



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Ciências de Informação Geográfica

**Aplicação das Geotecnologias na Monitorização da Alteração da
Linha da Costa Oceânica
Caso de estudo: Bairro de Chaimite, Cidade da Beira**

Autor: Matandire João Joaquim Maite

Maputo, Fevereiro de 2025



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Ciências de Informação Geográfica

**Aplicação das Geotecnologias na Monitorização da Alteração da Linha
da Costa Oceânica**

Caso de estudo: Bairro de Chaimite, Cidade da Beira

Autor: Matandire João Joaquim Maite

Supervisor: Lic. Francesse Mauro Bacião, UEM

Maputo, Fevereiro de 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus Pais Joaquim António Mache-me Maite (em memória) e Antónia Joaquim Luís Matandire Maite, aos meus irmãos Adelina Joaquim Maite, Inocência Joaquim Maite, Joaquim Maite Júnior, aos meus sobrinhos Iker Chicate, Keyko Chicate, Keysi Chicate e Shelsia Maite

Declaração de Honra

Eu, **Matandire João Joaquim Maite**, declaro por minha honra que o presente Trabalho de Licenciatura é resultado da minha investigação e que o processo foi concebido para ser submetido apenas para a obtenção do grau de Licenciado em Ciências de Informação Geográfica, na faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Fevereiro de 2025

(Matandire João Joaquim Maite)

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por toda força, sabedoria, saúde, direção, inspiração, paciência, para poder superar todos os desafios, os altos e baixos durante a caminhada, não só na vida estudantil.

A elaboração do presente trabalho não resultou somente do meu esforço e dedicação, mas da colaboração de muitos que contribuíram não só materialmente, como também com ensinamentos e informações adquiridos ao longo da vida. A todos, quero expressar nas próximas linhas o meu agradecimento.

Agradeço a minha mãe e irmãos, por me apoiarem desde o primeiro dia, por terem me auxiliado em cada passo da minha formação, por lutarem pela minha educação e pelo amor e apoio incondicional.

Aos meus colegas que se tornaram família Agnaldo Huate, Alia Santos, Cláudia Salomone, Dário Cumbane, Hélder Mungoi, Lénia Matsinhe, Luís Marucutsane, Maurício Niquice Júnior, Michelle Bila, Neela Dos Santos, Rivaldo Mauaie e Tomás Valói, cada um de vocês contribuiu de maneira única para o meu crescimento pessoal e acadêmico. Suas palavras de encorajamento, sorrisos motivadores e abraços reconfortantes fizeram toda a diferença. Saibam que sou imensamente grato por tudo o que fizeram e pelo apoio irrestrito que me ofereceram.

Aos meus amigos Candrinho Cocola, Jorge García e Edmundo João, por compartilharem comigo suas experiências, conhecimentos e perspectivas ao longo dessa caminhada acadêmica.

Ao Departamento de Matemática e Informática, Mestre Márcio Mathe e ao corpo docente do curso de Ciências de Informação Geográfica pelos ensinamentos e aprendizado. Assim como aos demais colegas do curso que de alguma forma me auxiliaram durante o curso.

Ao meu supervisor Lic. Francese Mauro Bacião pela oportunidade de poder trabalhar com ele, pelos conselhos, orientação e exigências que me auxiliaram a concluir este trabalho. Manifesto minha gratidão por compartilhar sua sabedoria, experiência e tempo.

A todos, o meu muito obrigado!

Resumo

A Cidade da Beira, especificamente a Praia Nova localizada no Bairro de Chaimite, tem a sua monitoria da linha da costa deficitária o que torna o uso indiscriminado da zona costeira que pode resultar em prejuízos financeiros advindos das perdas de propriedades situados nessa área. O desenvolvimento da tecnologia ao longo dos anos, tem permitido alcançar melhores resultados em curto espaço de tempo em várias áreas. E aplicação da Detecção Remota e dos SIG em particular tem auxiliado neste processo de alcance de melhores resultados em curto espaço de tempo. Na gestão costeira particularmente, a aplicação da Detecção Remota e os SIG se faz importante pois auxiliam por exemplo na monitoria na variação da linha da costa.

O presente trabalho tem como objectivo analisar a variação da alteração da linha de costa dos 2002, 2012 e 2022 da Praia Nova na cidade da Beira no Bairro de Chaimite, província de Sofala, com recurso a Detecção Remota e Sistema de Informação Geográfica com ferramenta DSAS (Sistema de Análise Digital de Linha de costa (*Digital Shoreline Analysis System*)). Para isto fez-se o cálculo do índice de água (MNDWI) com o objectivo de extrair as linhas de costa das imagens de satélite usadas. A adoção de estudos que visem determinar as taxas de alteração da linha de costa, constituem uma ferramenta essencial para a correta tomada de decisões acerca do uso e gestão adequada da zona costeira.

Os resultados desses estudos variaram de -8,05 à 1 (m/ano) para a Taxa de Regressão Linear ou *Linear Regression Rate* (LRR), houve uma variação -8,23 à 0,80 (m/ano) para a Taxa do Ponto Final ou *End Point Rate* (EPR) e houve uma variação de 10,94 à 352,85 (m/ano na Distância Máxima de Mudança do Litoral ou *Shoreline Change Envelope* (SCE).

Palavras-chave: Linha de Costa, MNDWI, SIG.

Abreviaturas

CENACARTA	Centro Nacional de Cartografia e Teledetecção
CFM	Caminhos de Ferro e Moçambique;
DR	Detecção Remota;
DSAS	Sistema de Análise Digital de Linha de costa (<i>Digital Shoreline Analysis System</i>);
EPR	<i>End Point Rate</i> (Taxa do Ponto Final);
ERTS	<i>Earth Resources Technology Satellite</i> ;
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i> ;
GPS	Sistema de posicionamento Global;
LRR	<i>Linear Regression Rate</i> (Taxa de Regressão Linear);
MAE	Ministério de Administração Estatal;
MIMAIP	Ministério do Mar, Águas interiores e Pescas;
MITADER	Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural;
MNDWI	Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada;
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i> ;
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> ;
OLI	<i>Operational Land Imager</i> ;
RBV	<i>Return Beam Vidicon</i> ;
SCE	<i>Shoreline Change Envelope</i> (Distância Máxima de Mudança do Litoral);
SIG	Sistema de Informação Geográfica;
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i> ;
TM	<i>Thematic Mapper</i> ;
USGS	<i>United States Geological Survey</i> .

Índice

Dedicatória.....	i
Declaração de Honra.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abreviaturas.....	v
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Definição do Problema.....	2
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Relevância.....	3
1.5. Objectivos.....	4
Área de estudo.....	5
2.1 Localização Geográfica.....	5
2.2 Geomorfologia, Geologia e Solos.....	6
2.3 Clima.....	6
2.4 Economia.....	7
Revisão de Literatura.....	8
3.1 Zonas costeiras.....	8
3.2 Linha da Costa.....	9
3.2.1. Alteração da Linha da Costa.....	10
3.2.2. Monitorização da Linha de Costa.....	10
3.3 Marés.....	11
3.4 Erosão Costeira.....	12

3.5	Detecção Remota.....	13
3.5.1.	Aplicação da Detecção Remota.....	15
3.5.2.	Espectro Electomagnético	15
3.5.3.	Radiação Electomagnética.....	16
3.5.4.	Comportamento Espectral em Água	17
3.6	Sistema de Informação Geográfica.....	19
3.6.1.	Componentes de um SIG.....	20
3.6.2	Geoprocessamento	21
3.7.	Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada (MNDWI).....	21
3.8.	Extracção Automática da Linha de Costa.....	22
3.8.1.	Detecção de Borda	22
3.9.	Utilização do Dsas (Digital Shoreline Analysis System)	23
3.10.	Aplicação de Filtro de <i>Threshold</i> (Binarização).....	24
3.11.	Satélite Landsat.....	25
3.7.1.	Imagem Landsat 5 TM.....	27
3.7.2.	Imagem Landsat 8 OLI	28
3.13.	Factores que Influenciam na Alteração da Linha de Costa	30
	Material e Métodos	31
4.1	Material.....	31
4.2	Metodologia Para Monitoria da Linha da Costa Baseado em Imagens de Satélite	31
4.3	Pré- Processamento.....	33
4.4	Linha de Base	34
4.5	Cálculo de Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada (MNDWI)	34
4.6	Aplicação do Filtro de <i>Threshold</i> (Binarização)	34
4.7	Extração da Linha da Costa	35
	Resultados e Discussão	36
5.1	Extracção das Linhas de Costa.....	36
5.2	Determinação das Taxas de Alteração das Linhas de Costa	39

5.3.1.	Taxa do Ponto Final (EPR).....	39
5.3.2.	Taxa de Regressão Linear (LRR).....	40
5.3.3.	Distância Máxima de Mudança (SCE).....	42
Conclusões e Recomendações		45
6.1	Conclusão.....	45
6.2	Recomendações.....	46
Referências Bibliográficas		47
Anexos.....		53
Anexo 1: Aplicação de Threshold com Recurso a Python.....		53
Anexo 2: Mapas de EPR, LLR e SCE.....		54

Lista de Figuras

Figura 1 : Mapa de Localização do Bairro de Chaimite.	5
Figura 2: Designação de várias artes constituintes das zonas costeiras. Fonte: Fontes (2011).	9
Figura 3: Elementos principais do processo de deteção remota. Fonte: Amorin (2015)	14
Figura 4: O espectro electromagnético. Fonte: Sinha, et al, 2018.	16
Figura 5: Radiação electromagnética. Fonte: Souza e Silva, 2011.	17
Figura 6: Assinatura espectral de objectos geográficos. Fonte: (Chahdi, 2017).	18
Figura 7: Componentes de Sistema de Informação Geográfica. Fonte: (Ferreira, 2006).	19
Figura 8: Estrutura de um SIG. Fonte: Davis (1999) citado por (Alfredo, 2015)	20
Figura 9: Etapas do Geoprocessamento, tecnologias envolvidas e produtos gerados. Fonte: (Marques, 2006).	21
Figura 10: Fluxograma Metodológico para realização do trabalho.	33
Figura 11: MNDWI da imagem de Landsat 5 ETM _2002.	36
Figura 12: MNDWI da imagem de Landsat 5 ETM _2012	36
Figura 13: MNDWI da imagem de Landsat 8 OLI _2022	37
Figura 14: Thershold do MNDWI da imagem de 2002	37
Figura 15: Thershold do MNDWI da imagem de 2012	37
Figura 16: Thershold do MNDWI da imagem de 2022	38
Figura 17: Representação das Linhas de Costas.	38
Figura 18: Taxa de variações da linha da costa determinada pelo método estatístico EPR.	39
Figura 18: Mapa de Representação da Taxa de Ponto Final.	40
Figura 20: Taxa de variações da linha da costa determinada pelo método estatístico EPR.	41
Figura 21: Mapa de Representação da Taxa de Regressão Linear.	41
Figura 23: Taxa de variações da linha da costa determinada pelo método estatístico SCE.	43
Figura 22: Mapa de Representação da Taxa de Distância Máxima de Mudanças Litoral.	43
Figura 24: Gráfico Representativo da sobreposição dos métodos SCE, EPR e LRR	44

Lista de Tabelas

Tabela 1: Coordenadas do Bairro de Chaimite	6
Tabela 2: Regiões do Espectro electromagnético em Detecção Remota Fonte: (Sinha, et al, 2018).....	16
Tabela 3: Características dos satélites Landsat. Fonte: (USGS, 2021).	27
Tabela 4: Satélites da Série Landsat. Fonte: (USGS, 2021).	27
Tabela 5: Características do sensor TM do satélite Landsat-5. Fonte: NASA 2013.	28
Tabela 6. Características dos sensores OLI do satélite Landsat-8. Fonte: NASA (2013).	29
Tabela 7: Características dos dados adquiridos.	31

Introdução

Neste capítulo apresentam-se a contextualização do tema, bem como a definição do problema, justificativa, relevância e objectivos.

1.1. Contextualização

A zona costeira é uma área em constante evolução, isto deve-se ao facto desta, enquadrar-se numa área de transição entre dois domínios distintos, o continente e o oceano, dos quais juntam forças construtivas e destrutivas na procura de um equilíbrio dinâmico (Rocha *et al.*, 2016).

Monitorar a estabilidade costeira é vital para gestão do meio ambiente e faz parte do conjunto de tarefas e actividades que contribuem para a gestão costeira, contudo, a falta de informação cartográfica recente dificulta a determinação da variabilidade da linha de costa, tornando difícil sua modelagem (Gonçalves *et al.*, 2012).

As linhas de costa não são áreas estáticas, mas extremamente dinâmicas. Elas estão em constantes mudanças, em resposta as forças naturais e a actividades humanas. Essas forças e actividades continuamente movimentam a linha de costa as vezes na mesma direcção, mas com maior frequência em direcções opostas. Como resultado a forma da linha de costa altera (Martins, 2004).

Segundo Anders *et al.* (1991), citado por Matos (2014), a monitoria sistemática da linha de costa e o acompanhamento de suas mudanças representam ferramentas para a geração de informações de grande valor para o Planeamento e controle costeiro, pois oferecem subsídios para a determinação de faixas de recuos da zona litorânea, permitem cálculos de áreas de risco de erosão costeira e contribuem também com informações para implantação de obras de intervenção directa na linha de costa.

O uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Detecção Remota (DR) permitem vectorizar, integrar e analisar, num meio digital, os dados multi-temporais da linha de costa para análise da evolução costeira. Além disso, permite fornecer grande quantidade de informações acerca dos registos de uso do ambiente costeiro (Ximenes *et al.* 2013).

Este estudo visa mostrar como as geotecnologias ajudam na monitoria das alterações da linha da costa, tendo como área de estudo a Praia Nova na Cidade da Beira e para o efeito são usados diferentes índices como Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada (MNDWI) e Sistema de

Análise Digital de Linha da Costa (DSAS), que servem de apoio no processo de monitoria da alteração da linha da costa.

1.2. Definição do Problema

A Praia Nova localizada no Bairro de Chaimite, tem a sua monitoria da linha da costa deficitária o que torna o uso indiscriminado da zona costeira que pode resultar em prejuízos financeiros advindos das perdas de propriedades situados nessa área e até mesmo a total modificação do ambiente natural (MITADER, 2016).

O método empregue na monitoria da linha de costa na praia nova foi o nivelamento geométrico. Este método é limitado pelas condições ambientais (é restrito em áreas ecologicamente sensíveis, os pontos de controle e marcas permanentes no terreno pode alterar o habitat e afectar a fauna e flora local.), sendo também ideal para áreas pequenas devido à necessidade de medições precisas e contínuas, tornando demorado e com custos elevados, comparadas as tecnologias como DR e SIG, que não requerem acesso físico ao terreno, permitindo a coleta de dados em áreas inacessíveis e em grandes áreas de forma rápida (MIMAIP, 2019).

A demonstração da ferramenta DSAS (Sistema de Análise Digital de Linha da Costa) a ser proposto representará um quadro de monitoria da alteração da linha da costa, que visa a ser um instrumento que facilita análises mais abrangente, adaptando-se as várias realidades, beneficiando-se das técnicas do geoprocessamento. Com objectivo de dar subsídio na monitoria da variação da linha de costa e planeamento costeiro.

1.3. Justificativa

A cidade da Beira é particularmente vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas, incluindo a elevação do nível do mar e ciclones tropicais, que tornam susceptível a mudanças na linha da costa devido a processos naturais como erosão e sedimentação (Mujovo e Jacob, 2022).

A praia nova é uma praia arenosa constituída por materiais não consolidado e a sua linha da costa está em constantes movimentações em direcção ao continente, criando erosão pondo em risco a segurança dos pescadores, banhistas e os moradores locais (Samuel, 2017).

As áreas costeiras vêm, ao longo da história, sendo ocupadas de forma bastante rápida e desordenada, tornando constante a ocorrência de problemas ambientais, com elevadas consequências socioeconómicas (danos à infraestrutura turística, pesca e perda de propriedades e valor) (Uacane, 2014).

A aplicação da ferramenta que poderá servir de auxílio para analisar as possíveis variações que ocorrem na linha de costa. O uso de geotecnologias aplicada à gestão costeira via satélite possibilita monitoria de

áreas de grandes dimensões recorrendo às imagens obtidas em plataformas de observação da Terra. O Landsat permite uma análise precisa em estudos costeiros (Carvalho, 2016). Com os resultados do mapeamento da variação espaço-temporal, é possível monitorar o desenvolvimento da alteração da linha da costa, possibilitando a identificação do avanço e recuo das linhas de costas nos anos anteriores ao ano em estudo (Almeida e Cruz, 2013).

1.4. Relevância

A alteração da linha da costa tem impactos económicos significativos em sectores como pesca, turismo, transporte marítimo e construção. O recuo da linha da costa, pode afectar a indústria do turismo, resultando em perda de receitas e empregos, os estudos da alteração da linha da costa são fundamentais para garantir um desenvolvimento económico equilibrado e sustentável nas regiões costeiras (Maluvane, 2021).

A ausência da monitoria da alteração da linha da costa é preocupante, pois impede a avaliação precisa dos impactos das mudanças costeiras, como a elevação do nível do mar. Os cientistas com os estudos podem ajudar a entender e mitigar os impactos da erosão costeira e da subida do nível do mar, que podem destruir habitats naturais e biodiversidade, isso pode resultar na preparação para eventos extremos, perda de habitat, danos à infraestrutura costeira e aumento do risco para as comunidades (Mazzer e Dillenburger, 2009).

As comunidades costeiras têm sido afectadas com a perda de terras, deslocamento de pessoas e impactos na infraestrutura, o que, de um certo modo pode resultar em desafios sociais, como a necessidade de realocação de comunidades, aumento da vulnerabilidade a desastres naturais e perda de património cultural (Maluvane, 2021).

Portanto este estudo se torna uma ferramenta de apoio para monitoria da alteração da linha da costa de forma a contribuir no crescimento socioeconómico no país.

1.5. Objectivos

O objectivo geral e os objectivos específicos vão ajudar a estruturar o trabalho, orientando de modo que o trabalho tenha uma direcção clara.

1.5.1. Objectivo Geral

Aplicar as geotecnologias na análise da variação da linha da costa, através da monitoria da evolução e comparação multitemporal.

