



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

CAMILA PRAXEDES BRAGA TEIXEIRA

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DA EVOLUÇÃO COSTEIRA NO
MUNICÍPIO DE BEBERIBE, ESTADO DO CEARÁ, ENTRE OS ANOS DE 1979 A
2019**

FORTALEZA
2021

CAMILA PRAXEDES BRAGA TEIXEIRA

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DA EVOLUÇÃO COSTEIRA NO
MUNICÍPIO DE BEBERIBE, ESTADO DO CEARÁ, ENTRE OS ANOS DE 1979 A 2019

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Michael Vandesteen Silva Souto.

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- T265g Teixeira, Camila Praxedes Braga.
Geotecnologias aplicadas à análise da evolução costeira no município de Beberibe, estado do Ceará, entre os anos de 1979 a 2019 / Camila Praxedes Braga Teixeira. – 2021.
106 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Michael Vandesteem Silva Souto.
Coorientação: Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes.
1. Change Polygon. 2. Digital Shoreline Analysis System. 3. Linha de Costa. 4. Erosão Costeira. I.
Título.

CDD 551

CAMILA PRAXEDES BRAGA TEIXEIRA

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DA EVOLUÇÃO COSTEIRA NO
MUNICÍPIO DE BEBERIBE, ESTADO DO CEARÁ, ENTRE OS ANOS DE 1979 A 2019

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Geologia da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
à obtenção do título de Mestre em Geologia.
Área de concentração: Geologia Ambiental.

Aprovada em: ___/___/___.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Michael Vandesteem Silva Souto (Orientador)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (GEOPRO/DEGEO/UFRN)

Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes (Coorientador)
Universidade de Pernambuco (UPE)

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (GNOMO/PEC/UFRN)

Msc. Lívian Rafaely de Santana Gomes Pinheiro
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (GEOPRO/PRODEMA/UFRN)

A Deus.

Aos anjos em forma de amigos, que não permitiram que eu desistisse e me fizeram acreditar que era possível.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre o primeiro e mais importante da minha vida. Minha motivação diária em "continuar a nadar" pelos meus objetivos. Obrigada pelos dias bons, e por estar comigo também nos difíceis.

A minha família. Meus pais Jonas e Cláudia por todo o apoio nas mudanças ocorridas durante a fase da pesquisa, e principalmente a minha melhor amiga e irmã Jamile (saiba que sem sua força e seu exemplo eu não teria ânimo em continuar).

Aos colegas da turma de mestrado e amigos da pós-graduação pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas. Amigos verdadeiros feitos em meio as dificuldades e problemas da vida acadêmica. Pessoas maravilhosas que tive o prazer de conhecer ao longo desse período de pesquisa, e que apesar de não terem seus nomes citados diretamente, saibam que participaram de maneira efetiva do meu crescimento profissional e pessoal.

Dentre essas amigas estão as “Mestrandas Top ou Grupo das Lamentações”, nosso primeiro grupo de fofocas e reclamações acadêmicas composto pelas amigas: Adriana, Aline, Dayse, Janiele, Kátia, Luciene, Rayane e Samara. Outro grupo muito importante para mim ao chegar em Natal/RN foram as “ZilaS”. Esse grupo composto por amigas pós-graduandas que adoravam tomar um cafezinho a tarde, sendo elas: Gabi, Kaline e Lídia. Quero levar todas vocês pelo restante da minha vida, viu?

Aos laboratórios GEOCE e GEOPRO e a todos os participantes deles, os quais tive o prazer de aprender a conviver e trabalhar. Para mim, um ambiente de trabalho saudável e receptivo é o lugar mais estimulante para a aprendizagem e pesquisa científica, dessa forma sou grata por todo suporte (tanto emocional quanto de equipamentos) que me foi dado ao longo da pesquisa desenvolvida. Devo fazer uma ressalva a pessoas extremamente importantes para mim e que são pertencentes aos laboratórios. São elas: Cynthia (a coordenadora de laboratório e da pós-graduação mais "arretada" que eu conheço), Lívian (minha "co-coorientadora" da vida, que dividiu sala e choro no GEOPRO, e esteve presente nas fases finais e mais difíceis da pesquisa me dando suporte e apoio), Eduardo, Matheus e Maynara (companheiros de GEOCE e dos campos realizados nessa pesquisa), ainda temos Tomaz (meu amigo confiante de curso desde 2009, quando iniciávamos o curso de geologia) e Iago (amigo que o GEOPRO me deu, e que me salva quase sempre).

Aos Prof. Dr. Michael Vandesteem Silva Souto e Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes, pela excelente orientação ao longo da pesquisa. Por disponibilizarem seu precioso tempo e conhecimento em prol de algo tão importante para mim. Agradeço também aos campos realizados, pois só vocês sabem as dificuldades encontradas ao longo da realização deles. Agradeço especialmente ao professor Daniel pelas palavras de motivação e apoio nesse final de ciclo, e por todas colocações valiosas. Quero fazer ainda um agradecimento especial ao meu orientador e quase pai adotivo, Michael, que me deu suporte e guarida, além de me fazer membro de sua família por vários meses. Que conseguiu abrir minha visão (anteriormente limitada) para as grandezas desse “mundão de meu Deus”, e me fez acreditar em meu potencial (que por vezes tenho dificuldades de enxergar). Não posso esquecer da minha amiga e parceira de "gordices", Mayra, que me recepcionou de forma generosa em seu lar e me alimentou com as comidinhas mais deliciosas de Ponta Negra, além de me ouvir e me ensinar como só uma boa mãe faria.

Aos participantes da banca examinadora, tanto da qualificação quanto da defesa, formada por Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro, Dra. Maria de Fátima Alves de Matos e Dra. Lívian Rafaely de Santana Gomes Pinheiro, pelo tempo despendido e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e a CAPES, pelo incentivo ao desenvolvimento científico e pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez.” (Shaw and Einstein Speeches. The New York Times, 29 out. 1930).

RESUMO

O município de Beberibe está situado a 85 km de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil, sendo reconhecido principalmente por suas belezas paisagísticas naturais, que se tornam fortes atrativos turísticos do litoral leste cearense. Um exemplo disso é o Monumento Natural das Falésias de Beberibe, uma unidade de conservação e proteção integral que abrange cerca de 31,29 hectares e faz parte do contexto paisagístico do município de Beberibe/CE. Por conta da necessidade de proteção, conservação, ordenamento das atividades turísticas e de ocupação, torna-se necessário o monitoramento dos processos exógenos associados a alterações dessas paisagens costeiras. As Geotecnologias têm-se mostrado uma ferramenta eficiente para avaliação das transformações das paisagens, naturais ou antrópicas, num determinado período analisado, e as diversas técnicas empregadas para isso permitem a simplificação da exploração, interpretação e extração das informações para uma dada área de interesse, e ainda a possibilidade de relacioná-las com parâmetros estatísticos. O presente trabalho teve como objetivo principal o monitoramento regionalizado das modificações da linha de costa no município de Beberibe entre os anos de 1979 e 2019 por meio da utilização das imagens históricas da série LANDSAT, totalizando 40 anos de análise costeira. A zona costeira do município de estudo foi seccionada em 4 setores de acordo com as suas características geomorfológicas mais evidentes, com a finalidade de acompanhamento detalhado das modificações da linha de costa. Para quantificação de perda e ganho de área, em função da dinâmica costeira, foram aplicados os métodos *Change Polygon*, já para o cálculo de variação, amplitude e mobilidade da linha de praia foram geradas taxas estatísticas através da ferramenta *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* nos setores predefinidos. Foi identificado que a maior variabilidade costeira está relacionada ao Setor 1, e que a menor variação decadal da linha de costa está associada às falésias da Formação Barreiras presentes no Setor de Estudo 4. Constatou-se que essa variação entre os setores está diretamente relacionada às principais feições morfológicas encontradas e com a escala espacial de análise empregada.

Palavras-chave: change polygon; dsas; landsat; linha de costa; erosão costeira.

ABSTRACT

The municipality of Beberibe is located 85 km from Fortaleza, the capital of Ceará State, and is recognized mainly because of its natural landscape beauties, which become notorious tourist attractions of the eastern coast of Ceará. An example of this is the Natural Monument of the Cliffs of Beberibe, a conservation and integral protection unit that covers about 31.29 hectares, and is part of the landscape context of the city of Beberibe/CE. Because of the need for protection, conservation, planning of tourist activities and occupation, it becomes necessary to monitor the exogenous processes associated with changes in these coastal landscapes. Geotechnologies have shown to be an efficient tool for evaluating transformations of landscapes, natural or anthropic, in a certain period, and the several techniques employed for that allow the simplification of the exploration, interpretation and extraction of information for a certain area of interest, and also the possibility of relating them with statistical parameters. The present work, had as its main objective the regionalized monitoring of the modifications of the coastline in the municipality of Beberibe between the years 1979 and 2019 through the use of historical images of the LANDSAT series, totaling 40 years of coastal analysis. The study area was sectioned into 4 sectors according to its most evident geomorphological characteristics, with the purpose of detailed monitoring of shoreline modifications. To quantify the loss and gain of area, as a function of coastal dynamics, the Change Polygon methods were applied, meanwhile for the calculation of variation, amplitude and mobility of the beach line statistical rates were generated through the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) tool in the predefined sectors. It was identified that the greatest coastal variability is related to Sector 1, and that the smallest decadal variation of the coastline is associated with the cliffs of the Barreiras Formation present in Study Sector 4. It was found that this variation between sectors is causally related to the main morphological features and with the scale spatial of analysis employed.

Keywords: change polygon; dsas; landsat; coastline; coastal erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Setores costeiros do Estado do Ceará, estando em destaque o município e sede de Beberibe	20
Figura 2 – Localização da área de estudo e seus principais limites municipais	21
Figura 3 – Vista panorâmica do Monumento Natural das Falésias de Beberibe (MNFB) durante o aerolevanteamento da área de estudo	24
Figura 4 – Classificação climática para o Brasil, segundo os critérios KÖPPEN (1936)	26
Figura 5 – Distribuição da série pluviométrica na escala mensal (1988 – 2016)	27
Figura 6 – Delimitação da LC, em imagens da série LANDSAT, a partir da utilização do índice de vegetação para diferenciação de feições como areia úmida e águas oceânicas	40
Figura 7 – Etapas do método Change Polygon	42
Figura 8 – Ilustração dos parâmetros estatísticos utilizados no respectivo trabalho. Temos a linha de base (preto), transecto (cinza) e linha de costa e dados de interseção (multicolor)	44
Figura 9 – Valores e classes para a taxa de EPR definidos na pesquisa	45
Figura 10 – Valores e classes para a taxa de NSM definidos na pesquisa	46
Figura 11 – Valores e classes para a taxa de SCE definidos na pesquisa	46
Figura 12 – Mapa de setorização do litoral de Beberibe	47
Figura 13 – Análise de Change Polygon para o Setor de estudo 1, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019	50
Figura 14 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 1979-1989, com imagens ao fundo de 1989	52
Figura 15 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 1989-1999, com imagens ao fundo de 1999	54
Figura 16 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 1999-2009, com imagens ao fundo de 2009	56

Figura 17 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 2009-2019, com imagens ao fundo de 2019	58
Figura 18 – Análise de Change Polygon para o Setor de estudo 2, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019	62
Figura 19 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 1979-1989, com imagens ao fundo de 1989	64
Figura 20 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 1989-1999, com imagens ao fundo de 1999	66
Figura 21 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 1999-2009, com imagens ao fundo de 2009	68
Figura 22 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 2009-2019, com imagens ao fundo de 2019	70
Figura 23 – Análise de Change Polygon para o Setor de estudo 3, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019	74
Figura 24 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 1979-1989, com imagens ao fundo de 1989	76
Figura 25 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 1989-1999, com imagens ao fundo de 1999	78
Figura 26 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 1999-2009, com imagens ao fundo de 2009	80
Figura 27 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 2009-2019, com imagens ao fundo de 2019	82
Figura 28 – Análise de Change Polygon para o Setor de estudo 4, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019	86
Figura 29 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 1979-1989, com imagens ao fundo de 1989	88
Figura 30 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 1989-1999, com imagens ao fundo de 1999	90

Figura 31 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 1999-2009, com imagens ao fundo de 2009	92
Figura 32 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 2009-2019, com imagens ao fundo de 2019	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico de Acreção X Erosão para o Setor 1, com valores de área determinados através do método Change Polygon	49
Gráfico 2 – Gráfico de Acreção X Erosão para o Setor 2, com valores de área determinados através do método Change Polygon	61
Gráfico 3 – Gráfico de Acreção X Erosão para o Setor 3, com valores de área determinados através do método Change Polygon	73
Gráfico 4 – Gráfico de Acreção X Erosão para o Setor 4, com valores de área determinados através do método Change Polygon	85

