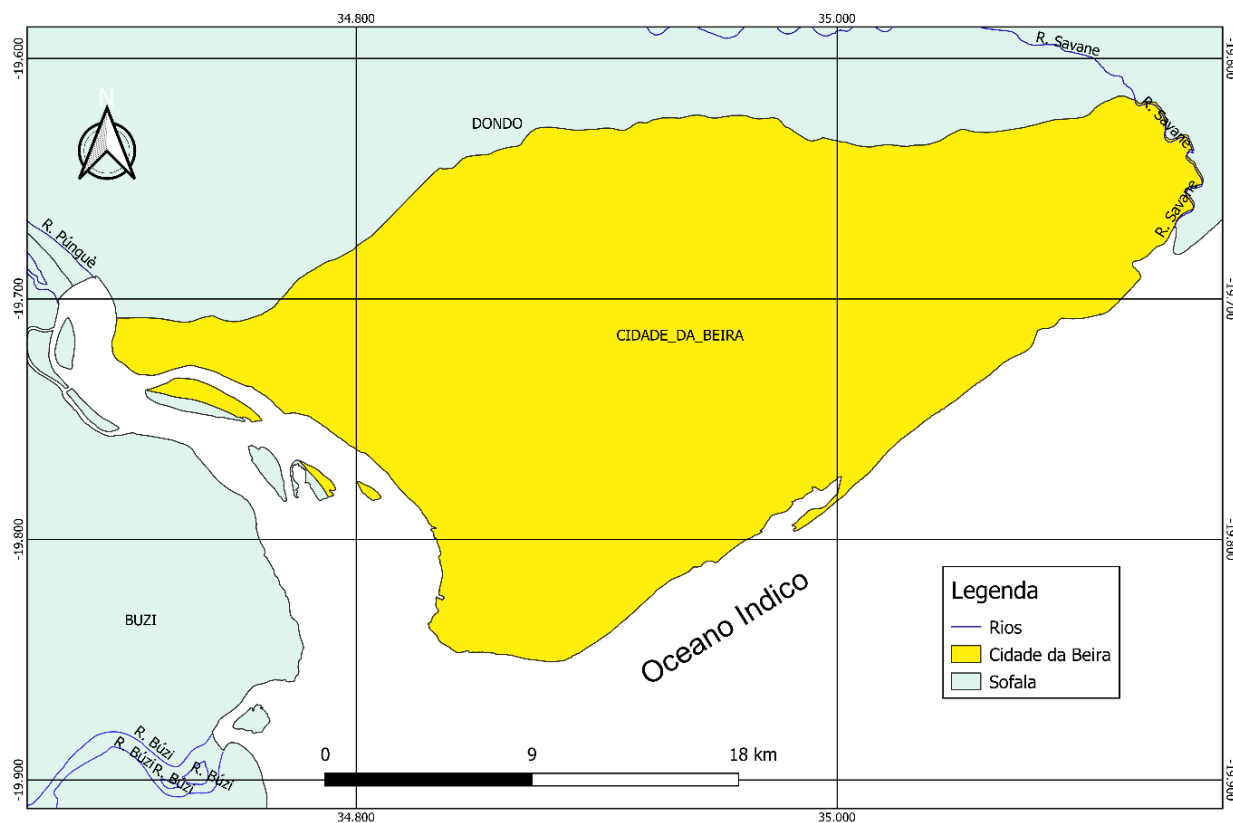
Estudos indicam que vem sendo registadas transformações na cobertura espacial do mangal em todo Moçambique. A área de cobertura do mangal reduziu de 408,000 ha em 1972 para 357,000 ha em 2004, com uma perda total de 51,000 ha num período de 32 anos (Barboza, *et al.*, 2014; Cuamba, *et al.*, 2019; Marzoli, 2007). Em alguns estudos realizados, tal como de Saket, *et al.*, (1994) a área de estudo (Província de Sofala), registou a segunda maior taxa de perda de cobertura do mangal em todo País.

É neste contexto, que o presente estudo tem por objectivo fundamental estudar a dinâmica espacial e temporal da cobertura da floresta do mangal na região costeira da província de Sofala, para compreender a forma como as transformações espaciais da vegetação, ocorreram no passado e poderão ocorrer ao longo do tempo com a alteração de factores como temperatura, radiação solar e precipitação. Através deste estudo, será possível determina-se quais foram e como ocorreram as transformações espaciais do mangal podendo com isso fornecer uma base de informações da tendência, quer redutiva ou expansiva da cobertura do mangal ao longo do tempo e subsidiar estratégias de manejo para conservação do ecossistema de mangal bem como subsidiar a projeção futura da situação da vegetação de mangal na baía de Sofala tendo como base suas características e situação no passado.