1.5.2. Objectivos Específicos

- Identificar os factores que influenciam para alteração da linha da costa;
- Extrair o índice de água (MNDWI) das séries de imagens de satélite Landsat 5 e 8, para identificar o recuo e avanço da linha da costa;
- Calcular a taxa de variação da linha de costa com o recurso ao Sistema de Análise Digital de Linha de costa (DSAS);
- Produzir mapas temáticos dos resultados obtidos pelo índice de água (MNDWI) e DSAS da Praia Nova na cidade da Beira nos anos de 2002, 2012 e 2022.

Área de estudo

O presente capítulo descreve a área de estudo, apresentando a sua localização, geomorfologia, geologia, solos, clima e Economia.

2.1 Localização Geográfica

A praia nova esta localizada no Bairro de Chaimite, está a cerca de 1,3 km a Este da Cidade da Beira que se Localiza no centro do País. O bairro de Chaimite tem como limites a Norte o Bairro dos Pioneiros, a Sul o Bairro da Ponta Gêa, a Oeste o Oceânio Índico e distrito de Búzi e a Este do Bairro Esturro (Nhantumbo, 2020). A linha de costa tem 3.851 km de extensão, que esta representada na Figura 1 e as coordenadas do limite do bairro de chaimite são apresentadas na tabela 1.

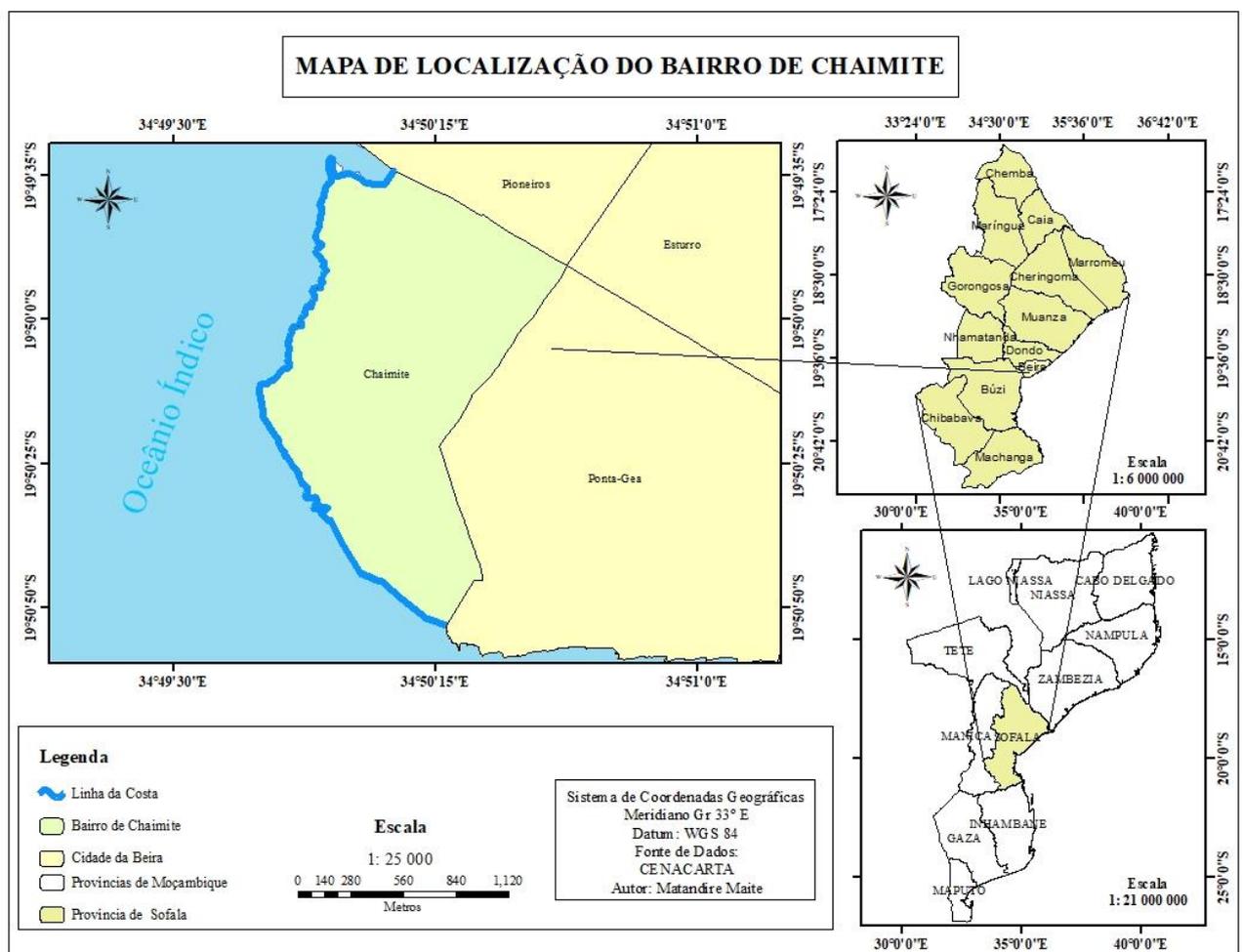


Figura 1 : Mapa de Localização do Bairro de Chaimite.

A tabelas de coordenadas representa as Latitudes máximas e mínimas e as Longitudes máximas e mínimas.

Vértices	Latitude	Longitude
1	19°49'50.75"S	34°50'37.60"E
2	19°50'52.94"S	34°50'23.49"E
3	19°50'53.53"S	34°50'17.16"E
4	19°50'11.48"S	34°49'45.23"E

Tabela 1: Coordenadas do Bairro de Chaimite

2.2 Geomorfologia, Geologia e Solos

A Cidade da Beira é caracterizada por um relevo predominantemente plano, típico das regiões costeiras e composta por uma planície aluvionar com uma suave inclinação para SE, e é fortemente influenciada por processos fluviais e costeiros, incluindo a ação das marés e a sedimentação trazida pelos rios, especialmente o rio Púnguè (Chale, 2015).

Possui uma variedade de tipos de solos devido à sua localização costeira e às características geológicas da região. As rochas sedimentares, nomeadamente as do Plioceno, denominadas de formação Mazamba, e as do Quaternário, constituídas por aluvião arenoso e aluvião argilo-arenoso. Na parte mais costeira, os sedimentos quaternários encontram-se cobertos por material mais recentes, os aluviões e dunas costeiras paralelas (Nhatsave, 2015).

É importante observar que a composição do solo pode variar em diferentes partes da cidade e até mesmo dentro de um bairro específico. Além disso, praticas agrícolas, urbanização e outros factores que podem influenciar a qualidade e a saúde do solo em determinadas áreas (Samuel, 2017).

2.3 Clima

A Cidade da Beira possui um clima tropical húmido, caracterizado por temperaturas altas e chuvas abundantes durante boa parte do ano, onde a precipitação varia 1200 a 1400mm, a precipitação é significativamente menor, com alguns meses praticamente secos (CFM, 2007).

As temperaturas médias anuais variam entre os 25°C e 30°C e a humidade relativa média anual pode exceder 80%, os máximos de temperaturas registram-se entre Janeiro e Fevereiro e os mínimos em Julho. Apesar da fraca amplitude térmica anual, já foram registrados valores extremos de 42.9°C e 9.4°C para os períodos quentes e frios, respectivamente (Tayob, 2005).

2.4 Economia

O Porto da Beira está localizado na zona sul da cidade, na margem norte do estuário do Pungué, dentro do bairro dos Pioneiros, sendo limitado pelos bairros Esturro, Matope e Ponta-Gêa, na foz do rio Chiveve. É uma área de topografia baixa e em um terreno inundável com características pantanosas nas zonas mais afastadas da foz (CFM, 2007).

Dada a sua localização geo-estratégica na foz dos rios Buzi e Pungué e as políticas de desenvolvimento seguidas já desde o período colonial, o desenvolvimento económico da cidade da Beira está fortemente relacionado ao desenvolvimento do Porto e do Corredor da Beira (CFM, 2007).

A exploração dos recursos pesqueiros envolve tanto a pesca industrial quanto a artesanal. Apesar da pesca comercial contribuir grandemente para a economia do país, a pesca de pequena escala, composta pela pesca semi-industrial e artesanal, também contribui significativamente nas exportações, na economia informal, especialmente a nível local, e é a maior fonte de proteínas das populações costeiras (CFM, 2007)..

O sistema ferro-portuário, a Cidade da Beira possui o segundo maior parque industrial do país e unidades de pesca. O potencial para a exploração profissional dos recursos pesqueiros pela indústria é um forte elemento de atracção de mão-de-obra para a região (MAE, 2005).

Revisão de Literatura

Neste capítulo são abordados os principais temas do presente trabalho, ajudando dessa forma o leitor a melhor se enquadrar do tema e sobre as técnicas que serão usadas durante o processo de execução.

3.1 Zonas costeiras

As zonas costeiras são zonas que podem ser classificadas como a interface entre a terra e a água, zona onde acaba a influência do mar, rios ou lagos e começa a influência da terra ou vice-versa, zona intermédia entre terra e superfícies aquática (MITADER, 2005).

As zonas costeiras possuem uma cultura e um modo de vida com muitos séculos de existência, servindo os interesses da humanidade, e desempenhando um papel estratégico na resposta às necessidades e aspirações das actuais e futuras populações da Europa. Desde sempre que as zonas costeiras estão relacionadas com a criação de postos de trabalho, com o crescimento económico e a com a qualidade de vida (Reis, 2010).

As zonas costeiras são constituídas por diversos elementos morfo-sedimentares, interdependentes através de processos hidrodinâmicos, sedimentares, morfológicos e ecológicos. Estas características conferem à orla costeira uma dinâmica natural complexa, que nem sempre é compatível com os usos a que está sujeita. A sua intensa ocupação e pressão antrópicas tornam cada vez mais vulnerável à acção de factores naturais (tempestades, tsunamis, subida do nível médio do mar) e, também, à própria acção do Homem (redução de fontes sedimentares, dragagens, extracção de inertes, destruição de sistemas dunares, introdução de fontes de poluição) (Fortunato, *et al.*, 2008).

As zonas costeiras como áreas particularmente vulneráveis às alterações climáticas, nomeadamente no que refere à subida do nível médio das águas do mar, proclamando uma atenção internacional para este problema (Pinto, 2008).

Segundo Sorensen (1991) citado por (Marizane, 2020), em todo o mundo, as políticas de desenvolvimento integrado de zonas costeiras têm buscado apoio em Geotecnologias, como a

Detecção Remota e o sistema de informações geográficas, aquando da tomada de decisões que envolvem as crescentes demandas de exploração em contraponto à protecção e conservação ambiental.

3.2 Linha da Costa

A linha de costa é um elemento geomorfológico que apresta alta dinâmica espacial decorrente de respostas aos processos costeiros de diferentes magnitudes e frequências. Suas mudanças de posição são de natureza complexa, envolvendo diversos processos ligados a elevação do nível do mar em curto e longo prazo, balanço de sedimentos, movimentos tectônicos entre outros (Brezolin, 2011).



Figura 2: Designação de várias artes constituintes das zonas costeiras. **Fonte:** Fontes (2011).

Define-se linha de costa como sendo o limite entre o continente e a porção adjacente ao mar onde não há efetiva ação marinha no alcance máximo das ondas, concretizando-se pela presença de falésias, no limite entre a vegetação e a praia, ou nos costões rochosos, ou por qualquer outra feição que marque o início da área continental. A percepção de que localmente esta linha não é estável, podendo erodir ou progredir, é uma decorrência clara e direta do aumento da ocupação da zona costeira (Krueger, *et al.*, 2002).

Devemos entender a linha de costa como um limite móvel, cuja posição espacial é variável a todas as escalas temporais. Os critérios que a definem devem por isso ser rigorosos, de forma a tornar comparáveis os resultados obtidos. Naturalmente que, consoante ao tipo de costa em estudo, podem traduzir-se em recuos de apenas alguns milímetros por ano ou serem da ordem dos vários metros. Deve-se ponderar por isso qual o proxy (referência) mais adequado tendo em linha de conta, naturalmente, o rigor posicional pretendido (Oliveira, 2005).

Diversos métodos podem ser empregados na determinação destas linhas de costa, como: por fotografias aéreas, por fotografias terrestres tiradas de um mesmo ponto de observação, por levantamentos convencionais com teodolitos ou estações totais; por imagens de satélites e com o Sistema de Posicionamento Global (GPS) (Krueger, *et al.*, 2002).

3.2.1. Alteração da Linha da Costa

As alterações ambientais vinculadas à dinâmica da ocupação e uso da terra e suas relações com a alteração da linha de costa precisam ser compreendidas e monitoradas para subsidiar planos de gestão voltados à preservação e manutenção dos ambientes costeiros (Delamare e Sato, 2015).

A dinâmica dos oceanos, associada aos movimentos de material sólidos por acção dos ventos, tem determinada significativa transformação das linhas de costa, nos continentes, numa escala de tempo bem definida. Conhecer e dominar este processo costeiro implica estabelecer um domínio completo dos impactos causados pela presença física das mais variadas obras marítimas, o que representa um dos grandes desafios encontrados pelos engenheiros e cientistas que tratam de resolver problemas relacionados com a dinâmica costeira (Vieira e Souza, 1996).

A dinâmica costeira, que condiciona a construção geomorfológica da linha da costa, é a principal responsável pelo desenvolvimento das praias arenosas, pelos processos de erosão e deposição que as mantêm em constante alteração. A morfologia dos perfis praias em uma determinada região é função do nível energético das ondas, uma vez que essa energia é liberada nas zonas costeiras (Cunha, 2010).

Na maior parte do estuário a zona costeira está muito artificializada, existindo grande troços em que a linha de costa foi fixada pelo homem. Desta forma as alterações na posição da linha de costa estão muito condicionadas pela actividade humana, nomeadamente pela construção de aterros e diques ou pelo abandono de estruturas já existentes. Embora com alguns retrocessos e avanços, a evolução tem sido claramente no sentido da perda de área estuarina. A fixação da linha de costa diminui a capacidade de “*rollover*” do estuário, ou seja, a sua capacidade de migrar para o interior à medida que o nível do mar sobe. A reduzida capacidade de migração do estuário, promove o estreitamento ou mesmo a supressão das zonas de transição, nomeadamente as áreas de sapal (Brito, 2009).

3.2.2. Monitorização da Linha de Costa

Há necessidade de compreender os processos que norteiam a evolução da linha de costa e a erosão costeira e o possível impacto da subida do nível médio das águas do mar, como resultado das mudanças climáticas, aparecem como as principais razões por detrás das acções de monitorização da linha da costa apresentadas. As acções antrópicas são também citadas como estando a condicionar a evolução

da costa, contribuindo para o aparente incremento das taxas de erosão com causas naturais (Palalane e Oliveira, 2013).

O monitoramento sistemático da linha de costa e o acompanhamento de suas mudanças representam ferramentas para a geração de informações de grande valor para o planejamento e gerenciamento costeiro, pois oferecem subsídios para a determinação de faixas de recuos da zona litorânea, permitem a cálculos de áreas de risco de erosão costeira e contribuem também com informações para a implantação de obras de intervenção direta na linha de costa (Vieira e Souza, 2006).

A análise e processamento de dados de detecção remota apresentam-se como ferramentas importantes para monitoramento de fenómenos que acontecem sobre a superfície da terra e de qualquer corpo celeste, e neste caso específico na zona costeira, visto o baixo custo e escala grande das imagens de satélite e a possibilidade de se obter informações espaço-temporais anteriores aos levantamentos de dados em campo (Luís, 2011).

Um plano de monitorização tem como perspectiva, intervenções que visem não só a manutenção estrutural das obras de protecção costeira instalada ou a construir, como também um conjunto de medidas de médio a longo prazo que possibilitem o estudo e conhecimento do conjunto de fenómenos influentes na dinâmica costeira, com repercussão e impacto na interacção entre a agitação e a linha de costa (Langa e Gomes, 2001).

3.3 Marés

A maré é um fenómeno cósmico que se manifesta em todos oceanos através de uma oscilação rítmica do nível das águas do mar acompanhada por correntes variáveis, em magnitude e direcção, particularmente evidentes em zonas confinadas (baía). Podem ser definidas como movimentos periódicos de subida (fluxo) e descida (refluxo) de altura da superfície da água do mar num determinado local, causados pela atracção gravitacional da Lua e do Sol, combinada com o movimento de rotação da Terra (Chimangue, 2018).

O fenómeno da variação do nível do mar, através de descidas e subidas duas vezes ao dia é designado por marés. Este fenómeno já era observado há milhares de anos e muitos observadores repararam nas posições das marés e as fases das luas e nos intervalos temporais diários entre os diferentes níveis das marés (Santos, *et al*, 2015).

No entanto só depois de Isaac Newton ter formulado a Lei da Atracção Universal, no século XVII, é que se ficou a saber que o fenómeno das marés se deve às interacções das forças gravitacionais da Lua e do Sol com os oceanos. As marés diárias são influenciadas principalmente pela interacção entre a Terra e

a Lua, que é o satélite mais próximo, e essas marés designam-se por marés lunares (Filipe e Guimarães, 2012).

A oscilação da maré é consequência, basicamente, da Lei da Gravitação Universal de Newton, segundo a qual os corpos se atraem na razão direta de suas massas e na razão inversa do quadrado da distância que as separa. A Lua, devido à sua proximidade, é o corpo celeste que mais influencia a maré, seguindo-se o Sol, por força de sua enorme massa. A influência dos demais planetas e estrelas é bem menos significativa (Brigatti, 2008).

A Lua, à medida que realiza o seu movimento de rotação à volta da Terra, vai exercer sob os oceanos diferentes forças gravitacionais, dependendo da posição onde se encontra. No lado da Terra que se encontra mais próximo da Lua, o nível do mar vai encontrar-se mais alto, resultando nas marés altas, ou Praia-Mar. Do lado da Terra mais distante da Lua passa-se exatamente o contrário, dando até a impressão de que a Lua tivesse puxado o oceano para si, resultando daí as marés baixas, ou Baixa-Mar (Filipe e Guimarães, 2012).

Podem ocorrer três tipos de marés, marés diurnas, semi-diurnas ou marés mistas. Se no mesmo dia ocorrem duas marés-altas e duas marés-baixas de valores aproximadamente iguais, então a maré é designada de semi-diurna. Dada a variação da posição dos astros ao longo de um mês, ocupando posições de alinhamento e de quadratura consoante as fases da Lua, as marés podem apresentar diferentes valores de amplitude. As de maior amplitude são as marés-vivas (AV, Águas-Vivas) e as de menor amplitude as marés-mortas (AM, Águas Mortas) (Rocha e Catita, 2016).