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Normalized Difference Water Index (NDWI), considerando os valores para verde e infravermelho	38
Equação 2 – Normalized Difference Water Index (NWDI), considerando os valores para infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros das imagens GLS da série LANDSAT	35
Tabela 2 – Imagens utilizadas no estudo desenvolvido	36
Tabela 3 – Faixas espectrais e resolução espacial dos sensores da família LANDSAT .	37
Tabela 4 – Correspondência de razões NDWI para cada sensor LANDSAT utilizado no estudo em questão	39
Tabela 5 – Outras composições em RGB, testadas e utilizadas nas imagens da série LANDSAT, para delimitação da LC	41
Tabela 6 – Coordenadas que delimitam o polígono do Setor 1. Em Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 24S	48
Tabela 7 – Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 1, com valores determinados através do método Change Polygon	49
Tabela 8 – Transectos gerados no Setor 1, com valores determinados através das estatísticas EPR, NSM e SCE	59
Tabela 9 – Coordenadas que delimitam o polígono do Setor 2. Em Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 24S	60
Tabela 10 – Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 2, com valores determinados através do método Change Polygon	61
Tabela 11 – Transectos gerados no Setor 2, com valores determinados através das estatísticas EPR, NSM e SCE	71
Tabela 12 – Coordenadas que delimitam o polígono do Setor 3. Em Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 24S	72
Tabela 13 – Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 3, com valores determinados através do método Change Polygon	72
Tabela 14 – Transectos gerados no Setor 3, com valores determinados através das estatísticas EPR, NSM e SCE	83
Tabela 15 – Coordenadas que delimitam o polígono do Setor 4. Em Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 24S	84

Tabela 16 – Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 4, com valores determinados através do método Change Polygon	84
Tabela 17 – Transectos gerados no Setor 4, com valores determinados através das estatísticas EPR, NSM e SCE	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
ASP	America Society of Photogrammetry
CE	Ceará
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DHN	Departamento de Hidrografia e Navegação
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
E	Este
EPR	End Point Rate
ETM +	Enhanced Thematic Mapper Plus
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GCP	Ground Control Points
GLS	Global Land Survey
GLS2000	Global Land Survey 2000
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
L1TP	Terrain Precision Correction
LC	Linha de Costa
LiDAR	Light Detection and Ranging
LMS	Least Median of Squares
LR ²	R-squared of Linear Regression
LRR	Linear Regression Rate
LST	Laser Scanner Terrestre
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MNFB	Monumento Natural das Falésias de Beberibe
MSS	Multispectral Scanner

NASA	Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço
NDWI	Normalized Difference Water Index
NE	Nordeste
NSM	Net Shoreline Movement
OLI	Operational Terra Imager
PDI	Processamento Digital de Imagens
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RGB	Red-Green-Blue
SCE	Shoreline Change Envelope
SE	Sudeste
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
UC	Unidade de Conservação
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS84	World Geodetic System
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Caracterização da área de estudo	20
<i>1.1.1</i>	<i>Contexto geológico e geomorfológico</i>	22
<i>1.1.2</i>	<i>Aspectos climáticos e hidrográficos</i>	25
1.2	Objetivos	28
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	28
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	29
2	REVISÃO DA LITERATURA	30
2.1	Erosão Costeira	30
2.2	Geotecnologias aplicadas ao monitoramento costeiro	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	Métodos Change Polygon e Digital Shoreline Analysis System	33
<i>3.1.1</i>	<i>Equipamentos e softwares aplicados</i>	34
<i>3.1.2</i>	<i>Aquisição de dados</i>	34
<i>3.1.3</i>	<i>Processamento dos dados</i>	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1	Análises morfológicas em escala interdecadal para o SETOR 1	47
4.2	Análises morfológicas em escala interdecadal para o SETOR 2	60
4.3	Análises morfológicas em escala interdecadal para o SETOR 3	72
4.4	Análises morfológicas em escala interdecadal para o SETOR 4	84
4	CONCLUSÃO	97
	REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

As Geotecnologias se apresentam como ferramentas facilitadoras na coleta, no processamento e na interpretação de dados ambientais, pela vantagem do seu baixo custo e alta eficácia, tendo sido uma das grandes aliadas no monitoramento dos espaços costeiros e as feições associadas a esses (AMARO *et al.*, 2012). O emprego dessas tecnologias e de suas técnicas possibilitam viabilizar análises em escalas temporais e espaciais distintas, permitindo o acompanhamento e a análise dos processos erosivos, bem como a quantificação em valores de suas perdas e ganhos ao longo do tempo, sejam elas calculadas em área ou em volume (SOUTO, 2009).

Devido ao acentuando processo de erosão costeira observado ao longo das últimas décadas em todo o litoral cearense (MORAIS *et al.*, 2018; MOURA, 2017; MUEHE, 2010; SOUZA, 2009) e em razão da necessidade de proteção, conservação, ordenamento das atividades turísticas e de ocupação (SEMACE, 2010) tem se tornado importante o monitoramento dos processos morfodinâmicos costeiros associados ao recuo da linha de costa no município de Beberibe, assim como calcular a taxa de erosão deste ambiente frente as mudanças temporais associadas a fatores ambientais.

Por possuir um grande potencial de rentabilidade turística e ainda contar como um dos principais roteiros turísticos cearense (com hotéis, pousadas, bares e restaurantes localizados na orla ou próximos a ela), alguns conflitos de interesses e espaços entre bugueiros, artesãos, guias turísticos e comerciantes acabam sendo gerados. Além dos conflitos entre os atores sociais, existe ainda o incômodo causado pelos órgãos de fiscalização ambiental diante dos interesses divergentes da comunidade envolvida, que de maneira geral deseja que a utilização destas áreas se dê de forma organizada, sustentável e planejada (Plano de Manejo – 2019), justificando a intencionalidade do estudo.

O desenvolvimento socioeconômico possibilitou ao município de Beberibe ter um Produto Interno Bruto (PIB) per capita de R\$ 15.037,31, crescente nos últimos anos, e possuir o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,638 (IBGE, 2019), considerada média (valores entre 0,600 e 0,699) de acordo com a classificação feita pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) Brasil.

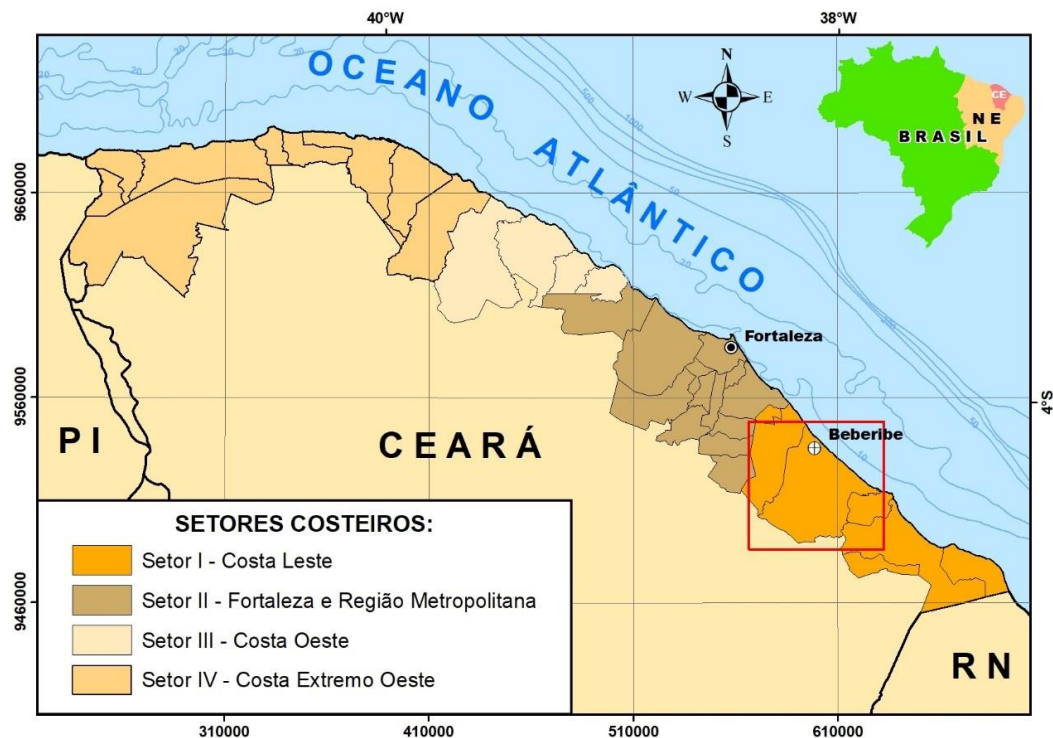
Logo, aplicações em métodos de pesquisa com Geotecnologias foram adotadas para o monitoramento ambiental costeiro do município de Beberibe no Estado do Ceará. Os estudos realizados permitiram identificar, quantificar e avaliar as mudanças no contorno da linha de costa para um período de 40 anos (1979 a 2019), por meio da série temporal das

imagens LANDSAT (sensores MSS, TM, ETM+ e OLI). Pôde-se comparar os setores mais susceptíveis à mobilidade da linha de costa e as áreas mais propícias ao processo dinâmico de desgaste costeiro na região ao longo desses anos de observação, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento multitemporal interdecadal, utilizando modelos gerados pelo método *Change Polygon* e pela ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS).

1.1 Caracterização da área de estudo

O Estado do Ceará apresenta uma zona costeira total de 573 km de litoral distribuídas ao longo de 20 municípios, que fazem efetivamente fronteira com o mar (MORAIS *et al.*, 2018). O município de Beberibe possui aproximadamente 52 km desse litoral e encontra-se associado ao chamado Setor Leste do Estado do Ceará (LIRA, 2016) juntamente a outros 6 municípios (Icapuí, Aracati, Itaiçaba, Fortim, Cascavel e Pindoretama) (MORAIS *et al.*, 2018), como delimitado na Figura 1.

Figura 1 – Setores costeiros do Estado do Ceará, estando em destaque o município e sede de Beberibe

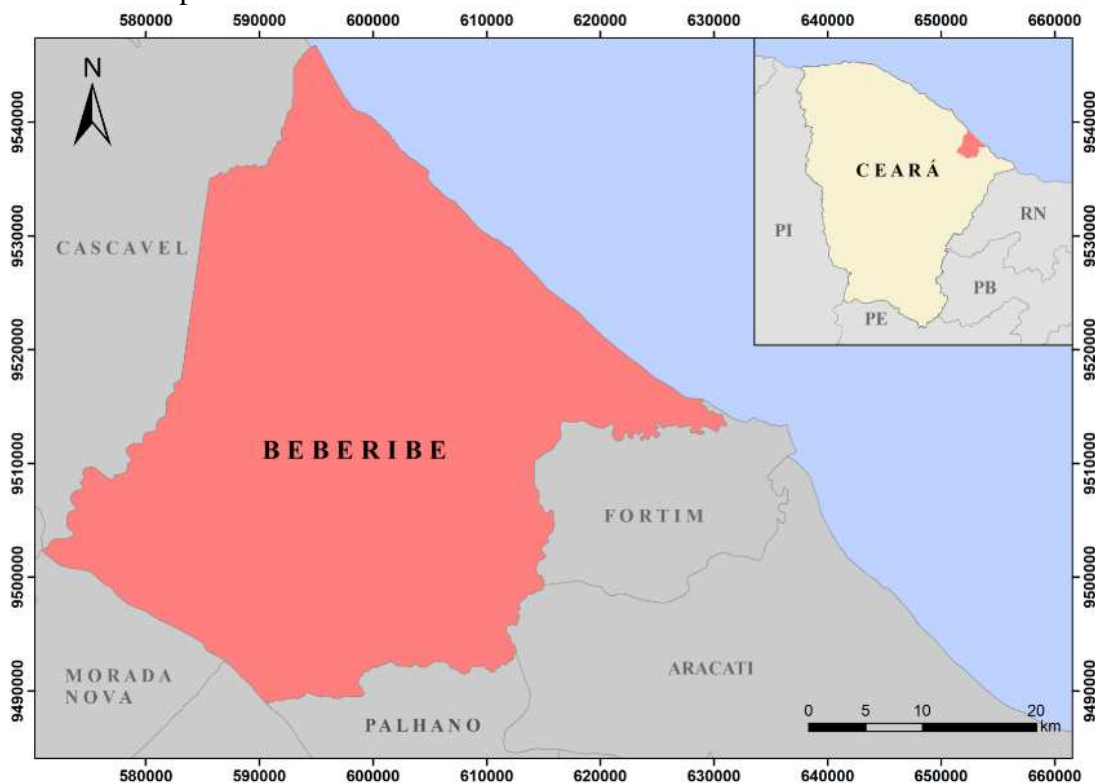


Fonte: Adaptado de Lira (2016).