## 2. Metodologia

### 2.1. Descrição da área de estudo

A Baía de Sofala está localizada na região centro de Moçambique, entre as latitudes 19° 55.255'S 19° 56.047'S e a longitude 35° 11.118'E. A distância entre a costa e a quebra da plataforma continental nesta região é de aproximadamente 20 m. A Baía de Sofala é um sistema de águas rasas, em que a profundidade média não excede os 10 m (Francisco, *et al.*, 2019 ). Segundo Mandlate (2013), seus limites estão estabelecidos a nordeste pelo Rio Savane que separa também o distrito de Dondo da cidade da Beira e pelo Oceano indico, a sul pelo rio Buzi e noroeste pelo rio Púnguè.

**Figura 1. Localização da Baía de Sofala, Moçambique**

**Fonte:** Autor.

O clima da região é tropical húmido com duas estações climáticas, a estação chuvosa vai de outubro a março e a estação seca vai de Abril a Setembro (Francisco, *et al.*, 2019 ). Em termos hidrográficos, na Baía de Sofala desaguam os rios Púnguê e Buzi. A flora aquática e de transição que se destaca são os mangais que se desenvolvem nas planícies lodosas, riachos e ilhas estuarinas, nos riachos. Próximo do Savane e Nhangau desenvolvem-se mangais em grande número e em pequena quantidade na margem sul do rio Púnguê (Francisco, *et al.*, 2019). No mangal da Baía de Sofala existem seis espécies nomeadamente: *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Brugueira gymnorrhiza*, *Xylocarpus granatum*, *Hiritiera littoralis* e *Ceriops tagal*. *Avicennia marina* é a espécie com maior abundância (Mandlate, 2013).

## 2.2. Métodos

Avaliação da dinâmica espacial da cobertura de mangal, na baía de Sofala no período de 2003, 2013 e 2023 foi feita com base no uso de ferramentas de sensoriamento remoto através da aquisição, processamento e análise de imagens satélite conforme recomendado por Francisco, *et al.*, (2019). Outras informações tais como volume da floresta obtido do inventario florestal realizado por Mandlate (2013) na

floresta do mangal da baía de Sofala foram igualmente usados para permitir uma análise e estimativa mais precisa.

### 2.3. Aquisição de Imagens Satélite

Foram usadas imagens de satélite Landsat dos sensores ETM e OLI (Operational Land Imager) referentes aos anos de 2003, 2013 e 2023, adquiridas na plataforma Earth Explorer da USGS/NASA (United States geological Survey) pelo site [www.glovis.usgs.gov](http://www.glovis.usgs.gov). Considerando a atualização constante dos satélites e seus sensores ao longo do tempo, foram selecionadas imagens obtidas dos satélites mais atualizados para cada ano resultando em imagens de diferentes satélites, conforme apresentado na tabela 1.

**Tabela 1. Fonte de imagens usadas**

Ano	Satélite	Missão	Sensor	Data de imageamento
2003	Landsat	7	ETM	8/17/2003
2013	Landsat	7	ETM	5/16/2013
2023	Landsat	8	OLI	6/11/2023

### 2.4. Pré-processamento das imagens

A correção geométrica e Radiométrica das imagens satélites foi feita no software QGIS 3.14 na ferramenta “Raster-projeções”. Todas as imagens usadas foram primeiramente reprojectadas geograficamente para UTM zona 36s e os valores de radiância foram convertidos em refletância. A conversão dos valores de radiância para valores de refletância, foram considerados parâmetros relacionados ao momento da aquisição da imagem. A equação utilizada para realizar as conversões foi recomendada por Watzlawick *et al.*, (2009), a qual se encontra abaixo:

$$R = \frac{\pi \times L \times r^2}{E \times \cos \theta}$$

Onde: refletância, adimensional; PI = 3,14159265; L = radiância, em mW/cm<sup>2</sup> x sr<sup>-1</sup>; r = distância normalizada terra-sol, em unidades astronômicas;  $\theta$  = ângulo zenital solar no centro da imagem, em graus; E = constante solar, em mW/cm<sup>2</sup>.