As marés propagam-se desde os oceanos até as zonas de menores profundidades das plataformas continentais onde a sua velocidade de propagação é muito mais baixa. Aí tem lugar a dissipação de energia, gasta para vencer a resistência do atrito no fundo, devido as fortes correntes de maré. A distorção final da onda de maré harmónica ocorre nos estuários e nos rios onde a profundidade é demasiado pequena para permitir que a onda se propague eficazmente. As marés quando são altas invadem as zonas costeiras, e ao baixar arrasta todas partículas e segmentos da superfície para o mar, e como consequência a erosão costeira. (Brito, 2009).

3.4 Erosão Costeira

A erosão costeira resulta de um conjunto de processos complexos que têm lugar na orla costeira cuja dinâmica envolve escalas temporais muito distintas entre si. Os principais agentes erosivos são os ventos, as marés e a agitação marinha. Contudo, existem outras causas relacionadas com a origem de processos erosivos recentes (Dias, 2019):

- Elevação do nível médio da superfície oceânica;

- Diminuição da quantidade de sedimentos fornecidos ao litoral;
- Degradação antropogénica das estruturas naturais;
- Alterações induzidas pelas obras pesadas de engenharia costeira, nomeadamente as que são implantadas para defenderem o litoral.

A elevação do nível médio do mar pode relacionar-se com a variabilidade climatológica natural da Terra e com as perturbações induzidas pelas atividades humanas; a elevação acontece devido ao aumento do volume de água que é induzido pelo aumento da temperatura atmosférica causando, assim, a expansão térmica do oceano (Coelho e Pinto, 2018).

Os impactos no litoral causado pela elevação do nível médio das águas do mar são diversificados, entre muitos estão: a salinização dos aquíferos costeiros; o aumento da frequência e intensidade das inundações e dos danos provocados pelas tempestades; o assoreamento de lagunas e de estuários; a erosão de praias e arribas (Alves e Pinto, 2017).

A diminuição da quantidade de sedimentos está relacionada às muitas atividades humanas em zonas ribeirinhas ou no interior, das quais se destacam as barragens, as dragagens e a extração de inertes (Coelho e Pinto, 2018).

A degradação antropogénica das estruturas naturais de defesa (dunas ou arribas), que constituem as melhores defesas contra o recuo da linha de costa, onde a sua progressiva destruição devido a ações antropogénicas (práticas agrícolas, pisoteio, corredores eólicos, ocupação urbana e exploração de areias) propiciam a fragilidade do sistema dunar como barreira natural, facilitando galgamentos oceânicos, destruição da vegetação para retenção de areias e inundações de terrenos. As obras pesadas de engenharia criam desequilíbrios locais, causando perturbações nos trechos costeiros em que são inseridas (Alves e Pinto, 2017).

3.5 Detecção Remota

Detecção Remota é a ciência de adquirir e analisar informações acerca de um objecto ou fenómeno a distância. Comparado com outras formas de monitoramento a partir do solo, as vantagens da Detecção Remota por satélite são (Ray, 2010) :

- Potencial para levantamento rápido;
- Capacidade de obter uma visão sinótica;
- Capacidade de cobertura repetitiva para detecção de mudanças;
- Envolvimento do baixo custo;
- Alta acurácia;

- Uso de dados multiespectrais para maior informação;
- Cobertura de área inacessível;
- Capacidade para todas as condições climáticas (dia e noite);
- Observação simultânea de uma única plataforma em diferentes resoluções ou ângulos, regiões espectrais na terra, atmosfera e oceanos.

A Detecção Remota é um conjunto de técnicas de aquisição, processamento e análise de imagens da superfície do planeta, captadas por sistemas de satélite ou meios aéreos (Amorim, 2007).

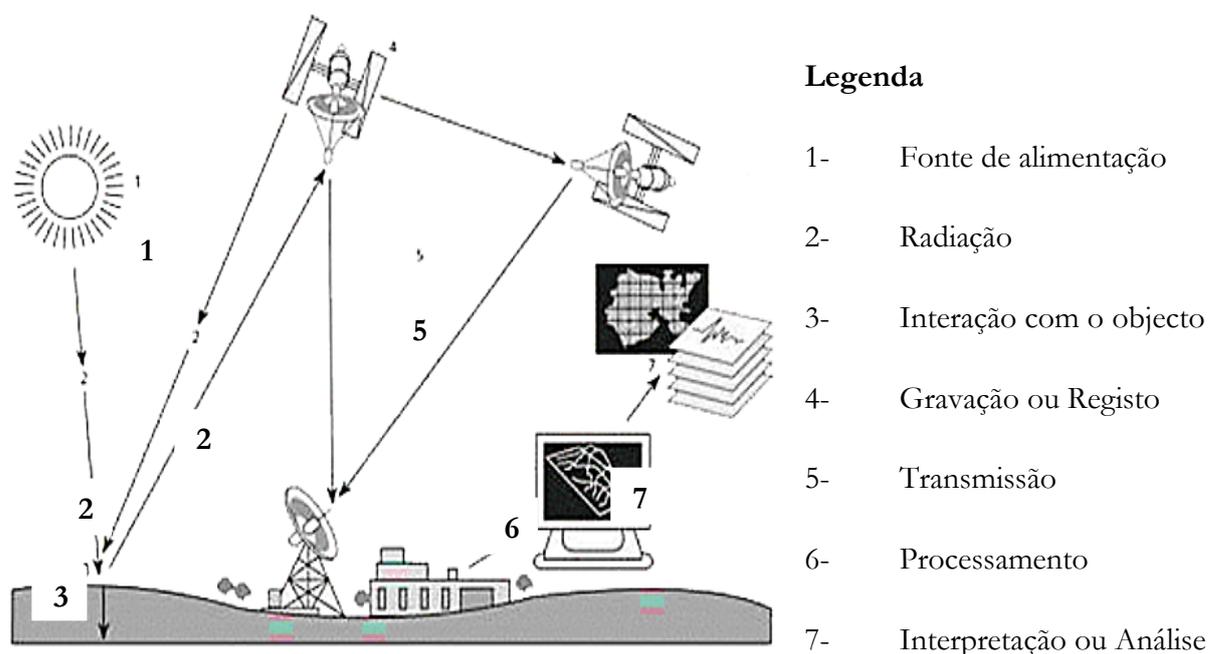


Figura 3: Elementos principais do processo de detecção remota. **Fonte:** Amorin (2015)

A informação extraída por meio da Detecção Remota constitui uma fonte confiável para produção de mapas temáticos como os que representam o uso e cobertura do solo, porque fornece uma reprodução da superfície da Terra que é espacialmente contínua e altamente consistente, e está disponível em várias escalas espaciais e temporais (Manuela, 2003).

Detecção Remota como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (Novo, 2010).

3.5.1. Aplicação da Detecção Remota

A DR pode ser usada em várias aplicações em três sentidos diferentes (Ray, 2010):

- Mapeamento/monitoramento dos recursos naturais;
- Recuperação de parâmetros biogeofísicos, que é usado em modelos para prever as mudanças na biosfera e geosfera;
- Gestão / apoio à decisão, onde a informação derivada de DR é usada para se chegar à decisão para a gestão sustentável dos recursos naturais.

Existem vários campos nos quais as aplicações de DR têm se mostrado altamente úteis, que incluem agricultura, recursos hídricos, floresta e ecossistema, gestão de desastres, infra-estrutura de desenvolvimento, atmosfera e ciências oceânicas e muitos outros (Ray, 2010).

A detecção remota no monitoramento da linha da costa envolve o uso de tecnologias avançadas, como satélites, drones e sensores, para coletar dados sobre a dinâmica costeira. Esta abordagem tem diversas vantagens em comparação com métodos tradicionais de monitoramento, incluindo maior cobertura espacial, acesso a áreas remotas e a capacidade de coletar dados em intervalos de tempo regulares (Medeiros, 2009).

São amplamente utilizadas para monitorar mudanças na linha da costa ao longo do tempo. Satélites como o Landsat, Sentinel e Terra/Aqua fornecem imagens multiespectrais que podem ser analisadas para identificar erosão, deposição de sedimentos e mudanças no uso do solo costeiro (Nunes, 2017).

A detecção remota, portanto, desempenha um papel crucial no monitoramento e na gestão das zonas costeiras, oferecendo uma ferramenta poderosa para a preservação e o desenvolvimento sustentável dessas áreas sensíveis (Santos, 2013).

3.5.2. Espectro Electromagnético

O espectro está dividido em regiões ou bandas cujas denominações estão relacionadas com a forma com que as radiações podem ser produzidas ou detectadas (Steffen, 2013). O espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade da radiação electromagnética em todo o seu intervalo, com relação ao seu comprimento de onda ou frequência (Sousa e Silva, 2011).

De uma forma resumida podemos definir o espectro electromagnético como sendo o conjunto de todos os comprimentos de onda onde se apresenta a radiação electromagnética.

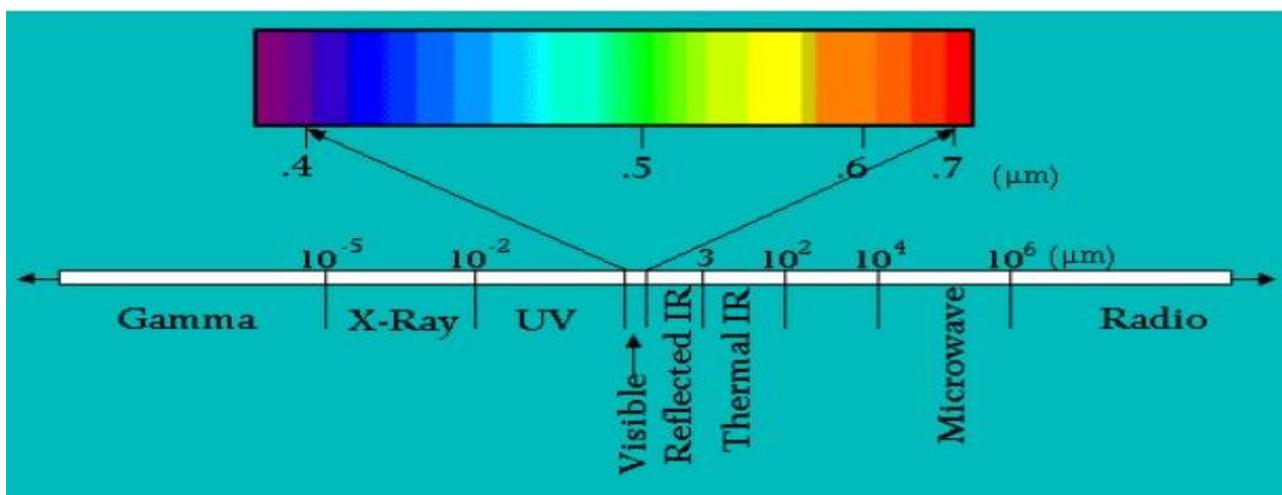


Figura 4: O espectro electromagnético. Fonte: Sinha, *et al*, 2018.

Região do espectro		Intervalo do comprimento de onda (μm)
Ultravioleta	-----	0.30-0.38
Visível	Azul	0.42-0.49
	Verde	0.49-0.58
	Vermelho	0.58-0.70
Infravermelho (IV)	IV próximo (IVP)	0.70-1.30
	IV médio (IVM)	1.30-3
	IV térmico (IVT)	>3
Microondas	-----	1mm-1m

Tabela 2: Regiões do Espectro electromagnético em Detecção Remota Fonte: (Sinha, *et al*, 2018).

3.5.3. Radiação Electromagnética

De acordo com (Bakker, *et al.*, 2001), a radiação electromagnética consiste num campo eléctrico (E) que varia em magnitude na direcção perpendicular à direcção em que a radiação viaja, e um campo magnético (M) formando um ângulo recto com o campo eléctrico. Ambos os campos viajam à velocidade da luz (c).

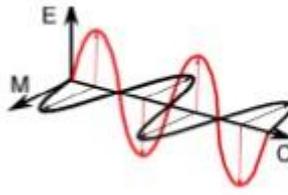


Figura 5: Radiação electromagnética. **Fonte:** Souza e Silva, 2011.

De acordo com (Silva e Sousa, 2011), em Detecção Remota, a radiação electromagnética é normalmente caracterizada pela localização dos comprimentos de onda, λ no espectro de radiação electromagnética. A unidade do Sistema Internacional (SI) é o micrómetro ($\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$). O espaço ocupado pela radiação visível, abrange apenas a gama dos $0,40 \mu\text{m}$ aos $0,7 \mu\text{m}$ que equivale a sensibilidade espectral da visão humana. O comprimento de onda e a frequência encontram-se relacionados através da seguinte equação:

$$C = \lambda \nu \quad (1)$$

onde: C é a velocidade da luz.

λ é o comprimento de onda (m).

ν é a frequência (ciclos por segundo, HZ).

3.5.4. Comportamento Espectral em Água

A assinatura espectral de qualquer objecto e/ou sua condição compreende um conjunto de valores pela sua reflectância e/ou sua emissão nas diferentes bandas espectrais. Isso leva directa ou indirectamente à identificação de um objecto e /ou sua condição. De acordo com (Ray, 2010) existem quatro principais características da assinatura espectral:

- Variações espectrais - mudanças em função do comprimento de onda;
- Variações espaciais - determinadas pela forma, tamanho e textura do alvo;
- Variações temporais - mudanças diurnas e / ou sazonais na reflectância;
- Variações de polarização - causadas pelo grau de polarização.

A reflectância espectral de um corpo de água depende das propriedades espectrais de seus componentes. Os componentes de um volume de água que afetam seu comportamento espectral podem ser classificados em: pigmentos e complexos protéicos responsáveis pela fotossíntese, substâncias orgânicas dissolvidas, e material particulado em suspensão (Cabral *et al*, 2003). Os principais responsáveis pelo espalhamento da radiação na água são as partículas suspensas como bactérias, células dos fitoplânctons e os detritos orgânicos e inorgânicos, enquanto os principais absorvedores da

radiação são os pigmentos fotossintéticos, os detritos orgânicos e a matéria orgânica (Ferreira e Filho, 2009).

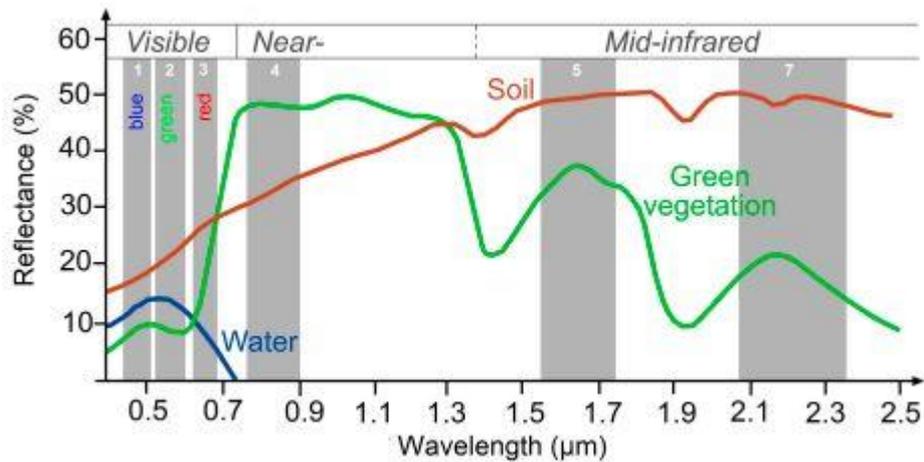


Figura 6: Assinatura espectral de objetos geográficos. **Fonte:** (Chahdi, 2017).

Os corpos de água se distinguem também, dos demais alvos por apresentarem, em geral, baixas porcentagens de refletância, o que implica em baixas radiâncias e, portanto, baixa probabilidade de que as diferenças detectadas pelos sensores estejam acima do ruído do sensor, para a maioria dos sensores de primeira e segunda geração e para a maioria dos sensores de alvos terrestres, como é o caso dos sensores TM/Landsat e HRV/SPOT (Novo e Ponzoni, 2001).

Os trabalhos de comportamento espectral da água baseiam-se na aquisição simultânea de dados espectrorradiométricos e dados in situ de parâmetros de qualidade da água e concentram-se, principalmente, na faixa espectral correspondente à radiação fotossinteticamente ativa, entre 350 e 700nm. De um modo geral, a refletância da água limpa diminui com o aumento dos comprimentos de onda. Verificam-se as maiores refletâncias na região do visível, mais especificamente, nos comprimentos de onda do azul e verde, decrescendo gradualmente na direção do infravermelho, limitando-se os estudos de qualidade da água ao espectro visível (Robert *et al*, 2005).

Os comprimentos de onda infravermelho próximo e infravermelho médio são importantes para discriminar a água. Nesses intervalos a radiação é absorvida. Contrariamente, o solo que possui uma alta refletância e baixa absorção no infravermelho aparece em tons claros na imagem de satélite. Esse contraste entre a água pura, solos e rochas, é muito importante para o Sensoriamento Remoto, pois permite diferenciar a água dos demais alvos geográficos (Ferreira e Filho, 2009).

O comportamento espectral da água é resultado dos processos de absorção e espalhamento da radiação no seu interior, e a radiação detectada pelo sensor fornece informações sobre características físico-químicas e biológicas da região estudada (Cabral *et al*, 2003)

3.6 Sistema de Informação Geográfica

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são ferramentas computacionais que permitem a integração de informação diversa, e a sua manipulação, sendo especialmente adequadas para análise de problemas de natureza espacial, tanto ao nível global como regional ou local. É um conjunto de ferramentas para recolha, armazenamento, organização e seleção, transformação e representação da informação de natureza espacial do mundo real, para um determinado conjunto de circunstâncias (Fortes e Souto,2012).

O termo Sistema de Informação Geográfica é frequentemente aplicado a computação orientada geograficamente e é integrado em sistemas com as mais diversas aplicações e tratando-se de um conceito ou assunto que está em uso generalizado por um grupo heterogéneo de usuários é difícil de definir o termo. Os SIG são vistos como casos especiais de sistema de informação generalizada, onde a informação é derivada da interpretação dos dados que são a representação simbólica de recursos (Machado, 2011).

As características de Sistema de Informações Geográficas podem ser divididas em software, hardware, dados, metodologias e recursos humanos (Lazzarotto,2003).



Figura 7: Componentes de Sistema de Informação Geográfica. **Fonte:** (Ferreira, 2006).

Os SIG combinam mapas (em formato digital) com todos os dados de todas as instituições relevantes. Por exemplo, em vez de usar um plano de uso da terra em uma grande folha de papel e pesquisar separadamente os dados demográficos para descobrir a melhor localização para uma nova escola, uma consulta pode ser enviada para o computador que produz directamente um mapa mostrando a localização perfeita (Wehrmann e Glavina, 2009).