O litoral de Beberibe é uma das regiões mais visitadas da Costa Leste cearense, com quatro praias principais (da mais ao Norte para mais ao Sul): Praia de Morro Branco,

Praia das Fontes, Praia de Uruaú e Praia de Parajuru. A área de estudo abrange todo o limite costeiro do município de Beberibe, no Estado do Ceará (Figura 2), que está inserido na microrregião de Cascavel, mesorregião do Norte Cearense. Apresenta aproximadamente 85 km de distância desde a sede da cidade de Beberibe até a capital do Estado, Fortaleza. Faz limite com os municípios de Cascavel, Ocara, Morada Nova, Russas, Palhano, Aracati e Fortim (CEARÁ, 2006).

Figura 2 – Localização da área de estudo e seus principais limites municipais



Fonte: Autor (2021).

O principal acesso, e mais rápido, até a sede do município em questão dá-se principalmente pela rodovia estadual CE-040. Considerando o trecho inicial partindo do centro da cidade de Fortaleza, saindo pela Avenida Aguanambi, percorrendo 3,4 km até a rotatória que dá acesso ao início da rodovia federal BR-116. Segue-se pela BR-116, percorrendo 14,2 km, direto para pegar a Rodovia do 4º Anel Viário, à esquerda, onde irá percorrer mais 4,3 km para ter acesso à rodovia estadual CE-040, seguindo à direita, por mais 65,1 km até chegar à entrada principal da cidade de Beberibe.

Tem destaque na região a Praia de Morro Branco e a Praia das Fontes por abrigarem o Monumento Natural das Falésias de Beberibe (MNFB), uma unidade de

conservação estadual de proteção integral que ocupa cerca de 31,29 hectares. O município limita-se por ainda dois rios, ao Norte pelo Rio Choró e ao Sul pelo Rio Pirangi.

Já os distritos que fazem parte do município de Beberibe são: Beberibe (sede), Forquilha, Itapeím, Parajuru, Paripueira, Serra do Félix e Sucatinga, distribuídos por uma área total de 1.620,34 km² com altitude média de 11,94 m. Baseado nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019), a população do município apresenta a um total de 53.573 pessoas, enquanto a densidade demográfica aproximada é de 30,37 hab/km².

Os corpos hídricos que merecem destaque na região são os rios Choró e Pirangi, que limitam o município, e a Lagoa do Uruaú. A área pertencente ao MNFB e a zona de amortecimento estão inseridos na microbacia do rio Choró, cujo sistema hidrográfico está condicionado principalmente pela sazonalidade das precipitações pluviométricas e pela água armazenada nos aquíferos que alimentam os rios após o término das chuvas (SEMA, 2019). Esses canais de drenagem apresentam-se por vezes estreitos e com larguras médias inferiores a um metro de profundidade, transportando sedimentos em eventos de alta pluviosidade sazonais. Podem ocorrer variações quanto às larguras e profundidades nos cursos d'água de acordo com períodos de maior ou menor pluviosidade e carga de sedimentos recebidos, sendo susceptíveis a encharcamentos sazonais e a erosão. A quantidade de sedimentos transportados está relacionada diretamente com a cobertura da terra à montante, e contribuem com a dinâmica sedimentar na área de influência (SEMA, 2019).

No município de Beberibe encontram-se vegetação dos tipos: floresta mista dicótilo-palmácea e o complexo vegetacional da zona litorânea. O primeiro tipo caracteriza-se pela presença de mata ciliar com carnaúba e dicotiledôneas influenciadas por ambientes fluvial e/ou lacustre, enquanto a segunda é composta por vegetação de restinga e pela Mata de Tabuleiro. A vegetação de restinga recebe influência marinha e eólica, e possui o papel de contribuir com o processo de fixação do substrato arenoso. Já a Mata de Tabuleiro está associada aos tabuleiros do Grupo Barreiras e é rica em espécies lenhosas típicas de ambientes mais secos. Podem ser ainda observadas vegetação de mangue nas áreas estuarinas dos rios Choró e Pirangi, essas associadas às planícies fluviomarinhas (SEMACE, 2016).

1.1.1 Contexto geológico e geomorfológico

O Litoral Leste do Ceará apresenta um arcabouço geológico marcado principalmente por rochas do embasamento Pré-Cambriano, sedimentos de idade Terciária da Formação Barreiras e depósitos Quaternários (CPRM,2020). O pré-cambriano representado

pelo Complexo Canindé do Ceará, sendo constituído por paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortognaisses ácidos e rochas metabásicas, (CPRM, 2021 e MOURA, 2017). A Formação Barreiras representa de maneira geral o período Terciário, sendo composta, em geral, por arenitos argilosos de granulação fina a média, cores amarela, bege e vermelha, com matriz argilo-caulinítica e com cimento argiloso, ferruginosos e, às vezes, silicoso. Apresenta leitos de conglomerados, com seixos subangulosos em matriz arenosa., datados entre o Mioceno e o Pleistoceno (CPRM, 2021; MOURA, 2017; SILVA; SILVA, 2012). Os tabuleiros pré-litorâneos estão associados à Formação Barreiras, aflorando na linha de praia em forma de falésias ativas, com uma estreita faixa de paleofalésias ao norte do município (MORAIS *et al.*, 2018). As paleofalésias são compostas pela Formação Barreiras Indiviso e as ativas são compostas pelas, Formação Barreiras, Formação Tibau; Formação Barreiras Indiviso, com afloramentos de plataformas de abrasão na antepraia (MORAIS *et al.*, 2018).

Os depósitos eólicos litorâneos, fluviomarinhos, marinhos e aluvionares representam o período Quaternário na área de estudo e são representados por areias quartzosas de granulação fina a média, bem selecionadas e com grãos arredondados. Esses depósitos envolvem os sedimentos de praia e de dunas móveis e fixas, e estão espacialmente dispostos por sobre a Formação Barreiras, em regime de acumulação (CPRM, 2021 e SOUZA, 1998). Esses depósitos estão inseridos nos ambientes atuais de sedimentação (MUEHE, 2006 e PINHEIRO, 2003), sendo associados à unidade geoambiental caracterizada por Silva (2008) e Silva *et al.*, (2008) como planície litorânea, o qual é constituída pelas faixas de praia e pós-praia, campos de dunas (fixas, móveis e paleodunas) e planícies lacustres.

De maneira simplificada temos que a região costeira do Estado do Ceará apresenta uma compartimentação geomorfológica constituída por planície litorânea, planícies fluviais, planícies flúvio-lacustres, áreas de acumulação inundáveis e tabuleiros pré-litorâneos ou costeiros. O município de Beberibe está inserido essencialmente na planície litorânea (ou costeira), que apresenta em sua maior parte composta por praias arenosas e uma pequena faixa do litoral com presença de falésias (MUEHE, 2006).

O Monumento Natural das Falésias de Beberibe (MNFB), localizado no município de Beberibe/CE, é uma das principais unidades paisagísticas presentes na região de estudo, representando geologicamente a formação Barreiras e geomorfológicamente a feição de falésia ativa (Figura 3). É uma área de conservação e proteção integral criada pelo Decreto-Lei nº 27.461, de 04 de junho de 2004, e administrada pela Superintendência do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE) para proteção e conservação das formações naturais do litoral

cearense de notório valor paisagístico, representadas por dunas e falésias, que se revestem de grande importância ecológica e acentuada fragilidade natural (SILVA & SILVA, 2007). A área do MNFB abrange cerca de 31,29 hectares, que se estende desde a Praia de Morro Branco até a Praia das Fontes.

Figura 3 – Vista panorâmica do Monumento Natural das Falésias de Beberibe (MNFB) durante o aerolevante da área de estudo



Fonte: Autor (2021).

Tratando-se de uma Unidade de Conservação (UC), categorizada como sendo de Proteção Integral, cuja sua utilização do MNFB se restringe as atividades de uso indireto, ou seja, atividades que não envolvam danos aos recursos naturais (MMA, 2020). De acordo com o Art. 3º do decreto de nº 27.461, de 04 de junho de 2004, algumas das atividades proibidas na área do Monumento são: a retirada e desmonte das formações geomorfológicas que compõem as falésias, a construção e/ou reforma relacionadas a obras civis sobre as formações, qualquer alteração humana que descaracterize a apresentação visual natural, a realização de competições que envolvam movimentação de coisas e/ou pessoas, e demais atividades consideradas danosas previstas na legislação ambiental.

Mesmo apresentando uma restrição nas atividades realizadas na região das falésias, ainda existem problemas nesta unidade de conservação decorrentes da ação antrópica. Entre algumas das questões estão a retirada indevida de sedimentos das falésias para o artesanato local, especulação imobiliária e demais questões provenientes das atividades turísticas realizadas de forma desordenada (SEMACE, 2010). Conforme apresentado no (SEMA, 2019) a comunidade foi impedida de explorar e remover a areia local, e como forma de solucionar essa problemática ocorreu remanejamento das atividades e coletas de recursos primários para produção do artesanato em áreas adjacentes ou externas à poligonal do Monumento Natural.

Essas feições estão associadas a ambientes costeiros dinâmicos, sendo classificadas como falésias costeiras do tipo ativas, por estarem sobre influência direta da ação marinha. Sua fragilidade natural está relacionada principalmente às características geomorfológicas e aos seus processos de formação, como: declividade acentuada, alturas variadas e recuos condicionados pela abrasão marinha em sua base, além do desgaste na face da falésia por erosão subaérea (FURLAN, 2014).

1.1.2 Aspectos climáticos e hidrográficos

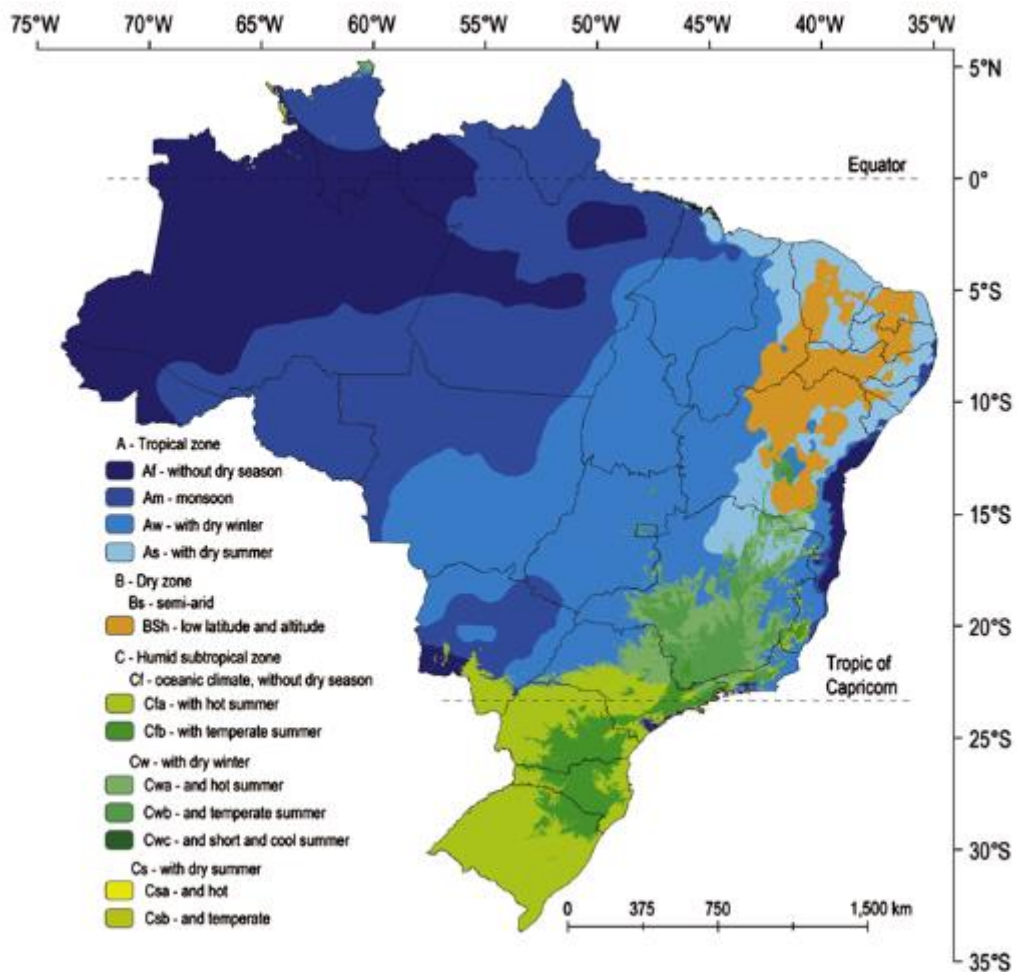
O litoral cearense apresenta predominantemente o clima de tipo Tropical Semiárido Brando, no qual os períodos secos (longos) e úmidos (curtos e irregulares) são bem marcados ao longo do ano. As precipitações se apresentam irregulares, com concentração de chuvas no primeiro semestre do ano, com ênfase para os três primeiros meses (fevereiro/março/abril ou março/abril/maio), além de ser observado um decréscimo da taxa de precipitação anual de Fortaleza (1.338 mm) em direção a Icapuí (949,2 mm) (CAMPOS; STUART, 2003).