### *2.5. Classificação de imagens e mapeamento do mangal*

Foi feita uma classificação das imagens satélite a fim de aferir as diferentes formas de cobertura na área de estudo e distingui-las do mangal. A classificação foi feita de forma supervisionada com a distinção de 4 classes nomeadamente: Mangal, Área habitacional/solo exposto, outras formações vegetacionais diferentes do mangal (OFV) e outras formas de uso de terra (OFUT) que incluíram elementos como áreas de pastagens, agricultura e usos não identificados. Este procedimento, foi realizado separadamente para as imagens de 2003, 2013 e 2023 produzindo assim, um mapa da cobertura e uso de terra em cada ano.

Na validação da classificação, um conjunto de pontos aleatórios foram gerados, enumerados e georreferenciados nas 4 classes. Em campo, os pontos foram localizados e as informações da cobertura e uso de terra em cada ponto foram coletados para fazer a correção de possíveis erros na classificação.

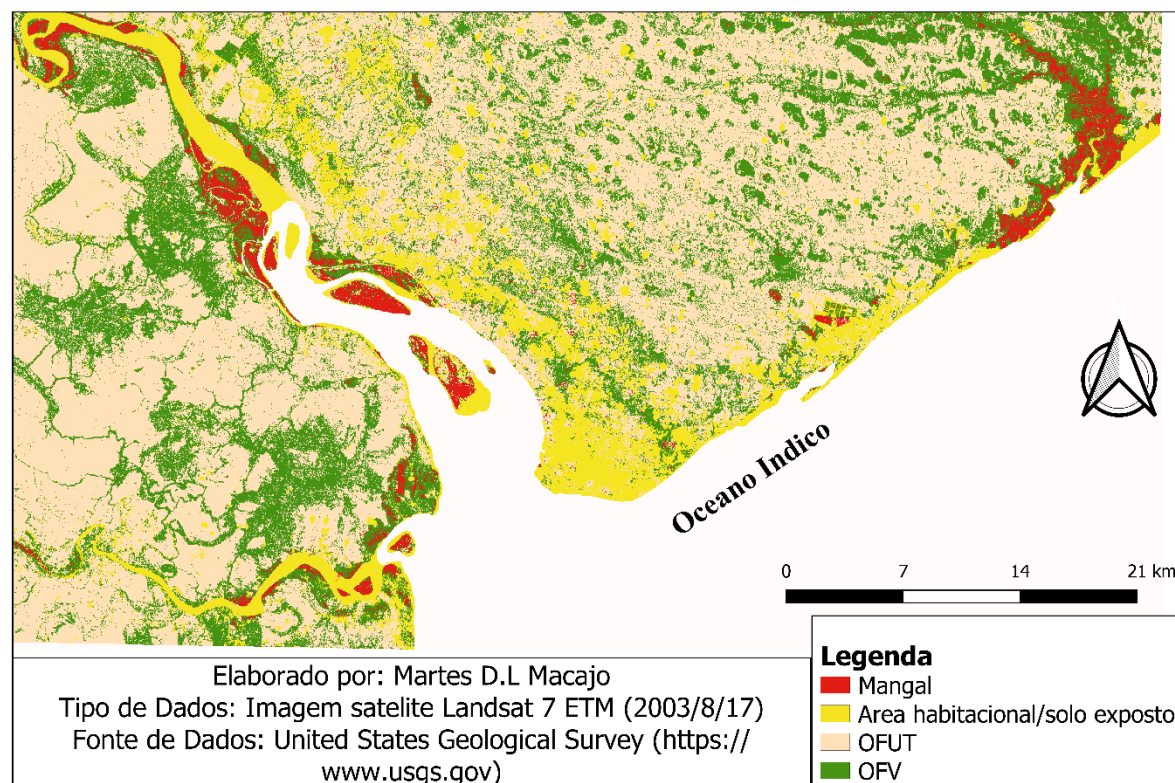
Para verificar a dinâmica espaço temporal da cobertura de mangal durante o período de estudo foi usada a quantificação das áreas ocupadas pelo mangal nos anos de estudo (2003, 2013 e 2023). Foram também quantificadas as áreas transformadas para cada intervalo.