As principais formas de utilização de um SIG estão no campo do gerenciamento de serviços, nos estudos científicos, na integração de áreas de conhecimento, na formação e tomada de decisões, caso da gestão compartilhada de Bacias Hidrográficas e grandes empreendimentos. Os dados a serem utilizados por um SIG podem ter origem em várias fontes, e podem ser classificados em primários e em secundários; os dados primários são aqueles que têm sua origem directa do campo ou sobre produto de Detecção Remota. Os dados secundários envolvem mapas e estatísticas. A coleta dos dados pode ser auxiliada pelo uso de fotografias aéreas e outras imagens de Detecção Remota (Ferreira *et al.* 2014). De um ponto de vista diferente, um SIG pode ser considerado como composto por cinco elementos principais: Dados; Análise; Visualização; Tecnologia; Organização (Olaya, 2018).

3.6.1. Componentes de um SIG

O termo Sistema de Informação Geográfica é frequentemente aplicado a computação orientada geograficamente e é integrado em sistemas com as mais diversas aplicações e tratando-se de um conceito ou assunto que está em uso generalizado por um grupo heterogêneo de usuários é difícil de definir o termo. Os SIG são vistos como casos especiais de sistema de informação generalizada, onde a informação é derivada da interpretação dos dados que são a representação simbólica de recursos (Machado, 2011).

Numa visão abrangente SIG pode ser composto por cinco componentes independentes, porém interligados uns aos outros através de funções específicas. Cada sistema, em função de seus objectivos e necessidades, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes num SIG (Câmara, 1989).

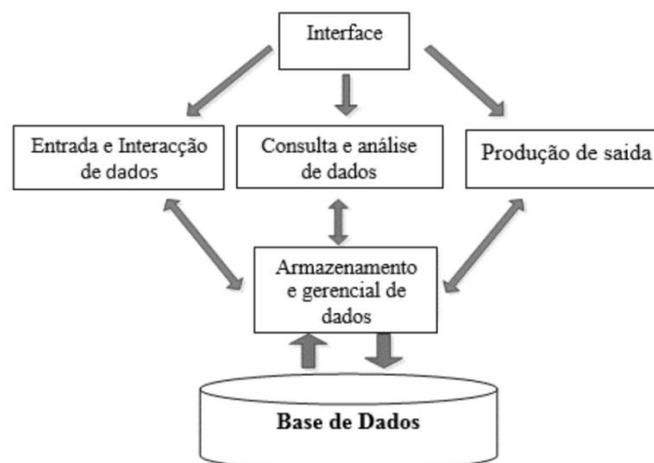


Figura 8: Estrutura de um SIG. **Fonte:** Davis (1999) citado por (Alfredo, 2015)

3.6.2 Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser entendido como o conjunto de ferramentas que integram, colecta e processamento de dados espaciais e não espaciais a cerca da Terra. Envolve ferramentas de Detecção Remota, geodesia por satélite (sistema de posicionamento global - GPS), cartografia digital, topografia automatizada, SIG, manipulação de base de dados (Marques, 2006).

O bom desempenho dos SIG's e a obtenção de dados confiáveis depende do correto estabelecimento dos procedimentos a serem seguidos. Tais procedimentos vão desde a colecta de dados até sua análise final. Os SIG armazenam a geometria e atributos de dados que estão georreferenciados através de um sistema de coordenadas. A etapa do geoprocessamento é recolhida e processada os dados para posterior manipulação da informação (Chimangue, 2018).



Figura 9: Etapas do Geoprocessamento, tecnologias envolvidas e produtos gerados. **Fonte:** (Marques, 2006).

3.7. Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada (MNDWI)

De acordo com Xu (2006), citado por (Fernandes, 2012), o cálculo do MNDWI produz três resultados: a água terá valores positivos, pois possui maior taxa de absorção de radiação electromagnética na faixa do infravermelho médio em relação ao infravermelho próximo; áreas edificadas apresentarão valores negativos; áreas de solo exposto e vegetação também apresentarão valores negativos, pois o solo possui maior reflectância no infravermelho médio do que no infravermelho próximo.

As imagens de detecção remota têm sido amplamente utilizadas na caracterização e mapeamento dos recursos hídricos. Estas aplicações têm envolvido o delineamento dos corpos de água, usando técnicas de extração de informações temáticas. Existem vários métodos para a extração de informações de água a partir de imagens de satélites, dentre eles destaca-se nos últimos anos o MNDWI (Cunha, Silveira, e Ruhoff, 2019).

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR} \quad (2)$$

MNDWI: Valor da Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada;

Green: Valor da reflectância na faixa do verde;

MIR: reflectância na faixa do infravermelho médio.

O índice MNDWI tem uma grande acurácia pois a água apresenta uma reflectância máxima no comprimento de onda da banda verde (Green) e uma absorção máxima (reflectância mínima) na banda infravermelha média (MIR), têm também uma grande acurácia mesmo em ambientes com águas turvas e construções próximas a linha de costa. Como resultado do índice MNDWI, uma nova imagem raster com valores variando entre +1 a -1 será gerada (Ferreira, 2019).

3.8. Extração Automática da Linha de Costa

A extração automática da linha de costa é uma técnica utilizada para identificar e mapear a linha de interface entre a terra e o mar em imagens de satélite ou fotos aéreas. Essa tarefa pode ser complexa devido à variabilidade das condições ambientais, como marés e condições meteorológicas, e ao nível de detalhe necessário (Sousa, *et al*, 2017).

3.8.1. Detecção de Borda

É uma técnica de processamento de imagem e visão computacional para determinar pontos de uma imagem digital em que a intensidade luminosa muda repentinamente, que foi proposta por Canny (1986). Mudanças repentinas em imagens geralmente refletem eventos importantes no cenário, como a descontinuação da profundidade (transição entre o objeto e o fundo), descontinuação da orientação da superfície, mudança das propriedades do material ou variações na iluminação da cena (Seara, 2012).

A detecção de borda é bastante usada na área de extração de características. Sua utilização reduz significativamente a quantidade de dados a serem processados, e descarta informação que é considerada menos relevante, ainda que preservando importantes propriedades estruturais de uma imagem (Ferreira, 2019).

3.9. Utilização do Dsas (Digital Shoreline Analysis System)

O DSAS é uma ferramenta disponibilizada de forma gratuita e funciona dentro do *software* ArcGIS (*Geographic Information System*). DSAS é uma extensão que amplia as funcionalidades do *software* ArcGIS, permitindo a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa das tendências de erosão e deposição através de uma série estatística de tempo e posições múltiplas da linha de costa (Nervino, 2018).

De acordo com Thieler *et al* 2009 citado por (Nervino, 2018), cada método usado para calcular as taxas de variação da linha de costa é baseado nas diferenças medidas entre as posições da linha de costa ao longo do tempo. As taxas relatadas são expressas em metros de mudança ao longo de transectos por ano.

i) Taxa do Ponto Final (EPR)

A taxa do ponto final (EPR) é calculada dividindo a distância NSM pelo tempo decorrido entre a linha costeira mais antiga e mais recente. As principais vantagens do EPR são a facilidade de cálculo e o requisito mínimo de apenas duas datas de linha de costa. A principal desvantagem é que, nos casos em que mais dados estão disponíveis, as informações adicionais são ignoradas. Mudanças no sinal (por exemplo, acreção ou erosão), magnitude ou tendências cíclicas podem ser perdidas. Estas desvantagens não inviabilizam a sua utilização para mensurar mudanças na linha de costa.

ii) Taxa de Regressão Linear (LRR)

O método LRR é considerado o método com melhores estimativas quantitativas para a análise multi-temporal das linhas de costa por considerar todos os dados disponíveis, apresentando assim a sua linha de tendência.

A taxa de variação da linha de costa, obtida pelo método estatístico da LRR está condicionada a uma linha gerada pelo método dos mínimos quadrados em todos os pontos da linha de costa onde constam transectos. A linha de regressão é alocada de modo que a soma dos valores discrepantes ao quadrado seja minimizada.

As vantagens desse método são: considera todas as linhas de costa identificadas, o método é puramente computacional, baseia-se em conceitos estatísticos aceites, permite visualizar ciclos e tendências erosivas e/ou de posicionais e pode servir como parâmetro para projecção de cenários. As desvantagens são: não considera o valor de incerteza atribuído a cada linha de costa, sendo estas, são susceptíveis a desvios extremos e tende a subestimar a taxa de variação em relação a outras estatísticas como o EPR.

iii) Distância Máxima de Mudança do Litoral (SCE)

A taxa de distância máxima da mudança da linha da costa (SCE) calcula-se a distância entre a posição da linha de costa mais longe e mais perto da linha de base em cada transecto, representando a variação total da mudança de posição da linha de costa, não se relacionando às datas das imagens.

3.10. Aplicação de Filtro de *Threshold* (Binarização)

Segundo Sousa *et al.* (2017) e Weber e Antoniazzi (n.d.), threshold é uma técnica que transforma uma imagem em duas classes predominantes, fundo e objecto. A divisão entre essas classes ocorre durante o processamento, onde a partir de uma imagem binária ele agrupa os pontos do primeiro plano (objecto) com valor “1” e os demais recebem o valor “0” definidos então como fundo, isto é, é uma técnica utilizada em processamento de imagem para segmentar uma imagem com base em níveis de intensidade. O objetivo é transformar uma imagem em escala de cinza em uma imagem binária (preto e branco), onde os pixels acima de um determinado valor de limiar são definidos como brancos (ou 1) e os abaixo como pretos (ou 0).

Segundo Carneiro (2008), a conversão de uma imagem com níveis de cinza para uma imagem com representação binária (dois tons) é importante para uma série de objectivos, tais como: identificar objectos e separá-los do fundo da imagem; quando analisar a forma da imagem é mais importante que a intensidade dos píxeis e apresentar a imagem em um dispositivo de saída que tem somente um bit de resolução de intensidade, ou seja, um dispositivo de dois níveis, como uma impressora.

A binarização é descrita através da aplicação da função: $S = T(r)$.

$$S = \begin{cases} 1, & er > T \\ 0, & er < T \end{cases} \quad (3)$$

Onde: T- Threshold;

S- Valor binário resultante.

3.11. Satélite Landsat

O Satélites Landsat teve sua primeira versão lançada em 1972, no entanto, grande parte dos trabalhos desenvolvidos a partir das imagens deste satélite são da versão Landsat 5 sensor *Thematic Mapper* (TM), por apresentar abrangência temporal maior, e do Landsat 8 sensor *Operational Land Imager* (OLI), a versão mais recente deste satélite. Ambos os satélites apresentam resolução espacial de 30 m e temporal de 16 dias, com órbita polar síncrona (Wulder, *et al.*, 2016).

Os satélites da série Landsat fazem parte de um programa de estudos dos recursos terrestres e no dia 23 de Julho de 1972, a NASA lançou nos Estados Unidos um primeiro satélite chamado ERTS no quadro do Programa Espacial *Earth Resources Technology Satellite*. Este Programa Espacial e os satélites que o compõe foi em seguida rebatizado "Landsat" para melhor sugerir o enfoque do seu esforço sobre a Detecção Remota de recursos naturais terrestres. Foram lançados 8 satélites do Programa Landsat, desde 1972 (Ferrão, 2005).

Segundo Siteo (2013), os satélites da série Landsat fazem parte de um programa de estudos dos recursos terrestres, sendo que as imagens captadas ao longo destes anos promovem estudos abordando vários aspectos e colaborando para a avaliação da dinâmica de mudanças causadas por processos naturais e humanos.

Quanto à resolução temporal, o intervalo de tempo do estudo dependerá das datas em que houver disponibilidades de imagens assim, e atendendo a estas características, as imagens mais usadas para este tipo de análise são as do satélite Landsat, que apresentam uma resolução espacial e temporal de 30 m e 16 dias respectivamente (Oliveira, 2009).

Missão Land Remote Sensing Satellite (Landsat)									
Instituições Responsáveis	NASA (National Aeronautics and Space Administration) e USGS (U.S. Geological Survey)								
País/ Região	Estados Unidos								
Satélite	Landsat 1	Landsat 2	Landsat 3	Landsat 4	Landsat 5	Landsat 6	Landsat 7	Landsat 8	Landsat 9
Lançamento	23/07/1972	22/01/1975	05/03/1978	16/07/1984	01/03/1984	05/10/1993	15/04/1999	11/02/2013	27/09/2021
Local de Lançamento	<i>Vandenberg Air Force Base</i>	<i>Vandenberg Air Force Base</i>	<i>Vandenberg Air Force Base</i>	<i>Vandenberg Air Force Base</i>	<i>Vandenberg Air Force Base</i>	<i>Vandenberg Air Force Base</i>	<i>Vandenberg Air Force Base</i>	<i>NASA Kennedy Space Center (KSC)</i>	<i>Vandenberg Air Force Base</i>
Veículo Lançador	Delta 900	Delta 2910	Delta 2910	Delta 3920	Delta 3920	Titan II	Delta-II	Atlas-V 401	Atlas- V 401
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	Inativo (22/11/2011)	Inativo (05/10/1993)	Inativo (Interrompeu no Brasil em 31/05/2003)	Ativo	Ativo
Órbita	Polar, helios-síncronas	Polar, helios-síncronas	Polar, helios-síncronas	Polar, helios-síncronas	Polar, helios-síncronas	Polar, helios-síncronas	Polar, helios-síncronas	Circular	Polar, helios-síncronas
Altitude	917 Km	917 Km	917 Km	705 Km	705 Km	705 Km	705 Km	705 Km	705 Km
Inclinação	99.2°	99.2°	99.2°	98.20°	98.20°	98.20°	98.20°	98.20°	98,20°
Tempo de Duração da Órbita	103.3 min	103.3 min	103.3 min	99 min	99 min	98.9 min	98.9 min	99 min	99 min
Horário de Passagem	9:30 AM	9:30 AM	9:30 AM	9:45 AM	9:45 AM	10:00 AM	1:00 AM	1:40 PM	1:40 PM
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias	16 dias
Tempo de vida Projetado	1 ano	1 ano	1 ano	3 anos	3 anos	5.d	5 anos	5 anos	5 anos
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+	OLI e TIRS	OLI-2 e TIRS-2

Tabela 3: Características dos satélites Landsat. **Fonte:** (USGS, 2021).

Landsat 1	Lançado em 23/07/72 - Desactivado em 06/01/78
Landsat 2	Lançado em 22/01/75 - Desactivado em 52/02/82
Landsat 3	Lançado em 05/03/78 - Desactivado em 31/03/83
Landsat 4	Lançado em 16/07/82 – Semi-desactivado
Landsat 5	Lançado em 01/03/84 - Activo até o momento
Landsat 6	Lançado em 05/10/93 - Perdido após o lançamento
Landsat 7	Lançado em 15/04/99 - Activo até o momento, mas com anomalias
Landsat 8	Lançado em 11/02/2013 - Activo até o momento
Landsat 9	Lançado em 27/09/2021- Activo até o momento

Tabela 4: Satélites da Série Landsat. **Fonte:** (USGS, 2021).

De acordo com Ferrão (2005) a primeira geração do programa Landsat, composta de 3 satélites, Landsat 1-2-3, tinha 2 instrumentos: a Câmara RBV e o MSS, em razão de problemas técnicos no RBV e da superioridade técnica do MSS com 4 bandas, do ponto de vista espectral e radiométrico, o sensor RBV foi muito pouco utilizado. Segundo o mesmo autor segunda geração foi iniciada em 1982 com o lançamento do satélite Landsat 4, que levou a bordo o instrumento TM do MSS, o Landsat 5, de acordo com as previsões técnicas baseadas na performance actual do satélite, deverá operar por mais alguns anos, o Landsat 6 foi infelizmente perdido logo após o seu lançamento e o Landsat 7 marca o início da terceira geração do programa Landsat, com o sensor ETM+ com 8 bandas.

Segundo (USGS, 2021), Landsat 8 leva dois sensores: o OLI e Sensor TIRS, ambos de qual provê sinal melhorado a relação ao ruído e 16 bits resolução radiométrico, produtos OLI consistem de nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9), a banda 8 do instrumento OLI é a pancromática, possui resolução espacial de 15 metros. Segundo a mesma fonte as faixas térmicas do instrumento TIRS são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas e os dados são coletados no pixel de 100 metros, a banda 1 (ultra-azul) é útil para estudos costeiros, a banda 9 é útil para a detecção de nuvens.

3.7.1. Imagem Landsat 5 TM

O Landsat 5, uma duplicata do Landsat 4, foi lançado em 1984 e retornou dados cientificamente viáveis por 28 anos - 23 anos além de sua vida útil de 5 anos (USGS, 2016). O sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite Landsat 5 possui sete bandas, com numeração de 1 a 7, sendo que cada banda representa uma faixa do espectro electromagnético captada pelo satélite.

O sensor TM foi lançado a bordo dos satélites Landsat 4 e Landsat 5. Possui separação espectral adequada para oferecer subsídios aos mapeamentos temáticos na área de recursos naturais. Operou nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal. Os dados do sensor TM foram utilizados em pesquisas e definições de metodologias em amplas áreas do conhecimento científico e tiveram importância singular para a evolução das técnicas desenvolvidas e utilizadas na detecção remota mundial (Embrapa, 2013).

Em uma imagem Landsat/TM cada pixel pode abranger diversos tipos de cobertura, e a radiância resultante contém a integração de todos os alvos contidos nessa área abrangida. A técnica denominada Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) permite a geração de imagens fração, estimando a proporção de componentes previamente definidos dentro de cada pixel. O modelo utiliza a informação do comportamento espectral dos chamados “pixels puros” (*end members*) de cada um desses elementos, para estimar suas proporções dentro de cada um dos pixels da imagem (Timberlake e Chidumayo, 2011).

TM (Thematic Mapper)		
Número Da Banda	Comprimento De onda (µm)	Resolução Espacial(m)
1	0,45-0,52	30
2	0,52-0,60	30
3	0,63-0,69	30
4	0,76-0,90	30
5	1,55-1,75	30
6	10,42-12,50	120
7	2,08-2,35	30

Tabela 5: Características do sensor TM do satélite Landsat-5. **Fonte:** NASA 2013.