De acordo com a atualização da classificação climática de Köppen's para o território brasileiro (ALVARES et al., 2013), o estado do Ceará encontra-se em sua maior porção (62,3% do território) inserido na zona tropical, e principal razão para este clima estar presente em grande parte do país é porque nestas áreas não existem fatores limitantes de altitude, chuvas e temperatura para impor outras zonas climáticas (Figura 4). No estado do Ceará essa zona tropical está inserida em um contexto de verão mais seco, e esse clima cobre principalmente a Chapada do Araripe, o que também foi observado por Bernardes (1951) e Vieira (1960).

Uma porção menor do território (37,7%) está associado a uma zona seca com baixas latitudes e altitudes (Figura 4). O característico clima semi-árido é notadamente o clima típico do Nordeste do Brasil, ocorrendo basicamente em paisagens onde a precipitação anual cai em média para menos de 800 mm. No estado do Ceará, o clima semi-árido foi identificado em regiões com precipitação anual menor que 700 mm, ocorrendo dentro de 70 km da costa (ALVARES *et al.*, 2013).

Esse clima tropical quente semiárido brando a tropical quente semiárido, presente no município de Beberibe, também classificado como As (tropical com verão seco), apresenta temperaturas variando entre 26° a 28°C ao longo do ano, sendo as estações mais quentes entre os meses de novembro e janeiro, e as estações mais frescas entre os meses de junho a julho (ALVARES *et al.*, 2013 e IPECE, 2020). É caracterizado pela ausência de chuvas de verão e sua ocorrência no "inverno" (que corresponde à estação chuvosa e não ao inverno propriamente dito).

Figura 4 – Classificação climática para o Brasil, segundo os critérios KÖPPEN (1936)

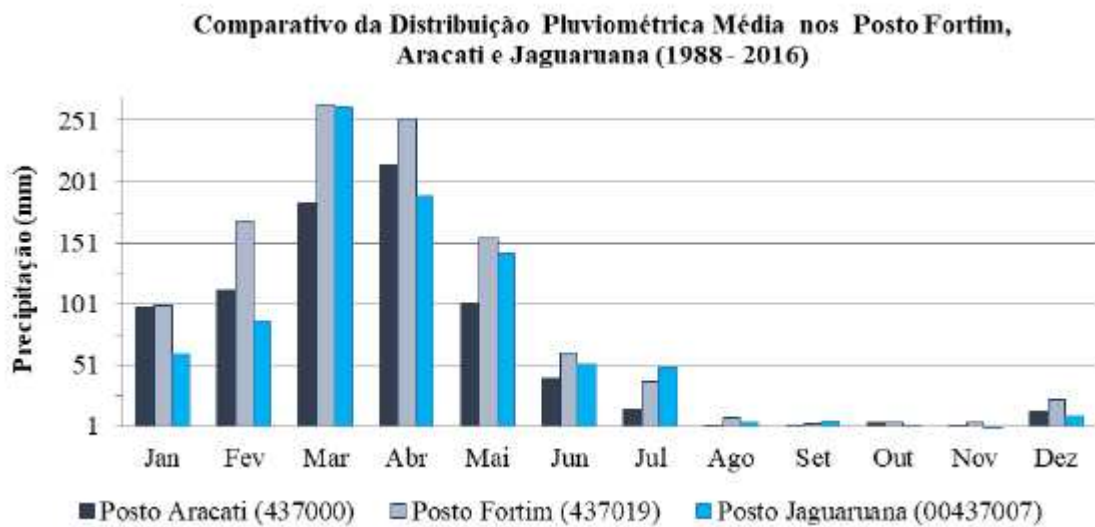


Fonte: Alvares *et al.* (2014).

As precipitações caracterizam a quadra chuvosa curta e irregular, enquanto o período seco concentra-se no segundo semestre do ano, mais longo e regular, ao longo do estado do Ceará (FUNCEME, 2019). Na região do município de Beberibe, as características pluviométricas são favorecidas pela proximidade a linha praia, como analisado por Moura (2017) (Figura 5). As chuvas que ocorrem no período de janeiro a maio são influenciadas principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Essa alternância entre períodos secos e chuvosos no litoral do Estado do Ceará está associada a migração da ZCIT, que coincide com a sazonalidade nas velocidades de vento na região de estudo (BITTENCOURT *et al.*, 1996).

A ZCIT contribui com a alta nebulosidade e baixa pressão atmosférica na região litorânea do estado, afetando a qualidade de chuva na região. O sistema atmosférico denominado Distúrbio Ondulatório de Leste pode ocasionar chuvas também entre os meses de junho a agosto (FUNCEME, 2014; SEMACE, 2016).

Figura 5 – Distribuição da série pluviométrica na escala mensal (1988 – 2016)



Fonte: Moura (2017).

Essas características climáticas e de precipitação são controladas pelos chamados sistemas atmosféricos que atuam no litoral do Estado. Existem ainda os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, Frentes Frias, Linhas de Instabilidade, Sistemas Convectivos de Mesoescala e Oscilação 30 - 60 dias, esses igualmente contribuindo ou inibindo as chuvas na região (FUNCEME, 2014; SEMACE, 2016). Tais fatores combinados com a localização espacial e

topografia local, limitam a distribuição da umidade e favorecem a aridez do clima (MORAIS *et al.*, 2006a).

O vento tem papel importante no litoral devido a sua atuação modeladora e transformadora de relevo, contribuindo com a acumulação de dunas e praias arenosas ao longo da costa do Ceará (MORAIS *et al.*, 2006a), bem como na influência do regime de ondas. Nos meses de março e abril, ápices do período chuvosos, predominam ventos de SE (120°-150°) ao longo do dia, passando a SSE-S (150°-180°) durante a noite (MAIA, 1998). A velocidade média dos ventos chega a variar de 3 a 9m/s. O período entre maio e agosto apresenta os ventos predominantes são de ENE-E (60°-90°) durante o dia, e E-SE (90°-150°) à noite (MAIA, 1998).

A sazonalidade entre o período chuvoso e seco no Estado do Ceará coincide com a alternância na velocidade dos ventos. Essas velocidades podem chegar a uma média de 4,9 a 8,6 m/s (ou 13,7 a 23,9 km/h), onde os maiores valores tendem a ocorrer entre agosto e novembro e os menores valores em fevereiro e maio (SEMACE, 2016). Em média, os ventos climatológicos mais intensos ocorrem nos litorais do Ceará e RN, principalmente nos extremos leste e oeste do Litoral Cearense. A variabilidade espacial ao longo da costa é pequena, menor que 1 m/s (SILVA *et al.*, 2017).

Há uma intensificação dos ventos alísios e das brisas marinhas entre os meses de setembro-dezembro, com direção variando de forma predominante de E a SE, com predomínio de ventos alísios de E. As ondas mantêm uma estreita relação com as direções predominantes dos ventos, com uma forte componente de E com direções variando entre os quadrantes E, E-NE e E-SE (MORAIS *et al.*, 2006b).

Já o regime de marés observado na região costeira do estado do Ceará pode ser caracterizado como de meso-maré com periodicidade semidiurna. As ondas de superfície oceânica apresentam uma variação de 0,8 a 1,5 m de altura significativa, onde as maiores alturas concentram-se no primeiro semestre do ano. A frequência das ondas *swell* aumentam no primeiro semestre do ano devido ao aumento da turbulência no Atlântico Norte, e diminuição da influência dos ventos alísios de SE (MORAIS *et al.*, 2006b).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo principal quantificar e compreender o processo dinâmico erosivo na região costeira do município de Beberibe no estado do Ceará – Nordeste do Brasil -, com auxílio de técnicas de geoprocessamento e de análise geoespacial por meio das ferramentas *Change Polygon* e *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS).

1.2.2 Objetivos específicos

- Estabelecer a evolução da linha de costa do município de Beberibe/CE entre os anos de 1979 e 2019.
- Identificar as áreas e setores mais propícios à erosão costeira a partir de modelos e respostas geradas pelo método *Change Polygon* e pela ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS);
- Confeccionar documentos cartográficos de erosão/deposição, e mapas espaço-temporais da variação da linha de costa para cada setor pré-delimitado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Erosão Costeira

As zonas costeiras podem ser definidas como regiões de encontro do mar com o continente, ou ainda de maneira mais completa como áreas de interface onde parte do continente é afetada pela proximidade com o mar e onde parte do oceano é afetada devido a sua proximidade com o continente (SORENSEN; MCCREARY, 1990). De acordo com o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC II), item 3, temos que a zona costeira é o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais, abrangendo a faixa marítima e a faixa terrestre (BRASIL, 1988).

Essas faixas transicionais apresentam uma intensa dinâmica hidrossedimentar por conta dessa interface continente-oceano. Como exposto por Moura (2017) os agentes fluviomarinhos (transporte fluvial e ações de marés), marinhos (ondas, marés, correntes de deriva litorânea) e eólicos (ventos, processo de remobilização sedimentar) constituem como alguns dos principais sistemas atuantes na formação e modificação dessas faixas costeiras, sendo também nomeados como reguladores morfogenéticos da paisagem costeira.

Essas infinitudes de processos paisagísticos observados em um curto espaço de tempo comprovam que as feições observadas nas zonas costeiras não são fixas, ou seja, são espaços altamente dinâmicos associados a transformações em escalas temporais menores (BARROS *et al.*, 2020). Diferentemente das transformações geomorfológicas estritamente continentais, que apresentam um grande registro temporal em sua formação. Portanto as áreas costeiras costumam apresentar uma variedade de feições geológicas e geomorfológicas produzidas por transformações espaciais e temporais ao longo do tempo, como descrito por Moura (2017). De acordo com Bird (2008), o processo erosivo que ocorre ao longo do litoral não se manifesta apenas em caráter local, mas trata-se de um processo que ocorre globalmente, em que as costas arenosas estão à mercê da intensificação de processos erosivos, e a modelagem da paisagem costeira está diretamente relacionada às condições climáticas e oceânicas, além de questões associadas a alterações antrópicas, ocasionadas principalmente por fatores socioeconômicos.

De acordo com a lei de Política Estadual de Gerenciamento Costeiro e o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, as feições comumente associadas as zonas costeiras são: praias, terraços marinhos, planície de deflação, dunas móveis, dunas fixas, eolianitos ou cascudos, planícies flúvio-marinhas, planícies fluviais, tabuleiros pré-litorâneos, *beachrocks*

ou arenitos de praia, cordões litorâneos, bermas, falésias, campo de dunas, células costeiras, paleodunas e estuários (CEARÁ, 2006).

Desta forma, as áreas costeiras são consideradas ambientes de caráter frágil e dinâmico, apresentando um grau de dificuldade relacionado ao seu monitoramento e compreensão dos processos associados à sua formação. As suas interações com atividades humanas potencializam esse caráter frágil presente nessas zonas litorâneas.

Historicamente grande parte da população das atuais metrópoles iniciou seu processo de ocupação pelas regiões costeiras. Essa ocupação está atrelada principalmente ao período de desenvolvimento econômico das cidades, onde os primeiros núcleos, localizados próximos ao mar, confirmavam a dependência financeira em relação ao mercado externo na época (PANIZZA *et al.*, 2009). Condicionantes geográficas também propiciaram a fixação da população nessas áreas mais abastadas de recursos.

Como observado por Carvalho e Claudino-Sales (2017), nas últimas décadas o segmento litorâneo tem experimentado uma agressiva pressão exercida pela especulação imobiliária, o que tem produzido graves problemas ambientais.

O litoral do estado do Ceará está incluído nas regiões que vem sofrendo a intensificação dos processos erosivos ao longo das últimas décadas (MORAIS *et al.*, 2018), e o município de Beberibe inclui-se como uma das regiões do litoral cearense com diversas problemáticas associadas a mudanças costeiras recentes e a ocupações e turismo em áreas irregulares.

2.2 Geotecnologias aplicadas ao monitoramento costeiro

Os produtos de sensores remotos orbitais apresentam-se como ferramentas facilitadoras na análise da evolução da paisagem por não terem a necessidade de contato físico entre o sensor e o objeto de interesse presente na superfície terrestre, facilitando o acompanhamento das transformações ocorridas no ambiente (FLORENZANO, 2011).

Ainda de acordo com Souza (2016), a utilização de produtos de sensores remotos torna possível a visualização das modificações e transformações no ambiente em um intervalo de tempo e espaço, possibilitando uma posterior identificação e discussão dos fatores e processos condicionantes da mudança da paisagem em um dado momento.