## **3. Resultados**

### *3.1. Dinâmica espaço temporal do mangal*

A Dinâmica espaço temporal da cobertura de mangal na Baía de Sofala, determinada a partir dos Mapas de uso e cobertura da terra nos anos de 2003, 2013 e 2023, está representada nas figuras 2, 3 e 4 respetivamente. A área da cobertura do mangal na Baía de Sofala no ano de 2003 foi estimada em 5916.45ha corresponde a 3.18%, sendo que outras classes como Área habitacional/solo exposto e OFV, suas áreas foram estimadas em 24693.53ha e 48941.01ha, correspondentes a 13.26% e 26.29% para cada uma das classes respetivamente. A classe que ocupou maior área foi OFUT com uma cobertura de 106610.90ha correspondentes a 57.27% (Quadro 1).

**Figura 2. Uso e cobertura da terra na Baía de Sofala em 2003**



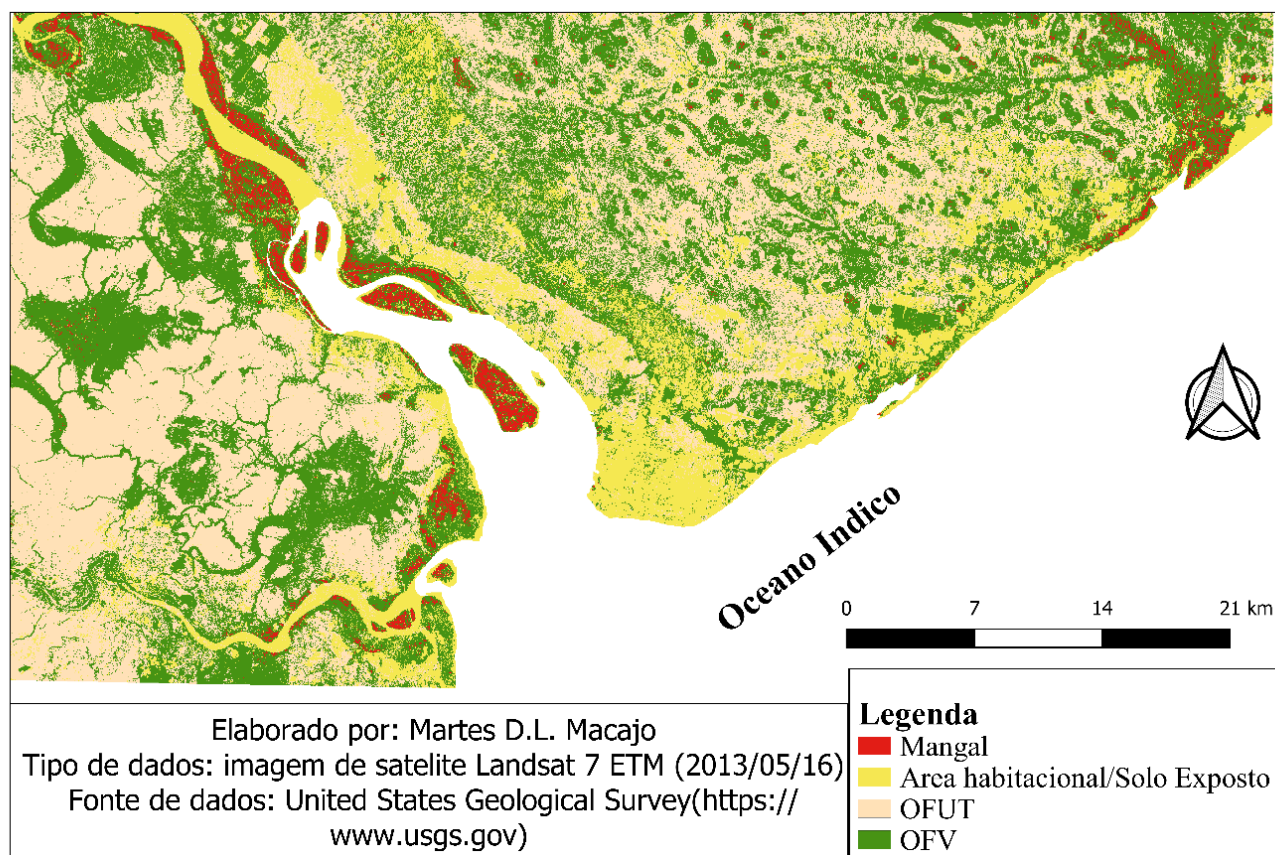
(OFUT- Outras Formas de Uso de Terra; OFV-Outras Formas de Vegetação)

Para o ano de 2013, observou-se um decréscimo na cobertura de mangal tendo passado a ocupar 5080.29 ha correspondente a 2.72% da área total da Baía de Sofala. A classe OFUT possui maior cobertura com 77714.15ha correspondente a 41.75%. A área habitacional/solo exposto e OFV obtiveram uma cobertura de 32026.79ha correspondente a 17.20% e 71288.70ha correspondente a 38.29% respetivamente (Quadro 1 e Figura 3).