3.7.2. Imagem Landsat 8 OLI

O Landsat 8 foi lançado pela NASA no dia 11 de fevereiro de 2013 e é o mais novo satélite de observação da terra. A expectativa é que tenha uma vida útil de 40 anos de observação da superfície terrestre vista do espaço. A plataforma espacial do Landsat 8 fornece energia suficiente para o controle da órbita, altitude, comunicação e armazenamento de dados. O satélite é composto basicamente por um subsistema mecânico (estrutura primária e 5 mecanismos de implantação), um subsistema de gestão e controle de dados, um subsistema de controle de altitude, um subsistema de energia eléctrica, um subsistema de frequência de rádio (RF), um sistema de propulsão e um subsistema de controle térmico (USGS, 2013).

A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores: *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIS). Produtos OLI contêm nove bandas multiespectrais com resolução espacial

de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9). As faixas térmicas do instrumento TIRS são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas e os dados são coletados no pixel de 100 metros. A banda 8 do instrumento OLI é a pancromática e possui uma resolução espacial de 15 metros como mostra a tabela 2. A banda 1 (ultra-azul) é útil para estudos costeiros. A banda 9 é útil para a detecção de nuvens (USGS, 2021). O tamanho aproximado da cena Landsat-8 é de 170 km ao norte-sul por 183 km a Leste-Oeste.

OLI (Operational Land Imager)		
Número Da Banda	Comprimento De onda (μm)	Resolução Espacial(m)
1	0,433-0,453	30
2	0,450-0,515	30
3	0,525-0,600	30
4	0,630-0,680	30
5	0,845-0,885	30
6	1,560-1,660	60
7	2,100-2.300	30
8	0,500-0,680	15
9	1,360-1,390	30

Tabela 6. Características dos sensores OLI do satélite Landsat-8. **Fonte:** NASA (2013).

3.12. Aplicação do Satélite Landsat na Monitoria da Linha da Costa

A série de satélites do programa Landsat provê a aquisição mais contínua de observações da Terra Baseada em satélites. E como tal, se torna um recurso inestimável na monitoria de mudanças globais e uma fonte primária utilizada no suporte de decisões (Carvalho, 2016).

Os satélites Landsat desempenham um papel fundamental na monitoria da linha da costa devido à sua capacidade de fornecer imagens de alta resolução e multiespectrais que podem ser analisadas para identificar erosão, deposição de sedimentos e mudanças no uso da superfície terrestre. As imagens Landsat permitem a detecção de mudanças na linha da costa causadas por processos de erosão e sedimentação. Isso é crucial para a gestão costeira e para a identificação de áreas vulneráveis (Santos, 2013).

Os dados fornecidos pelos satélites Landsat são valiosos para a compreensão e gestão das áreas costeiras. Sua capacidade de monitorar mudanças espaciais e temporais com precisão fornece informações cruciais para a tomada de decisões informadas sobre a preservação ambiental, desenvolvimento sustentável e mitigação de desastres (Nunes, 2017).

3.13. Factores que Influenciam na Alteração da Linha de Costa

Segundo (Samuel, 2017), os factores que são realçados influenciadores causadores da alteração da linha da costa, podem ser naturais ou resultantes da atividade humana. Abaixo são apresentados alguns dos principais:

1. **Alterações Climáticas:** O aumento do nível do mar devido ao aquecimento global é um dos principais fatores que contribuem para a erosão costeira. A subida do nível do mar pode inundar áreas costeiras e aumentar a intrusão de água salgada em aquíferos subterrâneos.
2. **Erosão Costeira:** A ação das ondas e das correntes marítimas pode desgastar a costa, levando à perda de sedimentos e ao recuo da linha costa.
3. **Sedimentação:** A quantidade de sedimentos que chegam à costa pode influenciar a sua estabilidade. A diminuição dos sedimentos, muitas vezes causada por barragens e outras obras de engenharia, pode acelerar a erosão.
4. **Atividades Humanas:** A urbanização, a construção de infraestruturas costeiras, alterações nos cursos de rios e a exploração de recursos naturais podem degradar as estruturas naturais da costa, contribuindo para a sua erosão.
5. **Varição das Marés:** As marés podem causar mudanças temporárias na linha da costa, especialmente em áreas onde a amplitude das marés é significativa.

Esses fatores interagem de maneiras complexas, tornando a gestão costeira um desafio contínuo.

Material e Métodos

Neste capítulo são descritos os materiais e a metodologia aplicada neste estudo.

4.1 Material

Com vista a alcançar os objectivos deste trabalho, foram obtidos dados vectoriais e *raster*. Para a monitoria da alteração da linha da costa na cidade da Beira no Bairro de Chaimite, foram adquiridas três imagens de satélite Landsat correspondentes aos anos de 2002, 2012 e 2022 respectivamente.

As imagens do satélite Landsat são disponibilizadas gratuitamente na página de *United States Geological Survey* (USGS). Foi também necessária a obtenção de dados da divisão administrativa do País, para que sirva como base para a extração da área de estudo, dados esses que foram fornecidos pelo Centro Nacional de Cartografia e Teledeteccção (CENACARTA).

Dados	Formato	Modelo	Fonte	Aquisição	Função/Utilização
Imagem Landsat 5 TM- 2002 Imagem Landsat 5 TM- 2012 Imagem Landsat 8 OLI- 2022	<i>Geotiff</i>	Matricial	USGS	Gratuita	Extração de índice de modificação da água e posterior classificação
Divisão Administrativa	<i>Shapefile</i>	Vectorial	CENACARTA	Gratuita	Extração da área de Estudo

Tabela 7: Características dos dados adquiridos.

4.2 Metodologia Para Monitoria da Linha da Costa Baseado em Imagens de Satélite

A monitoria da linha da costa baseado em satélite fornece muitas vantagens que permite através da análise de imagens históricas de satélite, observar mais de perto as suas mudanças e localizar problemas oriundos da alteração da linha de costa (EOS, 2020). A metodologia de base apresentada foi proposta e executada por Xu (2006), que consiste numa razão de expressão modificada do NDWI (índice de diferença normalizada da água) desenvolvida por Mc Feeters (1996) para delineamento de feições relacionadas à água. A diferença entre os dois métodos reside no facto de que enquanto o MNDWI utiliza o canal do infravermelho próximo, o MNDWI considera o canal do infravermelho médio e a banda verde no processo de razão de bandas espectrais.

O NDWI é adequado para identificar água em ambientes naturais, enquanto o MNDWI é mais eficaz em áreas urbanas e em situações onde há presença de superfícies artificiais.

A metodologia empregue pode ser dividida em 4 etapas:

- 1^a Pré-processamento;
- 2^a Cálculo de índice de água (MNDWI);
- 3^a Aplicação de filtro de *threshold* (Binarização) e
- 4^a Extração automática da linha de costa.

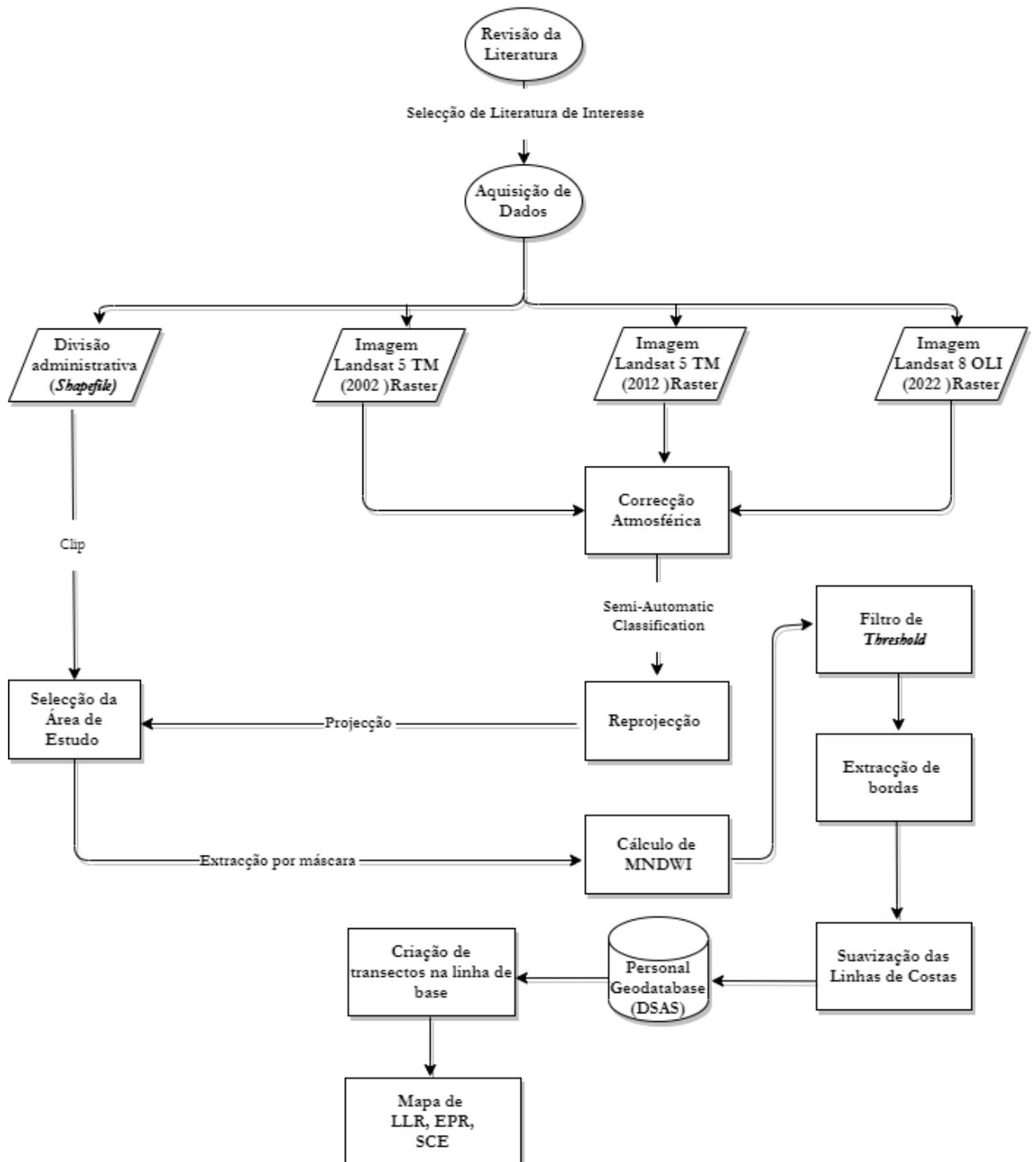


Figura 10: Fluxograma Metodológico para realização do trabalho.

4.3 Pré- Processamento

Segundo Oliveira (2009), as técnicas de processamento digital de imagem consistem na manipulação das imagens por um computador, de modo que a entrada e saída do processo sejam imagens, sendo que o objectivo principal é o realce do aspecto visual da informação.

Segundo Crosta (1992), citado por Araújo *et. al* (2009) as imagens geradas por sensores remotos estão sujeitas a uma série de distorções espaciais (rotação da terra, curvatura da terra, variações de altitude, posição e velocidade da plataforma, dentre outras), não possuindo, portanto, precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objectos, superfícies ou fenómenos representados, sendo necessário aplicar correcções (georreferenciamento) que vão reorganizar as informações em relação a um sistema de projecção cartográfica.

As imagens pertencem a série Landsat, procede-se a reprojecção para que se trabalhe com variáveis que estejam na mesma projecção, fez-se uma reprojecção de todas as variáveis utilizadas no trabalho para o Datum: WGS – 1994 – UTM – Zone 36S.

4.4 Linha de Base

As linhas de base são feições em forma de linha, criadas paralelamente ao padrão da costa para a área de interesse, a linha de base localiza-se em qualquer lugar – *offshore* (no mar), *onsshore* (na costa), no meio dos dados da linha de costa (costa central) ou uma combinação de canais da linha de base (Gonçalves, *et. al*, 2015).

A linha de base foi obtida a partir da digitalização de uma recta paralela à costa, no caso em estudo usou-se uma linha *offshore*. Estudo da linha da costa a partir de *offshore* fornece uma visão mais complexa dos processos que delinham e alteram a zona costeira, permitindo prever eventos climáticos extremos, mitigação contra erosão, inundações e outros problemas costeiros.

4.5 Cálculo de Modificação do Índice de Água de Diferença Normalizada (MNDWI)

Para o cálculo do MNDWI foram necessárias duas bandas, o infravermelho médio e verde, que no caso do Landsat 5 são as bandas 5 e 2 e para o Landsat 8 são as bandas 6 e 3 respectivamente. Nela os pixels assumem valores que variam de -1 a +1.

O cálculo do MNDWI foi aplicado a fórmula na equação 2 desenvolvida por Xu em 2006.

4.6 Aplicação do Filtro de Threshold (Binarização)

Após o cálculo, empregou-se o uso de técnicas do filtro de threshold, cujo objetivo principal é a geração de uma imagem binária, segregando assim, os pixels de sedimentos de água de forma homogênea e concisa. O valor do limiar de separação (Threshold) foi zero (0), para excussão deste processo foi necessário usar a programação em *python*, porque permite a automação de tarefas repetitivas, possibilitando cálculo rápido e em simultâneo. O processo consiste na conversão de

imagens de satélite em tons de cinza em imagem binária, onde a imagem assume dois valores preto e branco.

4.7 Extração da Linha da Costa

Após serem executadas as técnicas de pré-processamento, foi necessário utilizar o algoritmo de detecção de bordas proposto por Canny (1986). Através deste algoritmo implementado no *Python*, vai ser possível fazer a binarização para poder extrair apenas a linha de costa. O último passo da metodologia foi converter a borda extraída na etapa anterior no cálculo de MNDWI, em um arquivo vetorial no formato *shapefile*, adequado para seu uso em Sistemas de Informação Geográfica no *software* ArcGIS para a digitalização das bordas obtidas no processo da conversão.

Resultados e Discussão

Neste capítulo apresentam-se os resultados e a discussão dos mesmos após a aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior.

5.1 Extracção das Linhas de Costa

As imagens utilizadas (Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI) depois de reprojectadas, foram submetidas ao cálculo de MNDWI e sua posterior reclassificação em duas classes:(Terra seca e Água). Os resultados apresentados nas figuras 11, 12 e 13 correspondentes aos anos de 2002, 2012 e 2022 respectivamente, resultam da aplicação directa da equação 2. Importa referir que nas figuras a cor branca representa os corpos de água e o preto as zonas urbanas.



Figura 11: MNDWI da imagem de Landsat 5 ETM_2002



Figura 12: MNDWI da imagem de Landsat 5 ETM_2012

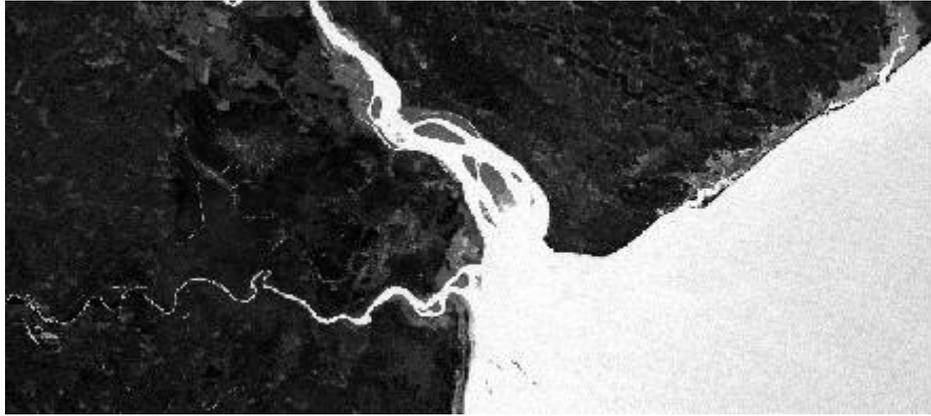


Figura 13: MNDWI da imagem de Landsat 8 OLI_2022

Com base nas figuras 11, 12 e 13 é possível notar que, o MNDWI permitiu uma visualização contínua dos valores para a interpretação da detecção de corpos de água em áreas urbanas de forma a reduzir interferências de edificações, enquanto que *threshold* facilitou a classificação binária (água e terra) permitindo ainda análise quantitativa como cálculo da área total de corpos de água bem como a divisão da imagem em duas classes correspondentes aos corpos de água e áreas urbanas, obtendo-se os resultados apresentados nas figuras 14, 15 e 16 respectivamente.



Figura 14: *Threshold* do MNDWI da imagem de 2002



Figura 15: *Threshold* do MNDWI da imagem de 2012



Figura 16: *Thershold* do MNDWI da imagem de 2022

Após a aplicação de *Thershold*, foram extraídas as linhas de costas dos anos de 2002, 2012 e 2022, criando-se assim uma linha de referência, também foram calculadas os transectos, como esta representada na Figura 17.