As imagens de satélites apresentam uma infinidade de aplicações práticas, entre elas o acompanhamento da morfodinâmica costeira em escalas temporais diversas, como as

pesquisas realizadas por Amaro *et al.* (2012), Busman *et al.* (2013), Prudêncio *et al.* (2019), dentre tantas outras infinidades de exemplos.

Os produtos oriundos de imageamentos realizados por satélites da série LANDSAT são frequentemente utilizados em diversas pesquisas costeiras, tanto pela facilidade ao acesso a informações, por vezes à disposição em plataformas gratuitas, quanto pela data dos primeiros produtos gerados por esses sensores.

Por seus primeiros produtos datarem do período pós lançamento, realizado em 1972, e de lá até hoje mais 8 satélites da série foram lançados (todos com imagens multiespectrais), esses satélites tornam-se os principais voltados a estudos da linha de costa devido a extensa faixa temporal disponibilizada. Quando comparado a outros sensores, apresentam uma desvantagem com relação à resolução espacial, apesar da vantagem relativa à resolução temporal.

Os avanços tecnológicos em sensoriamento remoto com imagens remotas multissensor, multiescala e multitemporal têm contribuído muito para estudos geomorfológicos costeiros e têm sido usadas para medir processos de erosão/acreção de curto e longo prazo, como descrito por Amaro *et al.* (2014). A integração de banco de dados através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) promove a compreensão e quantificação da taxa de erosão/acreção de década para década e de ano para ano, como nos trabalhos apresentados por Grigio (2003), Souto (2004; 2006), Franco *et al.* (2012), Amaro *et al.* (2015), Silva *et al.* (2015) e Souza (2016). O uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite vetorizar, integrar e analisar, num meio digital, os dados multitemporais da linha de costa para análise da evolução costeira (XIMENES, 2013; AMARO *et al.*, 2012), tornando-se uma ferramenta importante na gestão ambiental desses municípios costeiros.

O delineamento da linha de costa com base em imagens de satélite disponíveis é uma tarefa importante para o monitoramento costeiro de longo e curto prazo, e um método muito importante para a detecção e comparação multitemporal de dados (AMARO *et al.*, 2014). Em análises morfodinâmicas em escala de detalhe maior, as potencialidades do uso de técnicas de geoprocessamento para identificação de áreas de falésias e posterior quantificação de taxas de recuo já foram expostas e comprovadas em trabalhos como os de Câmara *et al.* (2019).

Esses estudos em escalas temporais distintas facilitam a percepção das mudanças ocorridas ao longo de um período definido, possibilitando análises decadais e interdecadais detalhadas, voltadas a prognósticos costeiros, como as abordadas nesta dissertação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para execução do estudo multitemporal da região costeira do município de Beberibe, no Estado do Ceará, foram escolhidas as imagens orbitais da série LANDSAT. O acervo de imagens disponíveis (desde 1972 até os dias atuais) e a possibilidade de obtenção gratuita através da *United States Geological Survey* (USGS), pela internet, foram determinantes na definição da série a ser utilizada na primeira etapa desta pesquisa.

A análise da evolução multitemporal da linha de costa para o município foi dividida inicialmente em 4 períodos principais (1979 a 1989; 1989 a 1999; 1999 a 2009; finalmente, 2009 a 2019), totalizando 40 anos de diagnóstico para a linha de praia local. Após a setorização do município em 4 áreas de interesse, realizada para entender a dinâmica costeira local e definir posteriormente pontos-chaves a serem analisados de maneira particularizada, os métodos *Digital Shoreline Analysis System* e *Change Polygon* foram aplicados nas imagens dos períodos previamente selecionados, como é descrito a seguir, neste capítulo.

3.1 Métodos *Change Polygon* e *Digital Shoreline Analysis System*

As técnicas adotadas nessa primeira parte da metodologia têm como objetivo principal a análise regionalizada da dinâmica costeira presente na área de estudo. Os procedimentos adotados permitem a observação do panorama costeiro da região, possibilitando uma análise de longo prazo por meio da extração das informações em imagens orbitais gratuitas de média resolução espacial disponíveis na Internet. Neste caso, a escolha foi para utilização das imagens da série LANDSAT.

O Processamento Digital de Imagens (PDI) foi realizado nos produtos de imagens da série LANDSAT como procedimento inicial nessa etapa metodológica, pelo qual foram aplicadas técnicas de realce nas imagens multitemporais para delimitação da linha de costa, como principal feição de interesse da pesquisa em questão.

Por meio da utilização do método *Change Polygon* torna-se possível a geração de polígonos de deposição e erosão em ambiente Sistemas de Informações Geográficas (SIG) por meio da intersecção dos dados vetoriais das linhas de costa das datas levantadas, facilitando a análise quali-quantitativa do litoral pesquisado. Sendo possível calcular também, em unidades de área, os valores de deposição e de erosão, que posteriormente permitem calcular balanço sedimentar no intervalo de tempo avaliado, como proposto por Amaro (2012).

O DSAS é uma extensão desenvolvida por Thieler *et al.* (2009) para análise espacial de linha de costa, que está disponibilizada pela USGS *online*, livre e gratuitamente, como extensão do ArcGIS®. Segundo Moura (2017), é considerada uma das principais ferramentas utilizadas nos estudos voltados à evolução da linha de costa. Isso se dá principalmente por conta da facilidade de acesso e de uso da extensão, bem como pela qualidade das estatísticas geradas pelo DSAS.

3.1.1 Equipamentos e softwares aplicados

O uso de imagens orbitais da série LANDSAT foi primordial para o levantamento da linha de costa com a utilização de técnicas de PDI empregadas para realçar as informações contidas nas imagens pelas suas respostas espectrais que cada alvo correspondia. Para isso foram aplicadas combinações coloridas no sistema de cores *Red-Green-Blue* (RGB) e manipulação histográfica, que pudessem destacar as diferenças entre corpos emersos dos corpos d'água. Por este contraste, delimitou-se a linha de costa para cada data de imagem utilizada nesta pesquisa. Nessa etapa foi utilizado o *software* ER-Mapper®, versão 7.1, para as composições coloridas e manipulação do histograma das imagens LANDSAT.

A vetorização das linhas de costa foi uma segunda etapa de trabalho, que se deu com o uso das imagens processadas em um ambiente SIG, por meio do *software* ArcGIS®, versão 10.3 na escala 1:30.000. Já para a análise da evolução costeira, foi utilizado ainda em ambiente SIG, onde se tinha a instalação da extensão do DSAS®, versão 5.0, para geração, inicialmente, da linha base e posteriormente a criação dos transectos com um intervalo de 100 metros entre eles. Isso possibilitou o cálculo das taxas de recuo (*End Point Rate* - EPR e *Linear Regression Rate* - LRR), das taxas de mobilidade (*Net Shoreline Movement* - NSM) e das taxas de amplitude de variação da linha de costa (*Shoreline Change Envelope* - SCE).

3.1.2 Aquisição de dados

De forma prévia foram adquiridas gratuitamente imagens de satélite da série histórica LANDSAT pelo portal do USGS por meio das plataformas *Earth Explorer* e *GloVis*, e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com o objetivo de gerar um banco de imagens para análise multitemporal (com intervalo interdecadal) da área de estudo.

As imagens especificamente utilizadas nesse trabalho são previamente ortorretificadas com suas coordenadas corrigidas por meio de pontos de controle de terreno ou

Ground Control Points (GCP), mas quando se mostrou necessário o georreferenciamento das mesmas foi realizado, como no caso da imagem LANDSAT relativa ao ano de 1979.

Esses GCP são definidos como pontos da superfície da Terra usados para corrigir e georreferenciar imagens LANDSAT *Level-1*. Os GCP usados para correção de L1TP (*Terrain Precision Correction*) são derivados do conjunto de dados do *Global Land Survey 2000* (GLS2000). Esse conjunto de dados do GLS2000 foi criado como uma colaboração entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e o USGS de 2009 a 2011. Os dados LANDSAT incorporados em cada conjunto de dados GLS atendem aos padrões de qualidade e cobertura de nuvens (USGS, 2020). A Tabela 1, a seguir, apresenta os parâmetros gerais de processamento desse conjunto de dados adquiridos (USGS, 2019b).

Tabela 1 – Parâmetros das imagens GLS da série LANDSAT

<i>Parâmetros das imagens GLS-LANDSAT (Level 1)</i>	
<i>Resolução de dados</i>	30 metros (TM, ETM + e OLI) e 60 metros (MSS)
<i>Formato de dados</i>	GeoTIFF
<i>Reamostragem</i>	Convolução Cúbica (CC)
<i>Projeção</i>	<i>Mercator Transversal Universal</i> (UTM)
<i>Datum</i>	WGS84
<i>Orientação da imagem</i>	MAP (norte para cima)

Fonte: USGS (2019b).

A precisão do conjunto de dados chega a ser menor que um pixel (*root mean square error* – RMSE - ou erro médio quadrático de 25 metros em uma base por imagem), significando que a imagem é precisa para 30 metros ou menos (USGS, 2019a).

Para definição das datas das imagens LANDSAT foi observada a disponibilidade para download dos melhores períodos do ano, observando as condições inerentes ao seu imageamento – baixa cobertura de nuvens, épocas de estiagem e “emagrecimento” das praias (AMARO *et.al.*, 2012). Buscou-se datas com uma variação padrão de anos e meses aproximados com o intuito de homogeneizar as condições climáticas, diminuindo assim os possíveis erros associados a vetorização das linhas de costa (LC), como apontado na Tabela 2. Entretanto, vale ressaltar que as condições de maré são importantes para análise costeira e esses dados são disponibilizados por meio de tábuas de maré. Para as imagens com datas mais antigas trabalhadas nessa pesquisa, esses dados não estavam disponíveis, não sendo possível dessa forma controlar essa variável.

Tabela 2 – Imagens utilizadas no estudo desenvolvido

<i>Banco de Imagens LANDSAT</i>						
<i>Características das Imagens</i>				<i>Datas de Aquisição</i>		
<i>Satélite</i>	<i>Sensor</i>	<i>Órbita/Ponto</i>	<i>Resolução Espacial</i>	<i>Dia</i>	<i>Mês</i>	<i>Ano</i>
LANDSAT 2	MSS	232/063	80 m	10	AGOSTO	1979
LANDSAT 5	TM	216/063	30 m	9	AGOSTO	1989
LANDSAT 7	ETM+	216/063	30 m	13	AGOSTO	1999
LANDSAT 5	TM	216/063	30 m	1	SETEMBRO	2009
LANDSAT 8	OLI	216/063	30 m	12	AGOSTO	2019

Fonte: Autor (2021).

Dessa maneira foram escolhidas um total de 5 cenas com distância temporal de 10 anos entre cada uma, com os meses variando entre agosto e setembro sempre na primeira quinzena do mês, totalizando 40 anos de observação da área de estudo.

3.1.3 Processamento dos dados

Após a definição das imagens a serem utilizadas, passou-se à etapa efetiva do processamento dos dados, sendo esse o estágio de reconhecimento e delimitação das feições de interesse.

Composição colorida das imagens

Utilizou-se o limite terra/mar para demarcação da linha de costa, considerando a diferença das áreas submersas e emersas a partir do realce de tais aspectos. Adotou-se o sistema de cor *Red-Green-Blue* (RGB) com as bandas espectrais combinadas e manipuladas pelo histograma de contraste (AMARO *et.al.*, 2012; CAMARA, *et al.*, 2019; GRIGIO, *et al.*, 2005; PRUDÊNCIO, 2019; SILVA, 2015).

Os sensores da família LANDSAT têm diferenças na sua resolução espectral (Tabela 3), que levam a mudanças nas composições RGB e nos resultados de falsa cor das feições imageadas.