Comparativamente ao ano de 2003, a redução do mangal esteve na ordem dos 836,16ha no período de 10anos (2003-2013) correspondente a 14.13% de redução da cobertura. Em media, o decréscimo da cobertura do mangal foi de 83.61ha por ano, equivalente a um desmatamento da cobertura do mangal de 1.41% por ano na Baía de Sofala entre 2003 a 2013 (Quadro 2). Neste período, notou-se também o aumento da área de cobertura de outras formações de vegetação (OFV) e da área habitacional/solo exposto, a proporção de aumento destas áreas em relação a redução da cobertura de mangal foi de +12% e +3.94% respetivamente.

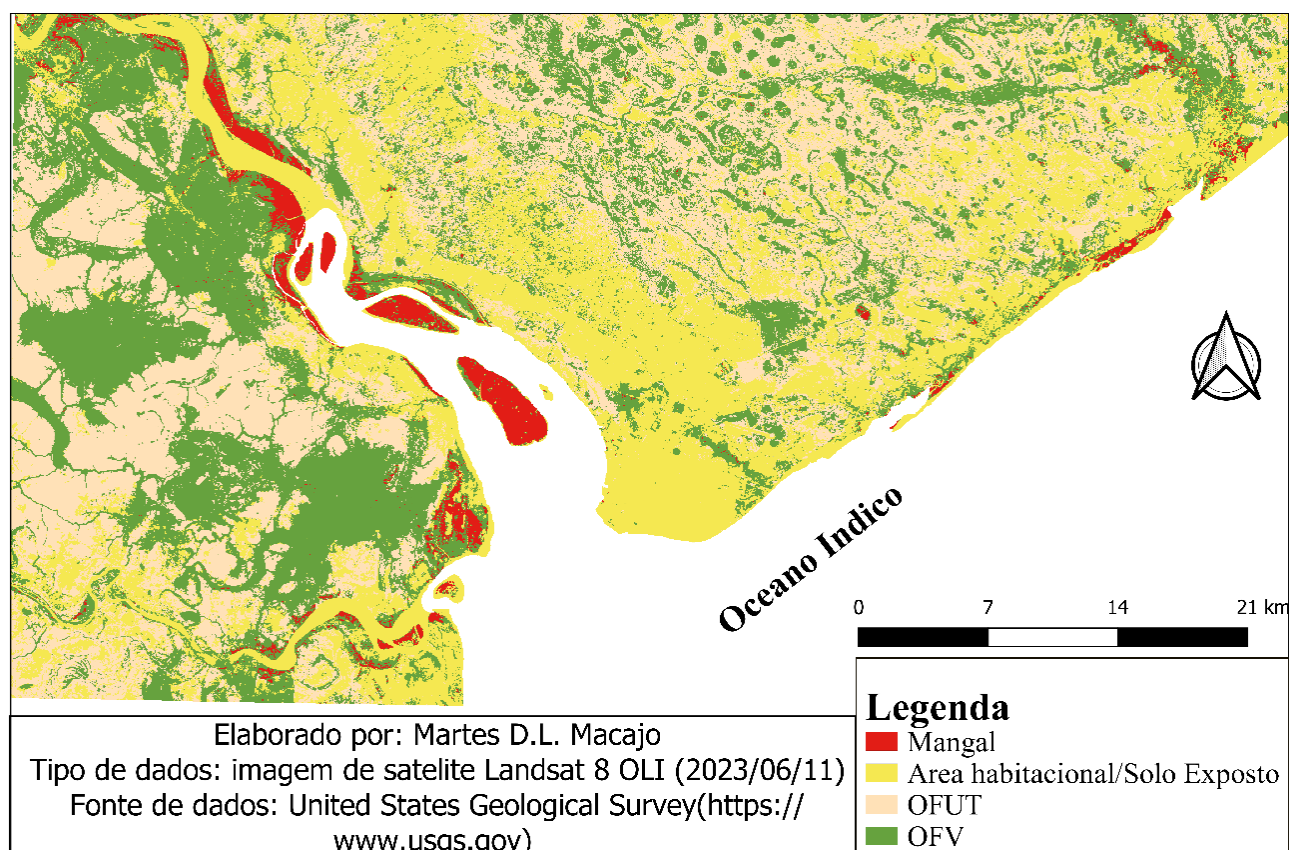


**Figura 3. Uso e cobertura da terra na Baía de Sofala em 2013**



No ano de 2023, a cobertura de mangal ocupou 5075.43ha correspondente a 2.73%. A cobertura das demais classes (área habitacional, OFUT e OFV) neste ano variou entre 56142.15ha para 63974.41ha. A redução do mangal neste ano, comparativamente ao ano de 2013 foi de 4.86ha o que corresponde a 0.09% (Quadro 2), significando uma perda anual de 0.48ha e 0.009% entre 2013 e 2023.