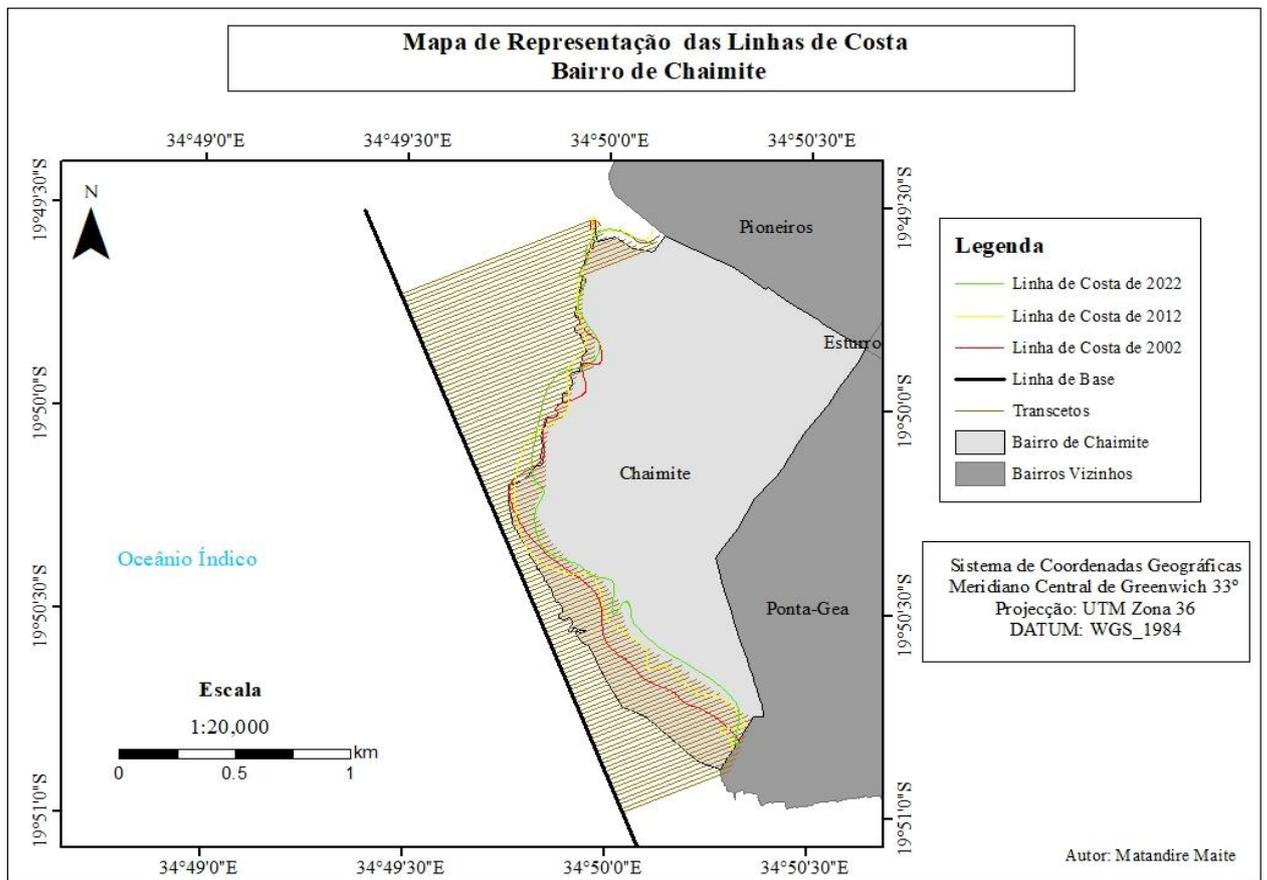


Figura 17: Representação das Linhas de Costas

5.2 Determinação das Taxas de Alteração das Linhas de Costa

Para cada sector pesquisado, foram gerados e enumerados transectos paralelos entre si, traçados perpendicularmente a partir de uma linha de base *offshore*.

Com vista a ter melhores resultados para o presente estudo foram aplicados três métodos a saber: Taxa de Regressão Linear ou *Linear Regression Rate* (LRR), Taxa do Ponto Final ou *End Point Rate* (EPR) e Distância Máxima de Mudança do Litoral ou *Shoreline Change Envelope* (SCE). Cada um dos métodos possui princípio diferenciados para o cálculo da taxa de alteração da linha de costa.

5.3.1. Taxa do Ponto Final (EPR)

Para (Epifânio *et al*, 2013), a taxa do ponto final, refere-se à taxa de mudança na posição da linha de costa ao longo do tempo. É determinada traçando uma linha entre dois pontos temporais: o ponto inicial (primeira posição da linha de costa) e o ponto final (posição mais recente da linha de costa). A Taxa do Ponto Final calcula a diferença entre essas duas posições e divide pela quantidade de tempo que decorreu entre os dois pontos, resultando na taxa de mudança linear ao longo do tempo, é expressa em metros por ano (Araujo *et al*, 2013).

Esta taxa é útil para identificar tendências de erosão ou acreção costeira em intervalos específicos de tempo, sendo amplamente utilizada em estudos de gestão costeira e monitoria de zonas litorais (Santos, 2019). O resultado da aplicação do método é representado na Figura 19.

Com base no gráfico da Figura 18, que apresenta o resultado da aplicação do método estatístico EPR, pode-se observar os intervalos, onde nota-se um significativo recuo ao longo da extensão da praia de 8,23 m/ano e avanço da linha da costa de 0,80 m/ano.

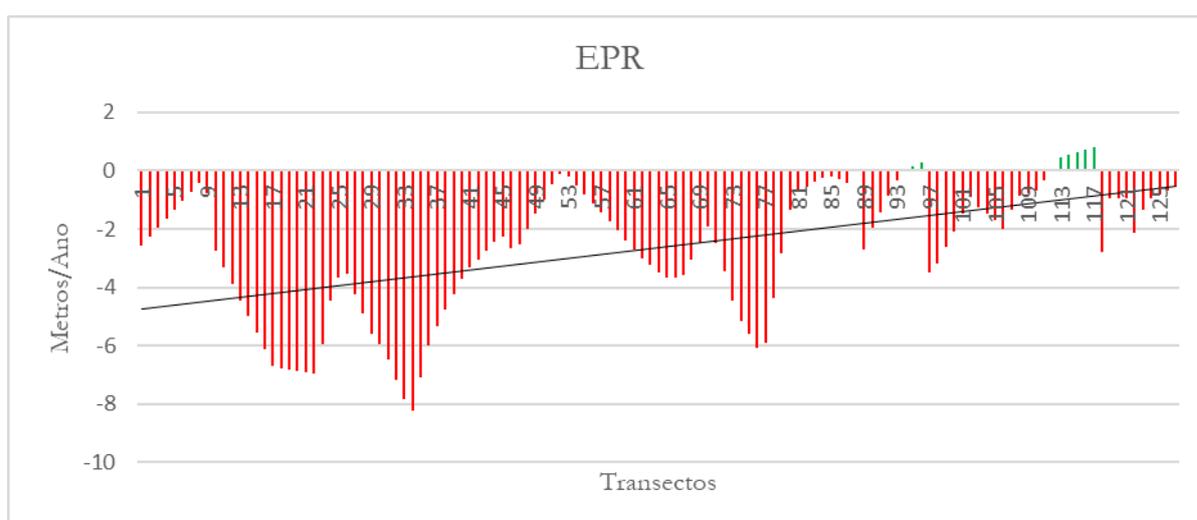


Figura 18: Taxa de variações da linha da costa determinada pelo método estatístico EPR.

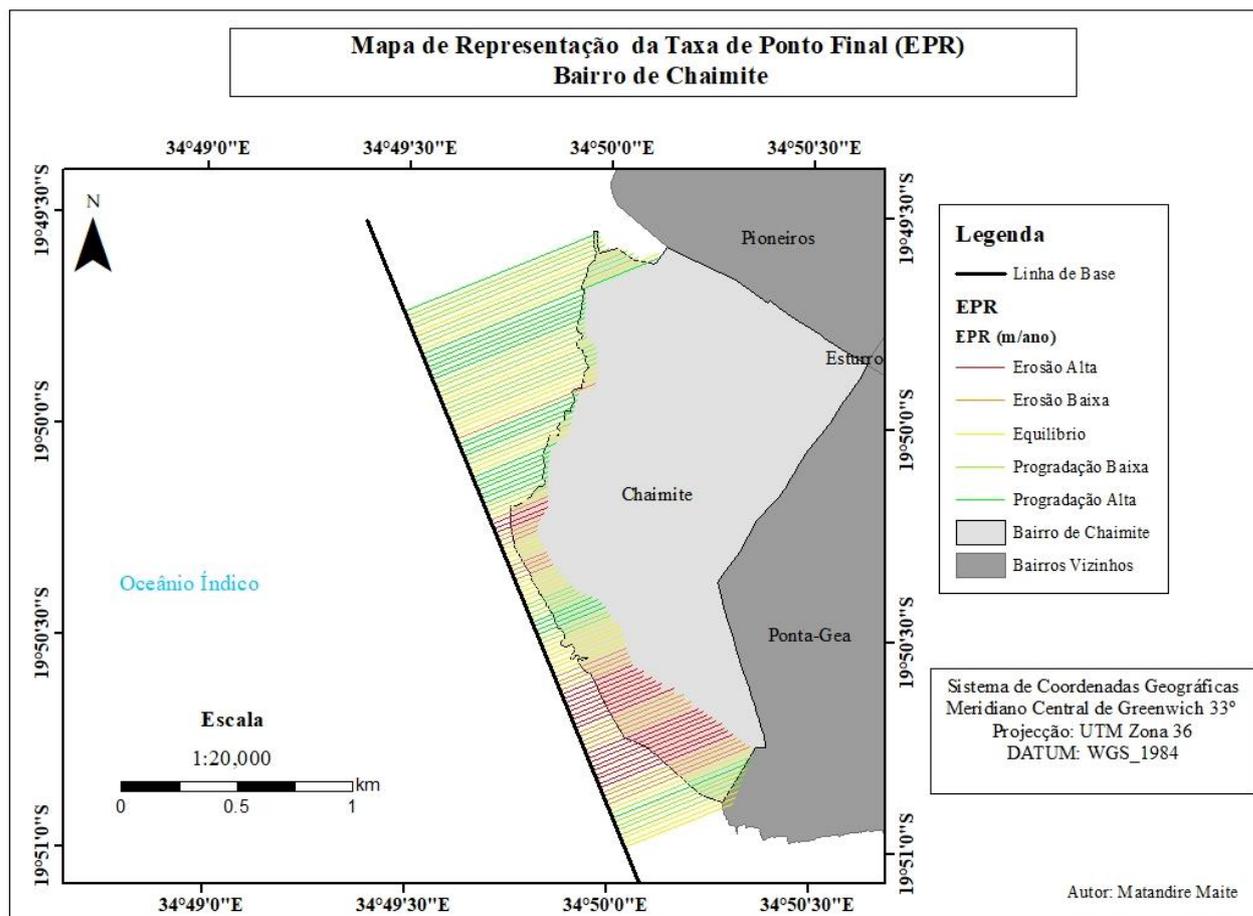


Figura 19: Mapa de Representação da Taxa de Ponto Final.

5.3.2. Taxa de Regressão Linear (LRR)

Para (Epifânio *et al*, 2013), a taxa de regressão linear, refere-se à taxa de mudança média da linha de costa ao longo do tempo, calculada por meio de uma linha de regressão linear. É determinado ajustando uma linha de regressão aos pontos de dados de posição da linha de costa em várias datas ao longo do tempo. Essa linha é ajustada usando o método dos mínimos quadrados, que minimiza a soma dos quadrados das distâncias verticais dos pontos de dados à linha de regressão. Segundo (Araujo *et al*, 2013), as vantagens da taxa de regressão linear, leva em conta múltiplas observações da linha de costa ao longo do tempo, ao contrário da taxa do ponto final, que só considera dois pontos temporais. É menos influenciada por mudanças bruscas e eventos extremos que possam ocorrer em uma única data, uma vez que distribui as variações de forma mais uniforme ao longo do tempo.

A taxa é amplamente utilizada em análises de gestão costeira e estudos de longo prazo sobre processos erosivos ou de deposição ao longo de áreas costeiras. O resultado da aplicação do método é representado na Figura 21.

Com base no gráfico apresentado na Figura 20, que apresenta o resultado da aplicação do método estatístico LLR, observa-se que no intervalo temporal em estudo houve um recuo ao longo da extensão da praia de -8,05 m/ano e avanço da linha da costa de 1,53 m/ano.

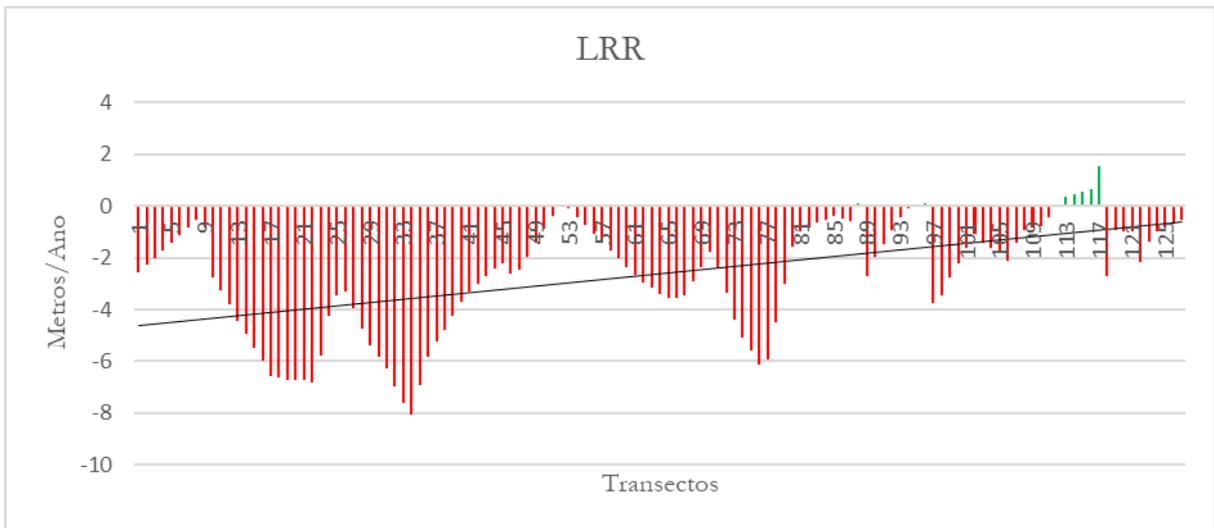


Figura 20: Taxa de variações da linha da costa determinada pelo método estatístico EPR.

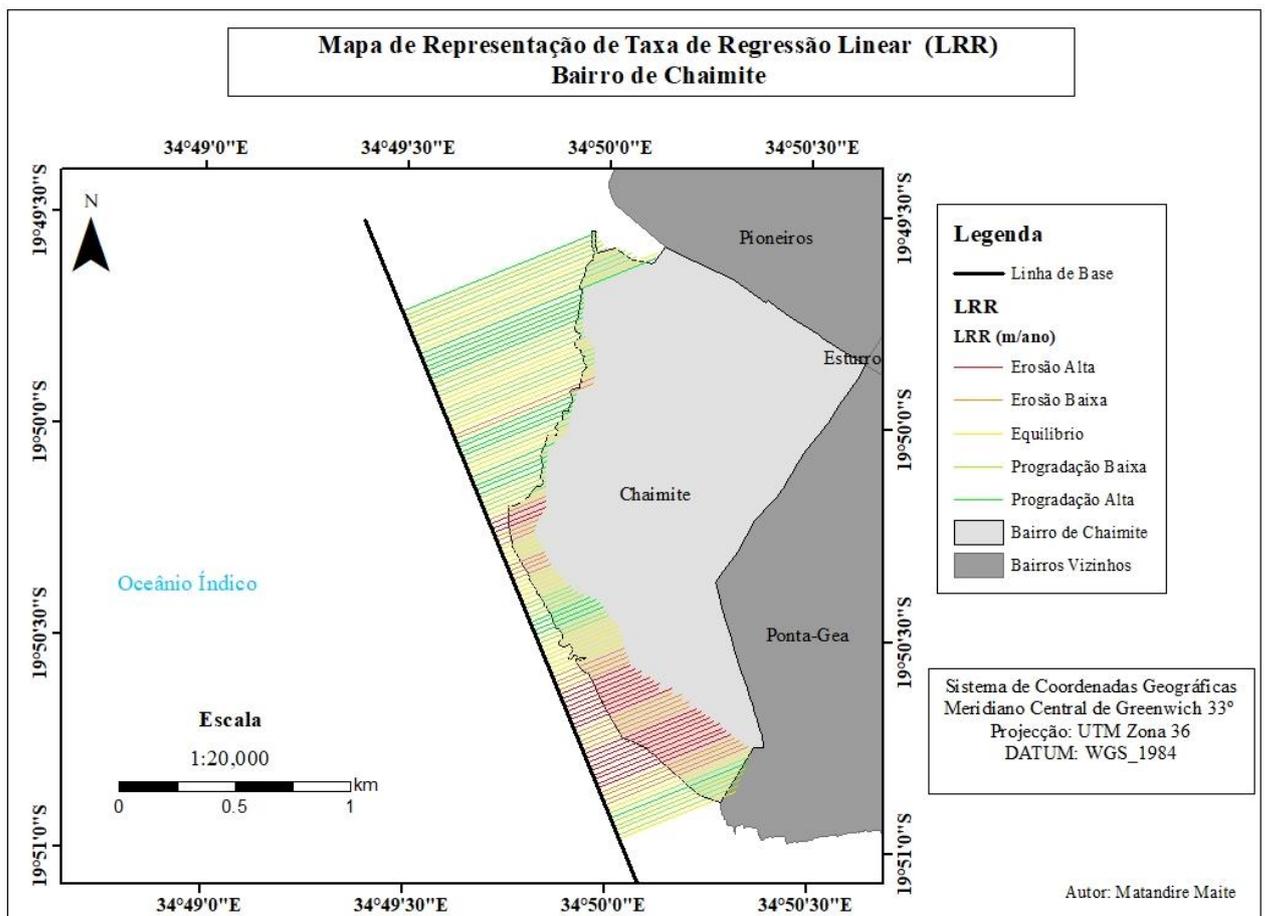


Figura 21: Mapa de Representação da Taxa de Regressão Linear.

A análise de 20 anos de variação da linha de costa, entre 2002 e 2022, do trecho de cerca de 3.851 km da Praia Nova na Cidade da Beira, apresentou taxas de variação da linha da costa estabelecidas pelos parâmetros EPR e LRR que apontam predominantemente um cenário de erosão/recuo da Linha de Costa. Este recuo da linha é resultado das mudanças decorridas ao longo do intervalo temporal, dominado por períodos de recuo e avanço de sedimentos.

Durante o período analisado a linha de costa variou a uma taxa de -8,23 e 1 m/ano refletindo recuo da linha da costa. Os resultados deste trabalho demonstram as tendências erosivas e a ocorrência de variações que resultam em processos de recuo e avanço da linha de costa em estudo.

A praia encontra-se no estágio de recuo, com uma taxa de variação média cerca de -3,32 e -1,79 m/ano. Os valores estabelecidos pelos parâmetros EPR e LRR, estão abaixo de zero, mostrando uma clara tendência a erosão e que é importante que se dê atenção (como a revegetação, resiliência costeira) a praia com ocorrência de taxas de recuo da linha de costa. Os resultados fornecidos pela taxa LRR identificam as áreas mais vulneráveis a movimentação de ondas que causam erosão como mostra na Figura 20.

As taxas LRR e EPR são aproximadas, podendo confirmar que a velocidade de alteração da linha de costa em metros por ano na área de estudo varia entre -8,05 à 1 e -8,23 à 0,80 respectivamente. Segundo (Chacanza, 2022), a diferença dos valores das taxas de LRR e EPR não pode ser superior a 1 m/ano, caso seja superior os resultados não podem ser validados.