Tabela 3 – Faixas espectrais e resolução espacial dos sensores da família LANDSAT
Satélites LANDSAT

<i>Sensor</i>	<i>Banda</i>	<i>Comprimento de Onda (μm)</i>	<i>Região Espectral</i>	<i>Resolução Espacial</i>
<i>MSS</i>	4	0,5 - 0,6 μm	Verde	80 m
	5	0,6 - 0,7 μm	Vermelho	80 m
	6	0,7 - 0,8 μm	IR Próximo	80 m
	7	0,8 - 1,1 μm	IR Próximo	80 m
	8	10.41 - 12.6 μm	Termal	80 m
<i>TM</i>	1	0.45 - 0.52 μm	Azul	30 m
	2	0.52 - 0.60 μm	Verde	30 m
	3	0.63 - 0.69 μm	Vermelho	30 m
	4	0.76 - 0.90 μm	IR Próximo	30 m
	5	1.55 - 1.75 μm	IR Médio	30 m
	6	10.4 - 12.5 μm	IR Termal	120 m
	7	2.08 - 2.35 μm	IR Médio	30 m
<i>ETM+</i>	1	0.45 - 0.515 μm	Azul	30 m
	2	0.525 - 0.605 μm	Verde	30 m
	3	0.63 - 0.69 μm	Vermelho	30 m
	4	0.76 - 0.90 μm	IR Próximo	30 m
	5	1.55 - 1.75 μm	IR Médio	30 m
	6	10.4 - 12.5 μm	IR Termal	60 m
	7	2.09 - 2.35 μm	IR Médio	30 m
	8	0.52 - 0.90 μm	Pancromático	15 m
<i>OLI</i>	1	0.433 - 0.453 μm	Azul Costeiro	30 m
	2	0.450 - 0.515 μm	Azul	30 m
	3	0.525 - 0.600 μm	Verde	30 m
	4	0.630 - 0.680 μm	Vermelho	30 m
	5	0.845 - 0.885 μm	IR Próximo	30 m
	6	1.560 - 1.660 μm	IR Médio	30 m
	7	2.100 - 2.300 μm	IR Médio	30 m
	8	0.500 - 0.680 μm	Pancromático	15 m
	9	1.360 - 1.390 μm	<i>Cirrus</i>	30 m

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2021).

Após a realização de testes, algumas composições mostraram-se mais eficientes no destaque de áreas de transição entre areia seca e úmida. Dentre as composições realizadas nas diferentes datas adquiridas, as que apresentaram melhor resposta espectral dos alvos em

questão foram as composições com a razão de banda *Normalized Difference Water Index* (NDWI) no canal de cor azul.

O índice NDWI se baseia na razão simples da diferença pela soma dos comprimentos de onda do verde e do infravermelho (Equação 1) (MCFEETERS, 1996)

Equação 1 – Normalized Difference Water Index (NDWI), considerando os valores para verde e infravermelho

$$NDWI = \frac{(X_{green} - X_{nir})}{(X_{green} + X_{nir})}$$

Fonte: McFeeters (1996).

Já segundo Gao (1996) essa mesma razão pode ser entre a soma dos infravermelhos próximos e de ondas curtas pela diferença dos mesmos (Equação 2).

Equação 2 – Normalized Difference Water Index (NDWI), considerando os valores para infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas

$$NDWI = \frac{[\rho(0.86\mu m) - \rho(1.24\mu m)]}{[\rho(0.86\mu m) + \rho(1.24\mu m)]} \text{ ou } \frac{(X_{nir} - X_{swir})}{(X_{nir} + X_{swir})}$$

Fonte: Gao (1996).

A escolha da definição de NDWI utilizada nas imagens constituiu na finalidade principal da composição. De forma simplificada, segundo Pereira (2018), a razão índice publicada por Gao tem como propósito acentuar a umidade presente na vegetação, enquanto o método apresentado por McFeeters objetiva realçar a delimitação de feições hídricas do terreno. Nesta pesquisa, adotou-se a equação de McFeeters (1996), considerando-se como mais adequada para a delimitação da LC pelo limite seco-úmido das imagens.

Segundo McFeeters (1996) a opção pelo uso da faixa espectral do verde foi feita como estratégia para maximizar a reflectância típica da água, além de minimizar a baixa reflectância do infravermelho próximo em feições hídricas, em contraste com a alta reflectância do infravermelho próximo nas feições de vegetação e do solo terrestre.

Assim para cada sensor LANDSAT adotou-se as seguintes razões adaptadas para representação do índice NDWI, baseando-se na fórmula de McFeeters (Tabela 4).

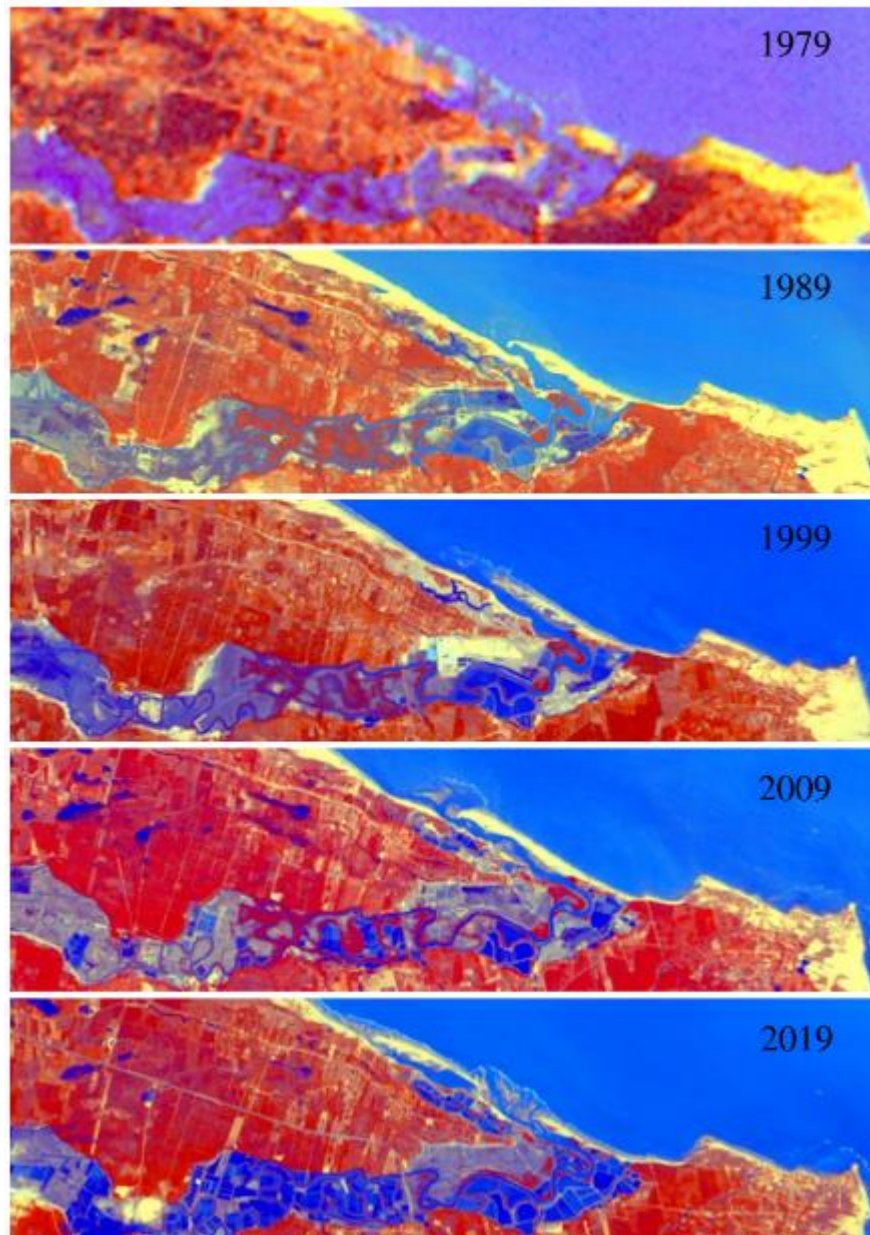
Tabela 4 – Correspondência de razões NDWI para cada sensor LANDSAT utilizado no estudo em questão

<i>Razões NDWI para Sensores LANDSAT</i>	
<i>LANDSAT 2 – MSS</i>	b4-b7 / b4+b7
<i>LANDSAT 5 – TM</i>	b2-b4 / b2+b4
<i>LANDSAT 7 – ETM+</i>	b2-b4 / b2+b4
<i>LANDSAT 8 – OLI</i>	b3-b5 / b3+b5

Fonte: Autor (2021).

Adotando esse índice ao canal de cor do azul ou Blue, juntamente as bandas espectrais do infravermelho e do verde respectivamente nos canais de cor Red e Green [R (Infravermelho Próximo) – G (Verde) – B (NDWI)], podemos observar uma diferenciação da LC baseada nas tonalidades próximas a amarelo (areia seca), amarelo azulado (areia úmida) e uma variação de azul marinho a anil (áreas com águas oceânicas), como indicado por Grigio et al. (2005) e Silva (2015) (Figura 6). Segundo Amaro et al. (2012), nessa combinação de bandas assumida [R (Infravermelho Médio) – G (Infravermelho Próximo) – B (Faixa do Visível)], a faixa referente ao infravermelho próximo favorece o delineamento de corpos d'água, enquanto a faixa do infravermelho médio auxilia na distinção entre corpos hídricos e áreas emersas, também entre os corpos hídricos e a vegetação.

Figura 6 – Delimitação da LC, em imagens da série LANDSAT, a partir da utilização do índice de vegetação para diferenciação de feições como areia úmida e águas oceânicas



Fonte: Autor (2021).

Em ambas as imagens dos sensores LANDSAT 5-TM e LANDSAT 7-ETM+ foi utilizada a composição R4-G2-B (NDWI) no sistema de cores *Red-Green-Blue* (RGB). Já nas imagens dos sensores LANDSAT 2-MSS e LANDSAT 8-OLI foram utilizadas, respectivamente, as composições R6-G4-B (NDWI) e R5-G3-B (NDWI) no mesmo sistema de cores.

Além das principais composições citadas, foram ainda realizados outros testes no sistema de cores RGB apresentados na Tabela 5. Onde para as imagens dos sensores

LANDSAT 5-TM e LANDSAT 7-ETM+, como suporte para a delimitação da LC, foi utilizada a composição R7-G4-B3; na imagem do sensor LANDSAT 2-MSS foi utilizada a composição R7-G6-B4 (usada por Amaro *et.al.*, 2012); e na imagem LANDSAT 8-OLI duas outras composições foram utilizadas, uma em R7-G4-B2 e outra em R7-G5-B2 - todas as composições no mesmo sistema de cores RGB.

Tabela 5 – Outras composições em RGB, testadas e utilizadas nas imagens da série LANDSAT, para delimitação da LC

<i>Composições LANDSAT</i>			
<i>Satélite</i>	<i>Sensor</i>	<i>Ano</i>	<i>Composições</i>
<i>LANDSAT 2</i>	MSS	1979	R(6) G(4) B(NDWI) R(7) G(6) B(4)
<i>LANDSAT 5</i>	TM	1989	R(4) G(2) B(NDWI) R(7) G(4) B(3)
<i>LANDSAT 7</i>	ETM+	1999	R(4) G(2) B(NDWI) R(7) G(4) B(3)
<i>LANDSAT 5</i>	TM	2009	R(4) G(2) B(NDWI) R(7) G(4) B(3)
<i>LANDSAT 8</i>	OLI	2019	R(5) G(3) B(NDWI) R(7) G(5) B(2) R(7) G(4) B(2)

Fonte: Autor (2021).

Setorização de áreas

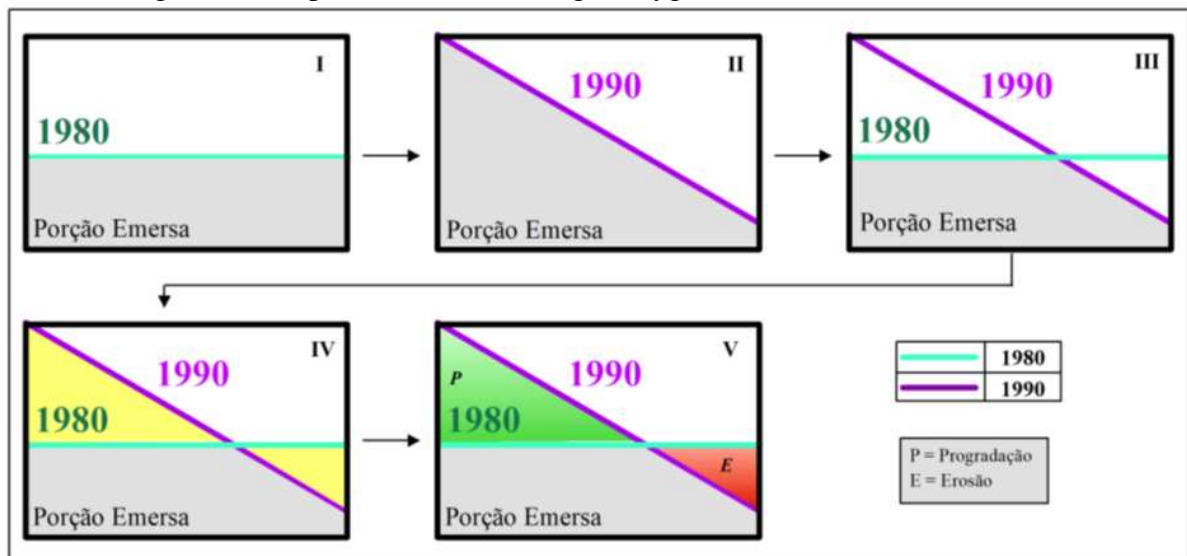
Após obter o destaque das feições submersas e emersas através do processo de composição colorida, iniciou-se a aplicação dos métodos *Change Polygon* e DSAS.