**Figura 4. Uso e cobertura da terra na Baía de Sofala em 2023****Quadro 1. Área de cobertura e uso de terra na Baía de Sofala em 2003, 2013 e 2023**

Classe	Ano					
	2003		2013		2023	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
<b>Mangal</b>	5916.45	3.18	5080.29	2.73	5075.43	2.73
<b>Área habitacional/solo exposto</b>	24693.53	13.26	32026.79	17.20	60969.32	32.75
<b>Outras Formas de uso de Terra (OFUT)</b>	106610.89	57.27	77714.15	41.75	63974.41	34.36
<b>Outras formações de vegetação (OFV)</b>	48941.01	26.29	71288.70	38.29	56142.15	30.16
<b>Total</b>	186161.89	100	186161.89	100	186161.89	100

Em geral, entre 2003 a 2023, foi registada uma perda da cobertura de mangal de 841.02ha na Baía de Sofala, percentualmente equivalente a 14.23%, indicando uma media de perda de 42.051ha por ano no período de 20anos.

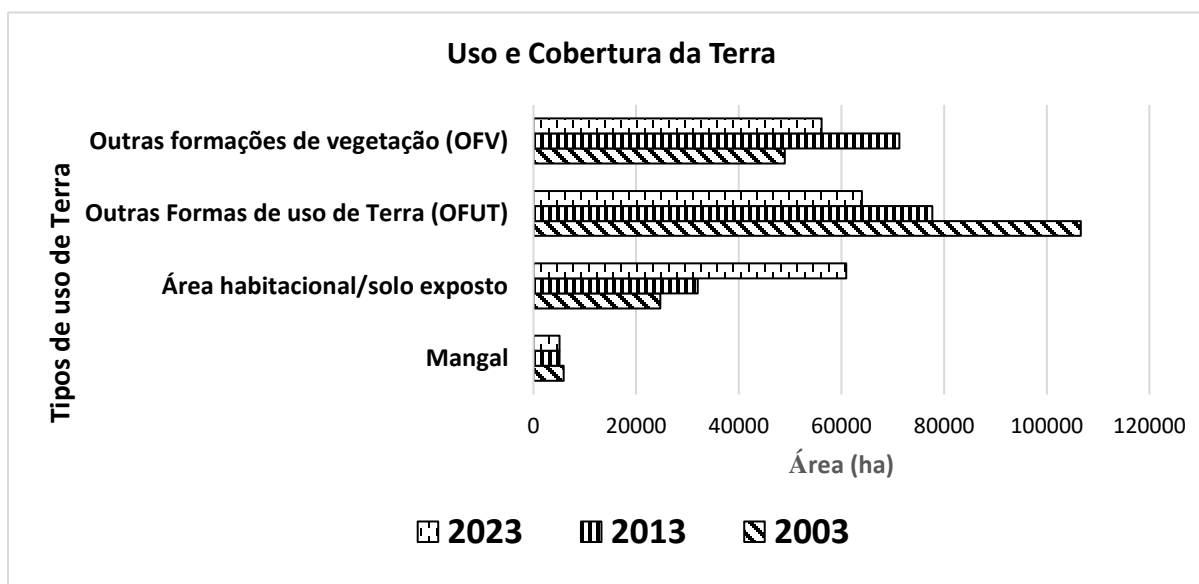
A redução da cobertura do mangal na Baía de Sofala, esta associada ao aumento de áreas habitacionais/solo exposto que aumentaram em quase 50% de 2013 a 2023 (Quadro 2). Para além do mangal, a expansão das áreas habitacionais/solo exposto impactou e reduziu outras formações de vegetação (OFV) que registaram uma redução de pouco mais de 15000 hectares no intervalo de dez anos.