5.3.3. Distância Máxima de Mudança (SCE)

Segundo (Epifânio *et al*, 2013), a distância máxima de mudança, refere-se à distância máxima entre as posições mais avançada e mais recuada da linha de costa ao longo do tempo. O SCE mede a diferença entre a posição da linha de costa mais avançada (para o mar) e a mais recuada (para o continente) entre todas as datas registradas. É expressa em metros e representa a variação total de posição da linha de costa ao longo do período de análise. O SCE não leva em consideração o tempo entre as diferentes posições da linha de costa; ele apenas mede a amplitude total da variação espacial.

Para (Araujo *et al*, 2013), a vantagem da distância máxima de mudança, fornece uma visão da amplitude total das mudanças, independentemente de tendências específicas de erosão ou acreção.

Essa taxa é útil para identificar áreas onde a linha de costa experimenta grandes variações espaciais ao longo do tempo, o que pode indicar processos dinâmicos, como tempestades, inundações ou ações humanas. O resultado da aplicação do método é representado na Figura 22.

Com base no gráfico apresentado na Figura 23, apresenta o resultado do intervalo de 2002 à 2022, para o método estatístico SCE, onde obteve-se uma variação da linha da costa em aproximadamente 353m, a variação esta relacionada ao recuo da linha no período indicado.

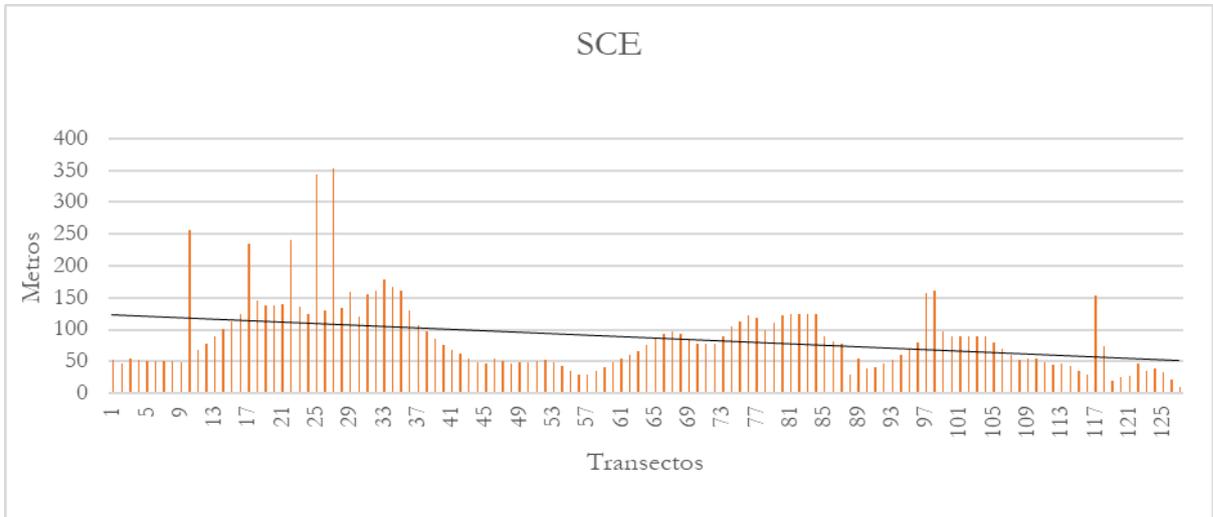


Figura 22: Taxa de variações da linha da costa determinada pelo método estatístico SCE.

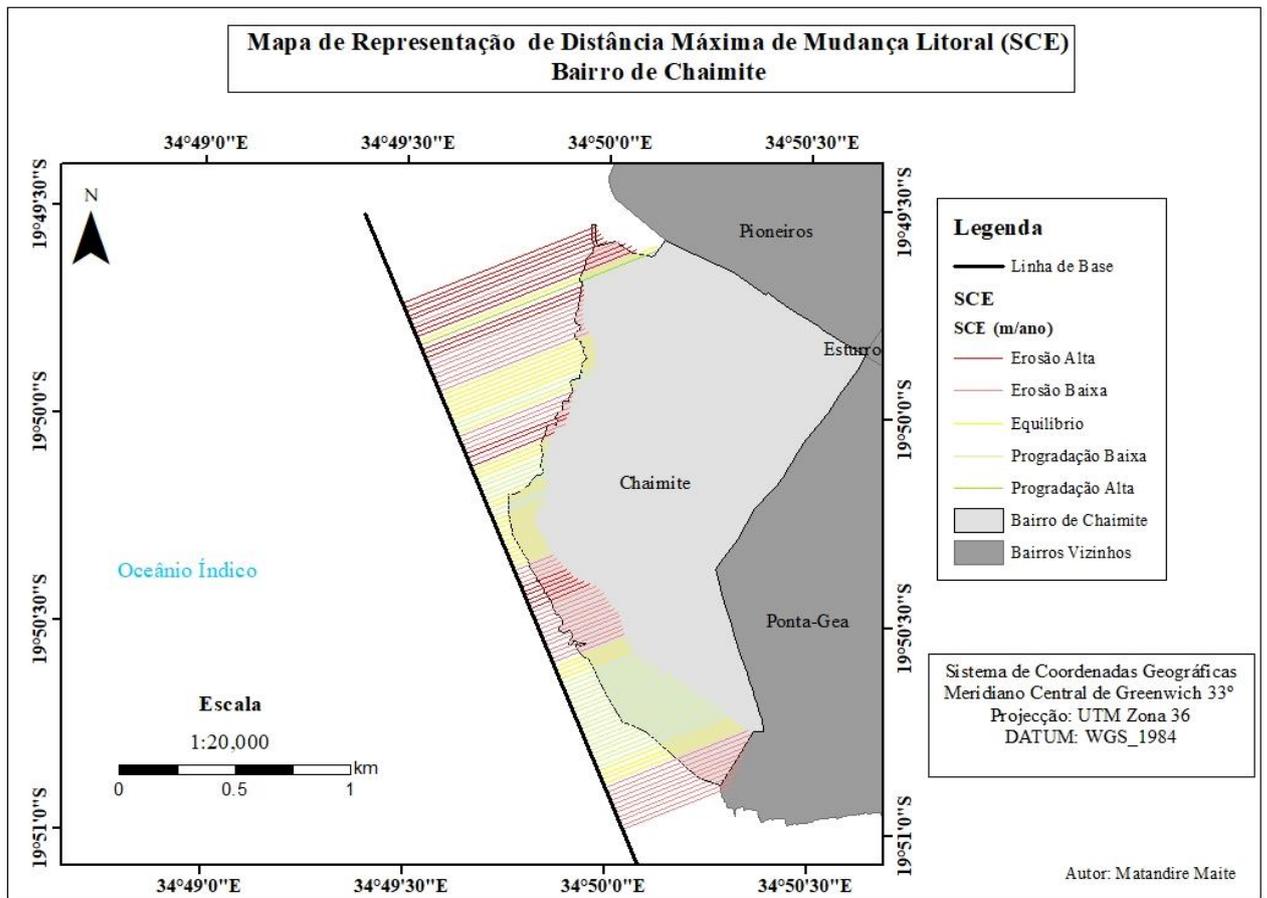


Figura 23: Mapa de Representação da Taxa de Distância Máxima de Mudanças Litoral.

A intenção de usar os três métodos estatísticos citados, é mostrar que os valores encontrados para as taxas de alteração são aproximados do que seria o real, uma vez que cada método apresentar um valor diferente após o cálculo. Os valores encontrados para os três métodos são relatados nos resultados, para mostrar essa aproximação, como demonstra a Figura 24.

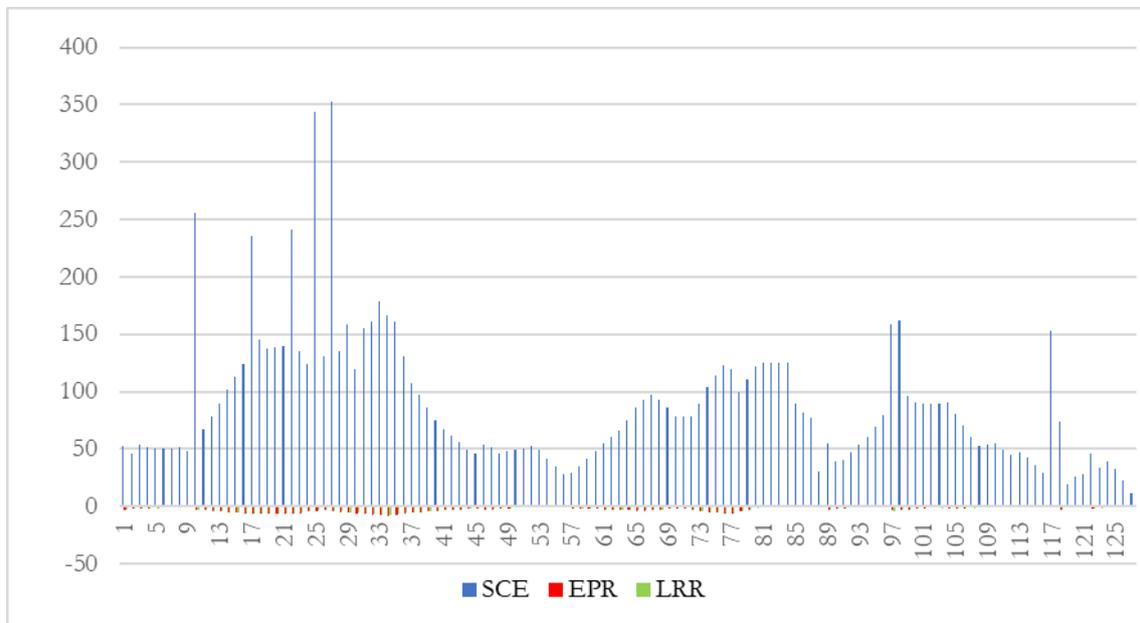


Figura 24: Gráfico Representativo da sobreposição dos métodos SCE, EPR e LRR

O gráfico ilustra o comportamento da linha de costa no período em análise, identificar as faixas com índices elevado de recuo e as de avanço através dos transectos.

Nota-se também a coincidência dos locais com maior alteração da linha de costa usando o método SCE com os locais da maior taxa de alteração expressada em metros por ano, representada nos métodos LRR e EPR.

Conclusões e Recomendações

Neste capítulo apresentam-se a conclusão e as recomendações.

6.1 Conclusão

A análise dessas variações por meio de imagens de satélite tem sido um avanço, já que há mais variedade de imagens, com diferentes resoluções e uma diversidade de programas e ferramentas para manipulações das mesmas e o SIG demonstra-se ser eficiente pois é possível fazer esta avaliação em curto espaço do tempo. Os resultados obtidos indicam que há alteração generalizada da linha de costa no Bairro de Chaimite evidenciando recuos em grande escala, as variações obtidas no período de análise (2002, 2012 e 2022).

O objectivo deste estudo era a monitoria da alteração da linha de costa, aplicando DSAS no Bairro de Chaimite na Cidade da Beira. As taxas de alteração das linhas de costa nos métodos usados (EPR, LRR e SCE) auxiliam na verificação da variação da linha de costa e as imagens de Landsat se mostrou eficaz neste estudo, principalmente pela sua resolução espacial.

As variações negativas e positivas da linha de costa correspondem, respetivamente, ao recuo e avanço da linha de costa. Apesar da estabilidade ocorrida nos valores estabelecidos pelos parâmetros EPR e LRR, estão abaixo de zero, mostrando uma clara tendência de processos erosivos e é importante que se dê atenção a ocorrência de altas taxas de recuo da linha de costa.

A metodologia usada no trabalho, a mesma mostrou-se eficiente na avaliação das taxas de variação da linha de costa, tendo sido facilitado devido a disponibilidade no acesso gratuito a imagens para este intervalo temporal. Com isso, não se pode descartar a importância em se aplicar outros métodos para incrementar os resultados alcançados no trabalho.

6.2 Recomendações

Recomendações para as entidades e gestores da área marítima e para trabalhos futuros:

- Monitoria contínua de modo a identificar locais de erosão;
- Recomenda-se uma atualização periódica das mudanças da alteração da linha de costa, uma vez que os factores que torna podem variar;
- Uso de outras imagens de satélite com maior resolução espacial;
- Adoptar as melhores técnicas automáticas de extracção da Linha de costa;
- Adicionar novas variáveis para o estudo da monitoria da costa;
- Fazer o estudo da linha da costa com intervalo temporal menor que 10 anos.

Referências Bibliográficas

- Alfredo, I. J. (2015). *Detecção Remota E Sistema De Informação Geográfica Aplicados Na Análise Multi-Temporal Da Cobertura Vegetal Da Cidade De Maputo*. Maputo: UEM.
- Almeida, C., e Cruz, S. (2013). *Avaliação das taxas de variação da linha de costa através de imagens orbitais e levantamento GPS na praia de riacho doce Maceió*. AL. Alagoas.
- Araujo et al, R. S. (2013). *Georreferenciamento De Fotografias Aéreas E Análise Da Variação Da Linha De Costa*.
- Brezolin, P. T. (2011). *Análise da variação e estabilidade da linha de costa da praia da armação, Florianópolis- litoral sul da ilha de santa catarina*. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí- UNIVALI.
- Brigatti, N. (2008). *Variação Do Nível Do Mar Associada Às Situações Sinóticas Na Gênese Dos Episódios Extremos No Município De Ubatuba/Sp*. Universidade Estadual Paulista.
- Brito, P. J. (2009). *Impactos da elevação do nível médio do mar em ambientes costeiros: O caso do estuário do Sado. Portugal: Universidade de Lisboa*.
- Carvalho, B. C. (2016). *Utilização de Imagens de Satélite Landsat para Análise da Variabilidade Morfológica de Pontais Arenosos na Planície Costeira de Caravelas (Ne do Brasil)*.
- CFM, C. d. (2007). *Estudo Ambiental Simplificado da Dragagem do Canal de Acesso ao Porto da Beira. Província de Sofala*.
- Chahdi, H. (2017). *Apports des ontologies à l'analyse exploratoire des images satellitaires*.
- Chale, F. M. (2015). *Gestão de Conjuntos em Moçambique: o caso da Baixa da Cidade da Beira*. Maputo: UEM.
- Chacanza, M. S. (2022). *Análise Da Variação Da Linha De Costa No Trecho Entre As Praias De Peroba E Redonda No Município De Icapuí-Ceará,Rasil, A Partir De Imagens De Satélite Aplicando O Dsas*. Unesp: revista geociências .
- Chimangue, D. B. (2018). *Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica para o Mapeamento da Vulnerabilidade Costeira da Baía de Maputo*. Maputo: UEM.
- Coelho, C., e Pinto, P. (2018). *Definição das condições de risco de cheia, incêndios florestais, erosão costeira e industriais na área de intervenção da AMRLA*. . Relatório inal de erosão costeira. 37p.

- Cunha, C. S., Silveira, P. O., e Ruhoff, A. L. (2019). *Índices de Vegetação, Água e Temperatura Utilizados na Busca de Padrões em Diferentes Classes DE uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS entre 1990 A 2017*. Anais Do XIX Simposio Brasileiro Remoto, 2868–2871.
- Cunha, E. (2010). *Considerações Gerais Sobre A Zona Costeira*. Brasil.
- Delamare, T. O., Simon, A. L., e Sato, S. E. (2015). *Dinâmica de uso da terra e alterações na linha de costa lagunar: estudo em uma Colônia de Pescadores de Pelotas*. Brasil: Revista de Gestão Costeira Integrada, 15(2), 237–248. <https://doi.org/10.5894/rgci543> .
- Dias, J. M. (2019). *Estudo de avaliação da situação ambiental e proposta de medidas de salvaguarda para a faixa costeira portuguesa (geologia costeira)*. Universidade do Algarve.
- EOS, E. O. (2020). *Monitoramento De água Baseado Em Satélite*. Obtido de Earth Observing System: <https://eos.com/pt/blog/monitoramento-de-agua-baseado-em-satelite/>.
- Epifânio *et al*, B. M. (2013). *Instabilidade de Arribas e Avaliação da Perigosidade no Litoral da Lourinhã*. Universidade de Lisboa Instituto.
- Fernandes, R. R. (2012). *Uso De Geotecnologias No Mapeamento Do Uso Da Terra E Estudo De Fitofisionomias Em Áreas Úmidas Na Região Do Médio Araguaia*. Universidade Federal de Mato. Geomorfologia costeira, (testimony of Aracy Losano Fontes).
- Ferrão, M. F. (2005). *Manual de Teledeteção Fascículo I: Satélites e Princípios Físicos da Teledeteção CENACARTA*.
- Ferreira, N. C. (2006). *Apostila De Sistema De Informações Geográficas*. GOIÂNIA.
- Ferreira, T. A. (2019). *Aplicação De Sistema De Análise De Linha De Costa (Digital Shoreline Analysis System) Para Avaliação De Mudanças Costeiras No Delta Do Parnaíba*. Natal: UFRN.
- Filipe, B., e Guimarães, C. (2012). *Erosão Costeira e Produção de Blocos Para Obras de Proteção Com Enrocamento*.
- Fortunato, A., Clímaco, M., Oliveira, F., Oliveira, A., Sancho, F., e Freire, P. (2008). *Dinâmica Fisiográfica da Orla Costeira: Estudos de Reabilitação e Protecção*. Portugal: Revista da Gestão Costeira Integrada 8(1):45-63.
- Gonçalves *et al*, R. M. (2012). *O Laboratório de Cartografia Costeira da UFPE, Criação da Página na Internet e suas Generalidades*. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias Da Geoinformação, 2010, 1–6.

- Izaque, A. S. (2019). *Estudo da Morfodinâmica Sedimentar na Praia de Wimbi na Província de Cabo Delgado (2006 - 2018)*. Quelimane.
- Krueger, C. P., CENTENO, J. A., Mitshita, E. A., Veiga, L. A., Filho, C. A., Jubanski, J. J., e Urakawa, M. J. (2002). *Determinação Da Linha De Costa Na Região De Matinhos (Pr) Através De Diferentes Métodos*. São Paulo: Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática p.206-211.
- Langa, J. Q., e Gomes, F. V. (2001). *Erosão Costeira da Cidade de Maputo Causas, Impactos Ambientais e Monitorização*. II Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia.
- Luís, A. d. (2011). *Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota no Monitoramento do Mangal*. GuGIK.
- Machado, R. P. (2011). *Análise espacial e Geoprocessamento*. .
- MAE, M. d. (2005). *Perfil do Distrito de Chokwé*. Beira.
- Maluvane, L. E. (2021). *As Paisagens Culturais No Contexto Da Preservação Dos Concheiros De Chongoene, Na Costa Da Província De Gaza, No Sul De Moçambique*. Maputo: UEM.
- Manuel, A. F. (2015). *Análise Da Perigosidade De Tsunami Para A Cidade Da Beira, Moçambique*. Lisboa: UL.
- Manuela, M. (2003). *Utilização De Detecção Remota Para A Monitorização Temporal* . IEEE Transactions on Signal .
- Marizane, E. J. (2020). *Monitorização da Alteração da Linha da Costa Oceânica com Recurso a Detecção Remota* . Maputo: UEM.
- Marques, W. R. (2006). *De Alta Resolução Para O Planejamento Do Ecoturismo No Morro Do Elefante*. Santa Maria / Rs.
- Martins, L. R. (2004). *Linha de Costa: problemas e estudos*. Porto Alegre: Gravel.
- Mazzer, A., e Dillenburg, S. (2009). *Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas de sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil)*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Medeiros, M. G. (2009). *Análise da Evolução da Ocupação da orla Costeira Usando Técnicas de Detecção Remota*. Açores.