Para a aplicação do método *Change Polygon*, também chamado de diferença de polígono, utilizou-se a área total do município de Beberibe já disponibilizada em planos de informação em formato *shapefile* (tipo polígono) pelo site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). Toda a base providenciada, assim como os mapas posteriormente elaborados, estão no mesmo sistema geodésico e de projeção das imagens de satélite utilizadas (WGS84 – UTM – Zona 24S).

O *shape* do município foi adaptado em função das datas escolhidas, sendo alterada ou “re-vetorizada” somente as faixas de praia. Esse aproveitamento de vetor foi feito com o intuito de manter a configuração original do município (limites municipais) e evitar alterações significativas nos valores de área que não remetem a esta pesquisa.

As interseções geométricas dos polígonos gerados representam áreas de erosão/deposição (Figura 7), que permitem a visualização e a análise quantitativa do balanço sedimentar do período trabalhado, em termos de área, classificadas na forma de polígonos de deposição, de erosão e de estabilidade, sempre em relação ao polígono inicial (AMARO *et al.*, 2012 e SMITH; CROMLEY, 2012). Essas variações permitiram a identificação dos setores com modificações mais significativas ao longo do período em análise e posterior cálculo do balanço sedimentar através da razão simples A/E, que considera os valores de acreção e erosão para respectiva data em análise. Valores menores que 1 encontrados para razão A/E foram classificados como negativos, enquanto valores maiores que 1 foram dados como positivos na definição do balanço sedimentar por setores.

Figura 7 – Etapas do método Change Polygon



Fonte: adaptado de Moura (2017).

Foram gerados um total de 5 mapas de erosão/deposição interdecadais (1979-1989 / 1989-1999 / 1999-2009 / 2009-2019 / 1979-2019) para análise do balanço sedimentar do município de Beberibe.

Posterior a esse processo foi realizada uma setorização do município a fim de facilitar a análise dos dados gerados, já que o mesmo conta com 52 km de área costeira. A delimitação dos setores deu-se baseada nas características e/ou feições geomorfológicas

observadas nas imagens de satélite e ainda pela análise de setores com possíveis “hot spots” ou pontos de interesse.

Após definida essa setorização, as LC utilizadas para o *Change Polygon* foram transformadas em *shapefiles* tipo linha, onde cada vetor confeccionado correspondeu a uma data específica da imagem interpretada, visando uma integração desses vetores para diagnóstico interdecadal, agora realizado por meio do *software* DSAS.

Cálculo de taxas de variação das linhas de costa

Para a aplicação do DSAS, foi necessária a criação de uma linha arbitrária ou *baseline onshore* (*shapefile* do tipo linha). Todos esses vetores foram igualmente inseridos na mesma base de dados digitais georreferenciados, favorecendo o posterior cálculo da variação temporal por meio de taxas.

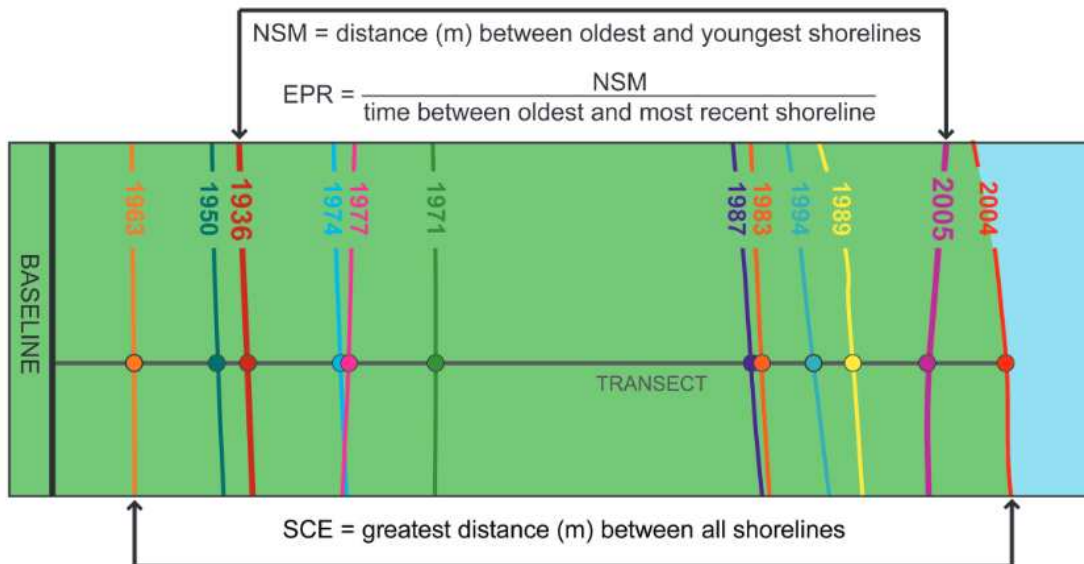
Essa extensão do *software* ArcGIS® funciona como uma ferramenta através da qual se processam cálculos estatísticos. Para calcular as taxas, foi necessário inicialmente a definição dos parâmetros de criação dos transectos gerados pela ferramenta DSAS, a saber: (i) *baseline* do tipo *onshore*; (ii) transectos com espaçamento a cada 100 metros e extensão variando entre 500 e 1.300 m, dependendo da feição morfológica da linha de costa; (iii) direção auto detectada; (iv) incerteza de ± 30 metros; (v) em caso de interseção entre os transectos, foi elegido o mais distante, com distância de suavização da ordem de 100.

Os métodos estatísticos analisados nesse trabalho foram: EPR (m/ano), SCE (m) e o NSM (m). Segue uma breve descrição de cada um, segundo Himmelstoss et al. (2018a) (Figura 8):

- (1) *End Point Rate* (EPR) – essa taxa é obtida através da divisão entre as distâncias das linhas mais antiga e mais recente pelo tempo decorrido entre elas. Dessa maneira obtemos a taxa de variação da linha de praia ao longo de um intervalo de tempo expressa em metros/ano.
- (2) *Shoreline Change Envelope* (SCE) – é a distância entre as linhas de costa mais próxima e mais distante da linha de base ou *baseline*, independente das datas. Esse valor pode ser considerado como a amplitude de variação, e é expressa em metros.
- (3) *Net Shoreline Movement* (NSM) – também chamada de mobilidade, é a distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente no período analisado, e é expressa em metros.

Todos esses resultados foram espacializados em *shapefiles* de pontos, utilizando tabelas de cores, indicando variações da linha de costa, a depender do método em questão.

Figura 8 – Ilustração dos parâmetros estatísticos utilizados no respectivo trabalho. Temos a linha de base (preto), transecto (cinza) e linha de costa e dados de interseção (multicolor)

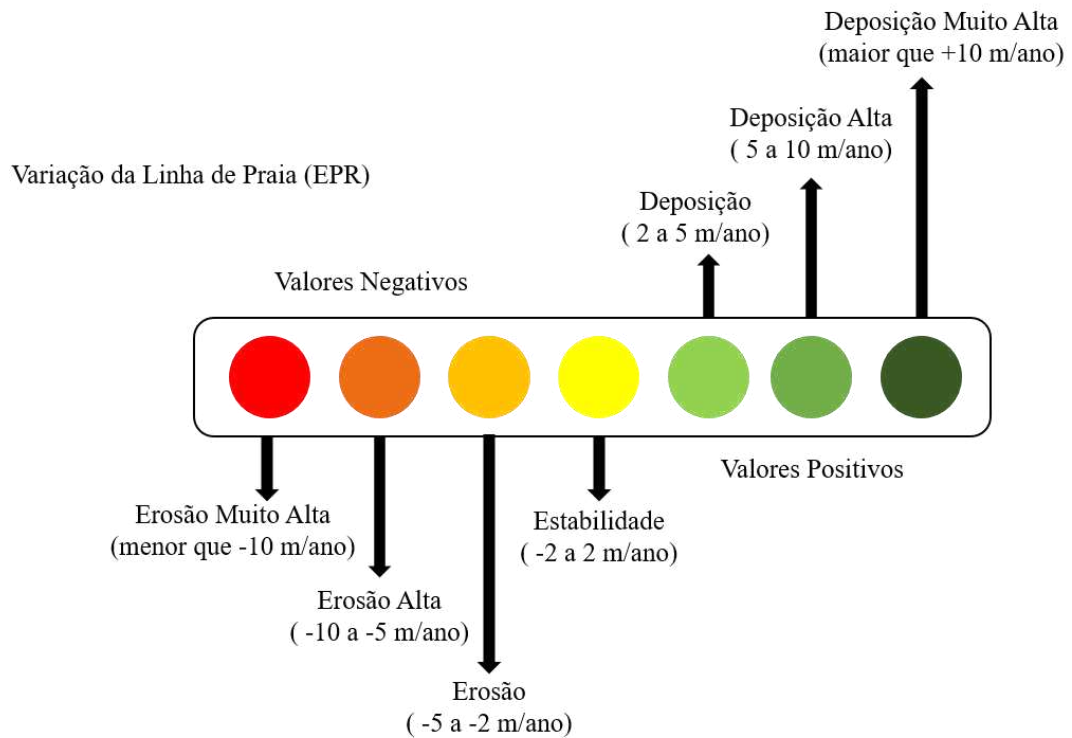


Fonte: Himmelstoss et al. (2018a).

Foram utilizadas ainda três classificações distintas com a finalidade de promover a observação dos dados espacializados e assim ressaltar as áreas com valores máximos e mínimos de erosão e/ou deposição associados ao estudo. Tais classificações foram adaptadas conforme os valores gerados pela ferramenta DSAS levando em consideração os métodos estatísticos com maior relevância para o município em estudo.

Para os valores de EPR (Figura 9), esses relacionados à taxa de variação da linha de praia, foram definidas 7 classes principais, sendo essas adaptadas de Amaro *et.al.* (2012) e Prudêncio (2019). A primeira classificação foi compartimentada em (i) erosão muito alta (valores abaixo de -10 m/ano); (ii) erosão alta (-10 m/ano a -5 m/ano); (iii) erosão (-5 m/ano a -2 m/ano); (iv) estabilidade (-2 m/ano a 2 m/ano); (v) deposição (2 m/ano a 5 m/ano); (vi) deposição alta (5 m/ano a 10,0 m/ano) e (vii) deposição muito alta (valores acima de 10 m/ano).

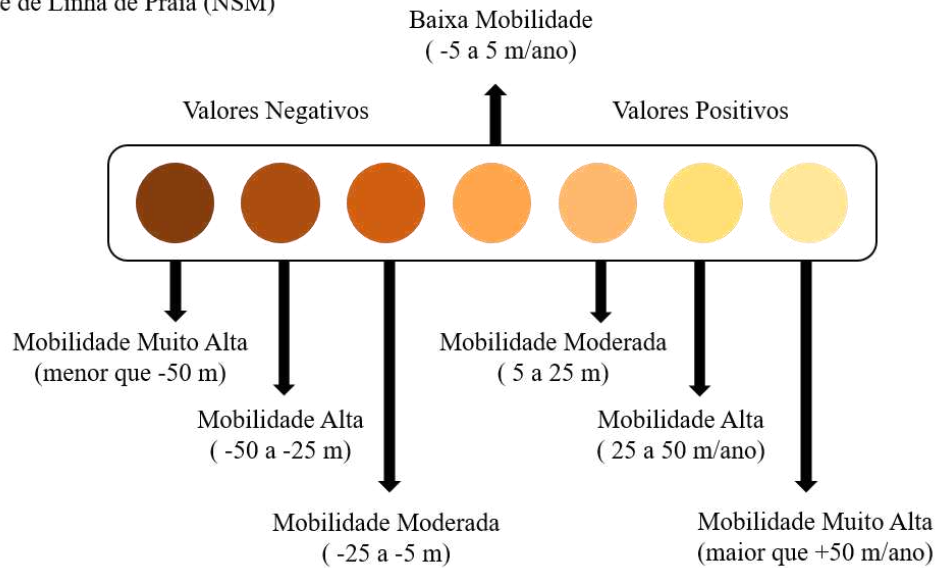
Figura 9 – Valores e classes para a taxa de EPR definidos na pesquisa



Fonte: Autor (2021).

As classes referentes aos valores de NSM (Figura 10), relacionados à mobilidade da linha de praia, estão divididas em (i) mobilidade muito alta negativa (valores menores que -50 m); (ii) mobilidade alta negativa (-50 m a -25 m); (iii) mobilidade moderada negativa (-25 m a -5 m); (iv) baixa mobilidade (-5 m a 5 m); (v) mobilidade moderada positiva (5 m a 25 m); (vi) mobilidade alta positiva (25 m a 50 m) e (vii) mobilidade muito alta positiva (valores maiores que 50 m), totalizando 7 classes.