Entre 2003 e 2023, as maiores transformações ou perdas da cobertura do mangal ocorreram a nordeste da baía de sofala, próximo do estuário do rio savane e ao sul próximo do rio Buzi.

**Quadro 2. Área de cobertura do mangal na Baía de Sofala em 2003, 2013 e 2023**

Ano	Cobertura	% sobre a Área total	Área Perdida (ha)	% da área Perdida
<b>2003</b>	5916.45	3.18	-	-
<b>2013</b>	5080.29	2.73	836.16	14.13
<b>2023</b>	5075.43	2.73	4.86	0.096
<b>Total</b>	-	-	841.02	14.23

**Figura 5. Representação Gráfica do uso e cobertura de terra em função da área em 2003, 2013 e 2023**



#### 4. Discussão

Em um estudo similar, realizado por Francisco, *et al.*, (2019), na Baía de Sofala, a cobertura de mangal foi estimada em 9810.81ha no ano de 2002, com uma diferença de 3893.55 ha da estimativa observada para 2003 no presente estudo. Comparativamente ao estudo acima citado, o uso de diferentes fontes de dados (Satélites Landsat 5 para Francisco, *et al.*, 2019 e Landsat 7 para o presente estudo) já foi considerado por Belloli (2019), um importante diferenciador para o mapeamento e quantificação da vegetação a partir de imagens satélite, devido a precisão de cada instrumento na captação do espectro dos objectos no solo.

Por outro lado, o número e o tipo, de classes discriminadas na classificação de imagens satélite para o mapeamento e quantificação da vegetação (que difere entre os dois estudos), irá determinar o agrupamento dos alvos de classificação em função do espectro captado pelo satélite. A definição de um número reduzido de classes (conforme realizado por Francisco, *et al.*, 2019) resultará no acúmulo de diferentes respostas espectrais em uma única classe, podendo nalgum momento, resultar em superestimativa do alvo pretendido (Gonçalves, *et al.*, 2015). No mapeamento de tipos específicos de vegetação, é aconselhado o uso de maior número de classes na classificação de imagens satélite, que representem devidamente as diferentes respostas espectrais captadas pelo satélite, por forma que haja maior precisão na estimativa da vegetação alvo (Belloli, 2019). Os factores acima mencionados, nomeadamente: Uso de diferentes fontes de dados, número e classes de uso de terra classificadas, podem justificar a elevada discrepância entre os resultados obtidos pelo autor supracitado e os observados no presente estudo, mesmo para períodos tão próximos (2003 e 2002).

De acordo com o estudo realizado por Francisco, *et al.*, (2019) na Baía de Sofala, a perda anual da cobertura do mangal é de 0.52% que corresponde a 51 hectares sendo perdidos anualmente. Estes resultados foram obtidos de um intervalo de análise correspondente a 6 anos, um período relativamente menor ao usado no presente estudo, pelo que também podem ser justificadas as diferenças. Tal como observado no presente estudo, outros autores como Fatoyinbo *et al.*, (2008) observaram uma diminuição de 14% de cobertura de mangal no período de 1990 a 2000 na província de Sofala e Luís (2011) também observou 36% da redução da cobertura de mangal na Baía de Sofala no período de 1979 e 2010.

Segundo Mandlate (2013) de entre as causas da redução da área de mangal em Sofala concretamente na Baía de destaca-se: a exploração para construção de acampamentos para os pescadores, construção de mesas para a secagem do pescado, construção de barcos, construção de habitações, construção de mobília doméstica básica como mesas, cadeiras e camas e aproveitamento como combustível lenhoso. Para Camara (2013), a expansão de áreas habitacionais já foi considerada uma das causas de redução da cobertura de mangal em todo o mundo, pelo que a expansão das áreas de habitação/solo exposto que apresentam uma tendência crescente pode, entre outros factores, estar a influenciar direta ou indiretamente a redução da cobertura de mangal na Baía de Sofala, conforme observado no presente estudo.