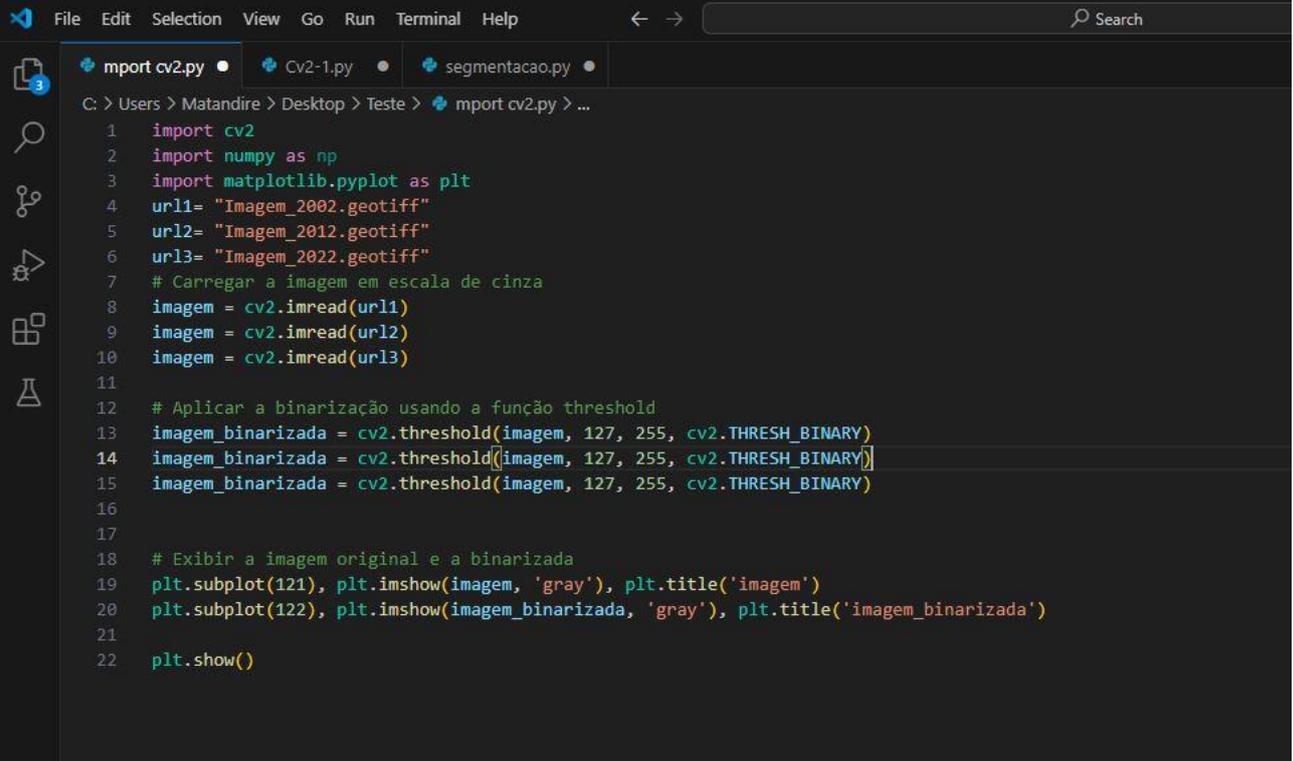
- MIMAIP. (2019). *Elaboração de uma Estratégia para um Sistema de Monitoramento, Controle e Fiscalização(MCS) em Moçambique*. Maputo.
- MITADER. (2005). *Centro Desenvolvimento Sustentável Zonas Costeiras*. Moçambique: <http://www.zonascosteiras.gov.mz/> .
- MITADER. (2016). *Estratégia para a Gestão Integrada da Zona Costeira*. Maputo.
- Mujovo, M., e Jacob, D. (2022). *Beira Uma Cidade Entre As Mudanças Climáticas E Construções Resilientes*.
- Nervino, M. R. (2018). *Análise multitemporal do comportamento da linha de costa entre Busca Vida e Praia do Forte, no Litoral Norte do Estado da Bahia - Brasil*. Salvador: UFB.
- Nhantumbo, E. S. (2020). *Análise diferencial da Ocupação e Utilização do Espaço Suburbano da Beira*. Maputo: UEM.
- Nhatsave, P. D. (2015). *O Eleitorado Da Cidade Da Beira E A Oposição: um estudo sócio-histórico do voto aos partidos da oposição (RENAMO e MDM)*. Das Eleições Locais de 2003 às Eleições Locais de 2013. Maputo: UEM.
- Novo, E. M. (2008). *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. . São Paulo.
- Novo, E. M. (2010). *Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações. 4ª edição – 2010*, Editora Edgard Blücher.
- Nunes, A. C. (2017). *Detecção Automática de Alterações com Imagens de Satélite de Grande e Muito Grande Resolução Espacia*.
- Oiveira, M. G. (2009). *Análise Da Evolução Da Ocupação Da Orla Costeira Usando Técnicas De Detecção Remota*. Universidade dos Açores.
- Olaya, V. (2018). *Introduction to GIS*. London, England.
- Oliveira, S. (2005). *Evolução recente da linha de costa no Troço Costeiro Forte Novo. 137p., Dissertação de Mestrado*. Portugal: Universidade de Lisboa.
- Oyedotun, T. D. (2014). *Shoreline Geometry : DSAS as a Tool for Historical Trend Analysis*. British Society for Geomorphology, 2, 1–12.
- Palalane, J., Grifoll, M., e Oliveira, T. (2013). *Monitorização e Modelação da Evolução Costeira em Moçambique: Práticas e Desafios*. 11 SILUSBA, 11.

- Pinho, T. R. (2019). *Turismo e sustentabilidade em comunidades costeiras: reflexões sobre mudanças socioambientais em Jericoacoara (CE) e Barreirinhas (MA)*. São Paulo: Revista Brasileira de Ecoturismo.
- Pinto, P. M. (2008). *Sistema De Apoio À Gestão Das Zonas Costeiras- Aplicação de um modelo para simulação do crescimento urbano no trecho Ovar-Mira* . Lisboa: Instituto superior de Estatística e Gestão de informação da Universidade Nova de Lisboa.
- Ray, S. S. (2010). *Basic of Remote Sensing*. New Delhi.
- Reis, E. M. (2010). *Evolução da linha de costa e defesa das zonas costeiras – Análise custo/benefício* . Brasil : Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil.
- Rocha *et al*, C. (2016). “*Estudo e Análise Da Vulnerabilidade Costeira Face a Cenários de Subida Do NMM Devido Às Alterações Climáticas i . Cenários de Extremos Do Nível Do Mar.*” (1): 1–18.
- Samuel, H. M. (2017). *Estudo da dinâmica da linha da costa da praia Nova na cidade da Beira desde 2005 a 2016*. Maputo: UEM.
- Santos *et al*, M. S. (2015). *Metodologia Para Mapeamento de Vulnerabilidade Costeira à Elevação Do Nível Médio Do Mar (NMM) Em Escala Local*. Boletim de Ciencias Geodesicas 21(4): 691–705.
- Santos, A. R. (2013). *Apostila do Detecção remota*. . Alegre.
- Santos, J. P. (2019). *Linha de Costa e Faixa de Proteção à Erosão Costeira: Estudo de Caso nas Praias do saco, do Abaís e da Caneira*. Sul de Segipe: Universidade Federal de Sergipe.
- Seara, D. M. (2012). *Encontrando a Linha Divisória: Detecção de Bordas*.
- Tayob, L. J. (2005). *Análise da Ocorrências da Precipitação Máxima Diária Anual Na Cidade da Beira*. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane.
- Teixeira *et al*, S. (2018). *Linha de costa : da detecção por imagens de satélite à modelação da evolução a longo prazo*. 5.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, 1994.
- Uacane, M. S. (2014). *Impactos Ambientais Decorrente Da Erosão Costeira Na Orla Marítima Da Cidade Da Beira (Moçambique)*. Brasil: Revista Educamazônia.
- USGS. (2016). *Department of the interior u.s. Geological survey*.
- USGS. (2021). Embrapa. (2013). *Satélites de Monitoramento*. <http://www.sat.cnpem.embrapa.br/>.

- Vieira, L. A., Pitombeira, E. d., e Souza, R. O. (1996). *Comprovação das Alterações da Linha de Costa e de Transporte de Sedimentos na Área Costeira do Porto do Pecém*. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 85, 1–17. .
- Wehrmann, B., e Glavina, J. (2009). *Geographic Information Systems (GIS) The Spatial Dimension to Development Cooperation*. Eschborn /Germany.

Anexos

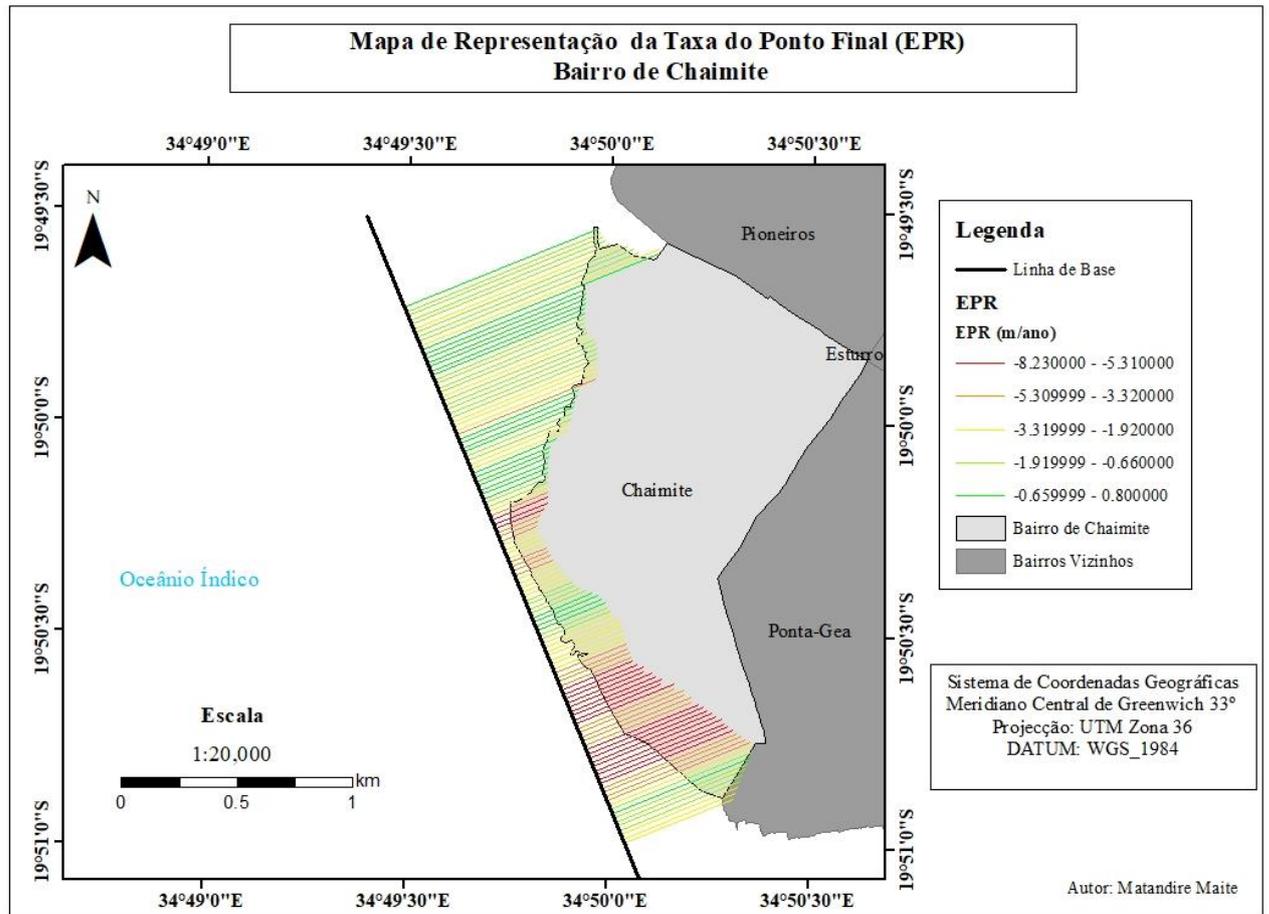
Anexo 1: Aplicação de Threshold com Recurso a Python



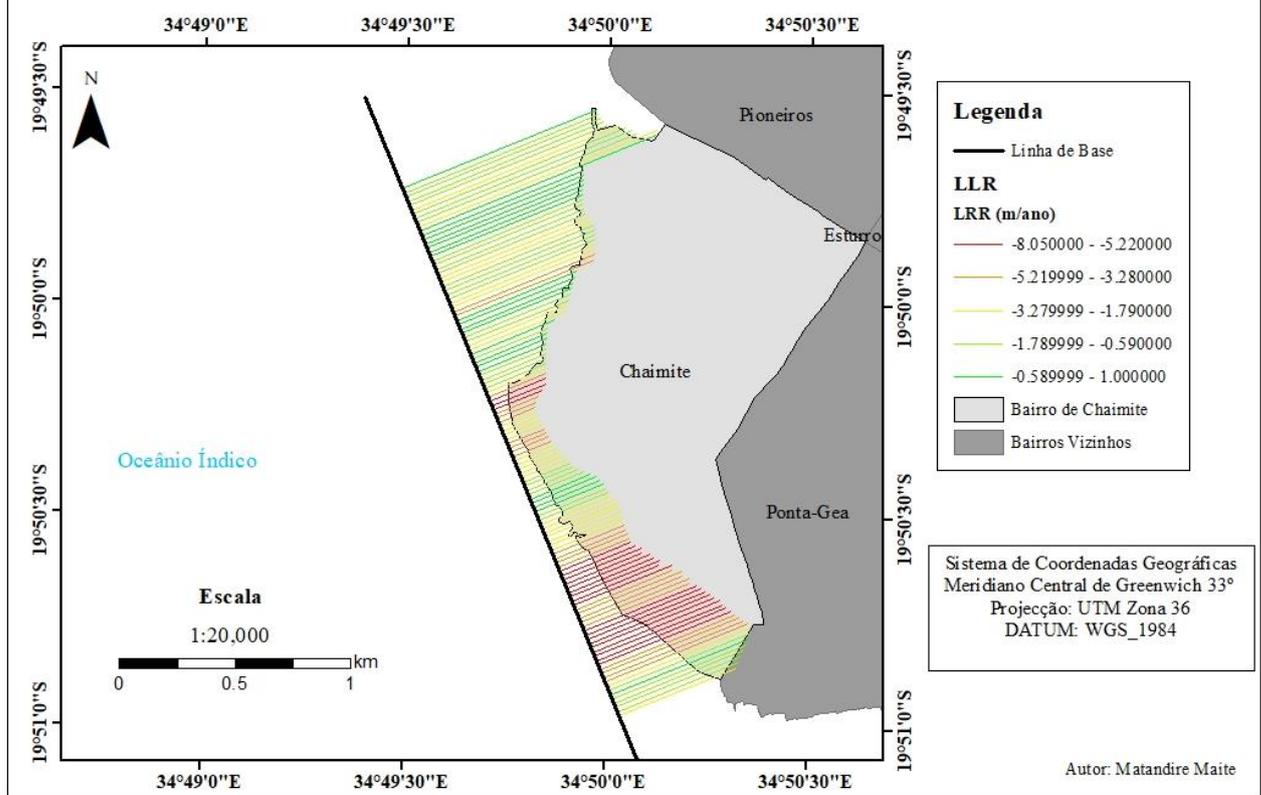
The image shows a screenshot of a code editor with a dark theme. The editor has a menu bar at the top with 'File', 'Edit', 'Selection', 'View', 'Go', 'Run', 'Terminal', and 'Help'. Below the menu bar, there are three tabs: 'mport cv2.py', 'Cv2-1.py', and 'segmentacao.py'. The main area of the editor displays Python code for image thresholding. The code includes imports for cv2, numpy, and matplotlib.pyplot. It defines three URLs for image files and reads them into a variable named 'imagem'. The code then applies a binary threshold to the image using cv2.threshold. Finally, it displays the original and thresholded images side-by-side using plt.imshow and plt.show.

```
C: > Users > Matandire > Desktop > Teste > mport cv2.py > ...
1  import cv2
2  import numpy as np
3  import matplotlib.pyplot as plt
4  url1= "Imagem_2002.geotiff"
5  url2= "Imagem_2012.geotiff"
6  url3= "Imagem_2022.geotiff"
7  # Carregar a imagem em escala de cinza
8  imagem = cv2.imread(url1)
9  imagem = cv2.imread(url2)
10 imagem = cv2.imread(url3)
11
12 # Aplicar a binarização usando a função threshold
13 imagem_binarizada = cv2.threshold(imagem, 127, 255, cv2.THRESH_BINARY)
14 imagem_binarizada = cv2.threshold(imagem, 127, 255, cv2.THRESH_BINARY)
15 imagem_binarizada = cv2.threshold(imagem, 127, 255, cv2.THRESH_BINARY)
16
17
18 # Exibir a imagem original e a binarizada
19 plt.subplot(121), plt.imshow(imagem, 'gray'), plt.title('imagem')
20 plt.subplot(122), plt.imshow(imagem_binarizada, 'gray'), plt.title('imagem_binarizada')
21
22 plt.show()
```

Anexo 2: Mapas de EPR, LLR e SCE



**Mapa de Representação da Taxa de Regressão Linear (LLR)
Bairro de Chaimite**



**Mapa de Representação de Distância Máxima de Mudança Litoral (SCE)
Bairro de Chaimite**