## 5. Conclusão

**De acordo com os objectivos predefinidos e os resultados observados conclui-se que:**

- Entre 2003 e 2023 foram perdidos mais de 841 hectares da cobertura de mangal na baía de Sofala, correspondendo a uma redução de 14.23%
- 42 hectares da cobertura do mangal são perdidos/transformados em outras formas de uso de terra anualmente na baía de Sofala;
- A taxa de desmatamento do mangal na baía de sofala é de 0.7% por ano;
- A redução da cobertura do mangal esteve principalmente aliada a expansão de outras formas de uso de terra como algumas formações vegetacionais diferentes do mangal, expansão de zonas habitacionais e actividades de exploração.

### 5.1. Recomendações

Com base no presente estudo da dinâmica espaço temporal da vegetação do mangal na Baía de sofala, recomenda-se: Realização de estudos similares, empregado dados e imagens de maior resolução espectral; Estudo de causas e agentes da degradação ou desmatamento do mangal na baía de Sofala, com foco para a foz do rio Savane e buzi; Fortalecimento das políticas e estratégias de conservação e gestão do Mangal a nível de Moçambique, reforçando o envolvimento e engajamento das comunidades para conservação do mangal e desenvolvimento sustentável.

## Referencias

- Azevedo, C. P. (2006). Dinâmica de florestas submetidas a manejo na amazônia oriental: experimentação e simulação. p. 3-37.
- Barboza, J.; Broadbent, E. N.; Bitencourt, M. (2014). Remote Sensing of Aboveground Biomass in Tropical Secondary Forests: (Vol. A Review.). **International Journal of Forestry Research**.
- Belloli, T. F. (2019). Estimativa de biomassa e estoque de carbono de vegetação macrofítica a partir de dados espectrais e de campo, Banhado Grande, RS. p. 93.
- Camara, I. P. (2013). Estratégias para uso e conservação do Mangal do Icidua- Província da Zambézia, distrito de Quelimane. p. c.
- Chambo, J. (2017). Avaliação da cobertura de floresta de mangal no posto administrativo de Macuse (“Namacurra”), através do sensoriamento remoto. p. 4-6.
- Cuamba, E.; Viera, L.; Morgado, F. (2019). Condição ecológica e biomassa da floresta de mangal da baía de quionga no contexto das alterações climáticas (Norte Moçambique). p. 1-2.
- Fatoyinbo, L.; Shugart, H.; Simard, M. (2008). Landscape-scale extent, height, biomass, and carbon estimation of Mozambique's mangrove forests with Landsat ETM+ and Shuttle Radar Topography Mission elevation data. p. 1-13.
- Francisco, L.; Ribeiro, N.; Siteo, A. (2019). Análise de Mudança de Cobertura do Mangal na Baía de Sofala. 8, p. 51-60. Moçambique.
- Gonçalves, A. K.; Silveira, G. P.; Barros, Z.; Campos, S. (2015). Métodos de classificação supervisionada de imagens de satélite aplicadas no mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do ribeirão santo antônio, são manuel/sp. SP.
- Jones, T.; Ratsimba, R.; Ramorinorotsihorana, L.; Cripps, L. A, B. (2014). Ecological Variability and Carbon Stock estimates of Mangrove Ecosystem in Northwestern Madagascar. p. 177-205.
- Luis, A. D. (2011). Aplicação Dos Sistemas De Informação Geográfica E Detecção Remota No Monitoramento Do Mangal, Dissertação de Mestrado. p. 70.
- Mandlate, L. (2013). Mangal da Baía de Sofala: Caracterização Ecológica e Estimativa do Carbono sequestrado Dissertação de Mestrado em Educação e Ciências Agrárias-ramo sivilcultura. FAEF. Universidade Eduardo Mondlane. pp. 81-62. Maputo.
- Marzoli, A. (2007). Relatorio de Inventario nacional de Florestas. pp. 8-60.
- Pereira, S. S. (2023). How do mangroves contribute to the social and economic development of local communities in Inhambane? p. 1-4.

Saket, M.; Matusse, R. (1994). Study for the determination of the rate of deforestation of the mangrove vegetation in Mozambique. Maputo.

Uacane, M. S. (2014). Contribuição de factores humanos na dinâmica da cobertura espacial das áreas do mangal na beira (1984-2014). p. 96-154.