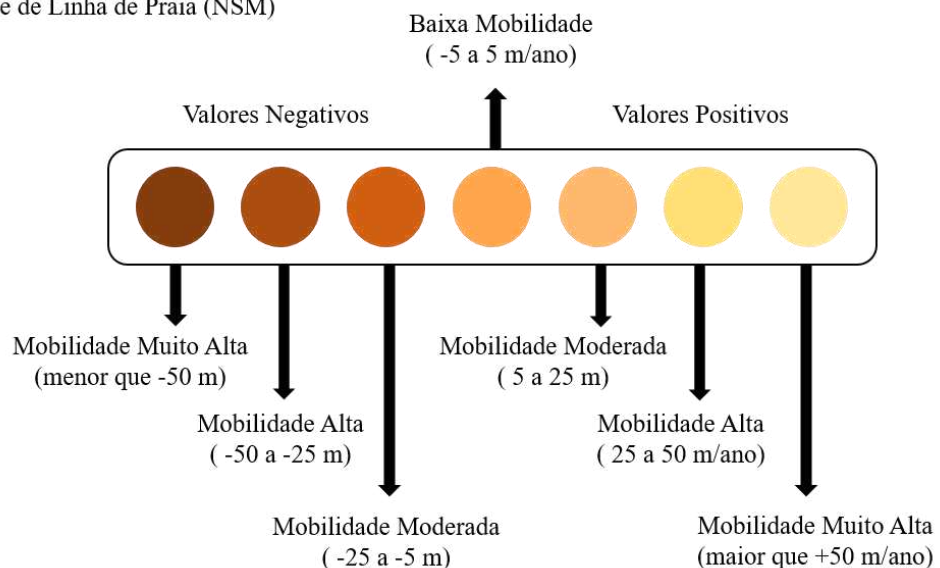
Figura 10 – Valores e classes para a taxa de NSM definidos na pesquisa
Mobilidade de Linha de Praia (NSM)



Fonte: Autor (2021).

Os valores encontrados para amplitude de variação da linha de praia, ou também chamada de taxa SCE (Figura 11), foram divididos em 5 classes principais: (i) amplitude de variação muito baixa (0 a 50 m); (ii) amplitude de variação baixa (50 m a 100 m); (iii) amplitude de variação moderada (100 m a 150 m); (iv) amplitude de variação alta (150 m a 200 m) e (v) amplitude de variação muito alta (valores acima de 200 m). As duas últimas classificações foram igualmente adaptadas de estudos realizados por Amaro *et al.* (2012), Busman *et al.* (2013) e Prudêncio *et al.* (2019).

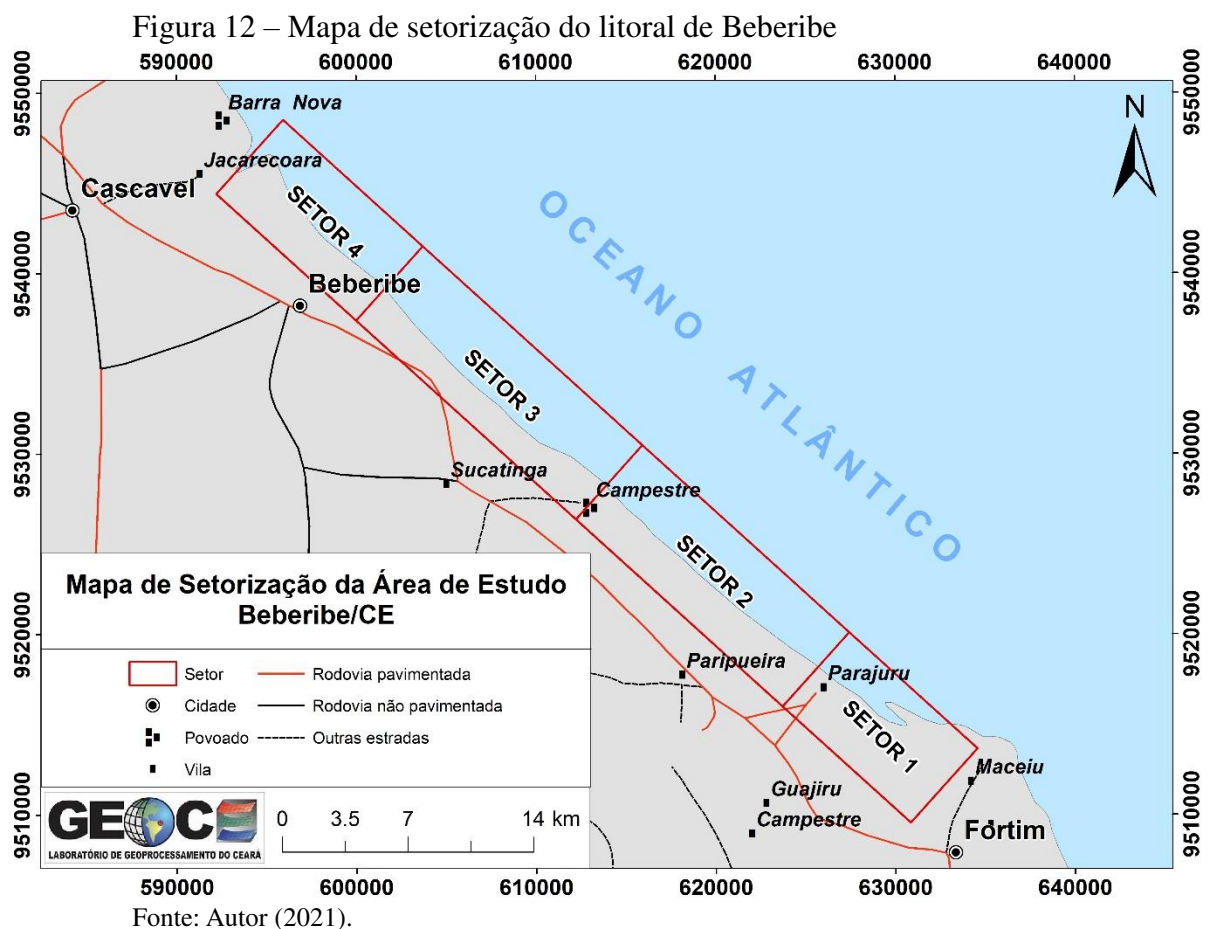
Figura 11 – Valores e classes para a taxa de SCE definidos na pesquisa
Mobilidade de Linha de Praia (NSM)



Fonte: Autor (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a delimitação da LC pela vetorização das imagens de satélite, foi possível a geração de 4 setores principais de análise, esses definidos de maneira empírica a partir da verificação das características morfológicas evidentes ao longo da linha de praia observada (Figura12).



Essa setorização permitiu a investigação de possíveis pontos de interesse ou “hot spots” erosivos e/ou deposicionais presentes por toda extensão da faixa costeira do município de Beberibe. Características particulares tanto erosivas quanto deposicionais de cada setor foram ressaltadas ao serem analisadas de maneira independente do restante da área de estudo/do litoral do município. Os resultados completos, da análise dos 40 anos de pesquisa, seguem expostos para cada setor a seguir.

4.1 Análises morfológicas em escala interdecadal para o SETOR 1

O setor de estudo 1 foi delimitado a sudeste no litoral do município de Beberibe, estendendo-se para o território do município de Fortim, para contemplar as feições da LC que participam efetivamente da dinâmica presente naquele trecho. As coordenadas do polígono estão apresentadas na Tabela 6, com um total de 11,08 km de extensão de LC considerando a imagem LANDSAT referente ao ano de 2019.

Tabela 6 – Coordenadas que delimitam o polígono do Setor 1. Em Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 24S

<i>Leste (m)</i>	<i>Norte (m)</i>
623.714,74	9.515.977,32
627.426,10	9.520.087,75
634.555,50	9.513.650,53
630.844,13	9.509.540,09

Fonte: Autor (2021).

Esse setor engloba as praias de Parajuru e Gambôa em Beberibe, Pontal de Pirangi e praia das Agulhas em Fortim. Apresenta as seguintes feições morfológicas: a foz do rio Pirangi, o spit arenoso adjacente à desembocadura, e o promontório associado à praia em forma de baía. Ao longo do período estudado, deu-se a formação e migração do spit arenoso, que atravessou o limite dos municípios, principalmente a partir dos anos 2000, pela erosão da praia das Agulhas.

Para o Setor 1 os valores de área encontrados nas análises interdecadais, através do método de diferença de polígonos, estão apresentados na Tabela 7. O balanço sedimentar total (1979-2019) mostrou-se positivo, com o valor de 1,20 para a razão A/E. Já os valores encontrados para áreas de erosão e deposição total foram respectivamente 0,99 km² e 1,19 km².

Para o período de 1979-1989 foi observado um valor significativamente maior para a razão de A/E quando comparada a outras décadas analisadas no setor. O respectivo período de análise apresenta maiores incertezas associadas, e isso ocorre em função da resolução espacial da imagem de 1979. Foram encontradas variações bem superiores à resolução espacial da imagem utilizada, tratando-se, portanto de um resultado relevante. O cálculo para balanço sedimentar alcançou o valor de 20,5, enquanto os valores de área encontrados foram de 0,08 km² para erosão e 1,64 km² para deposição. Esses valores encontrados estão relacionados com o desenvolvimento mais efetivo do spit arenoso, localizado próximo à foz do rio Pirangi, entre os anos de 1979-1989 (Figura 13).

Tabela 7 – Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 1, com valores determinados através do método Change Polygon

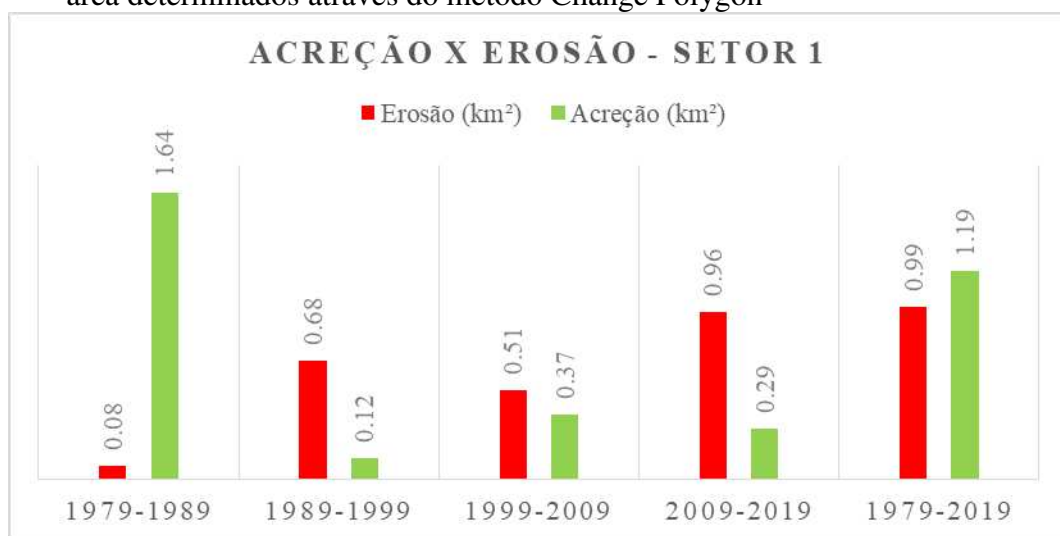
<i>Balanço Sedimentar - SETOR 1</i>					
<i>Período</i>	1979-1989	1989-1999	1999-2009	2009-2019	1979-2019
<i>Erosão (km²)</i>	0,08	0,68	0,51	0,96	0,99
<i>Acreção (km²)</i>	1,64	0,12	0,37	0,29	1,19
<i>Razão A/E</i>	20,5	0,18	0,73	0,30	1,20
<i>Classificação</i>	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo

Fonte: Autor (2021).

As décadas seguintes (1989-1999; 1999-2009 e 2009-2019) apresentaram um balanço sedimentar negativo, confirmando tendências mais erosivas do que deposicionais após o desenvolvimento do *spit* no Setor 1 (Gráfico 1). Podemos relacionar esses valores ao deslocamento do *spit* ao longo da linha de costa, não associado somente ao processo de “engorda” sedimentar do mesmo.

Para o ano de 1989-1999 as áreas costeiras apresentaram perdas com valores de 0,68 km² e ganhos com valores de 0,12 km². Já entre os anos de 1999-2009 as áreas de perda totalizaram 0,51 km², enquanto as áreas de ganho apresentaram o valor de 0,37 km² para o mesmo ano. Entre 2009-2019 o valor encontrado para áreas erodidas foi de 0,96 km² e para as áreas de acreção foi de 0,29 km².

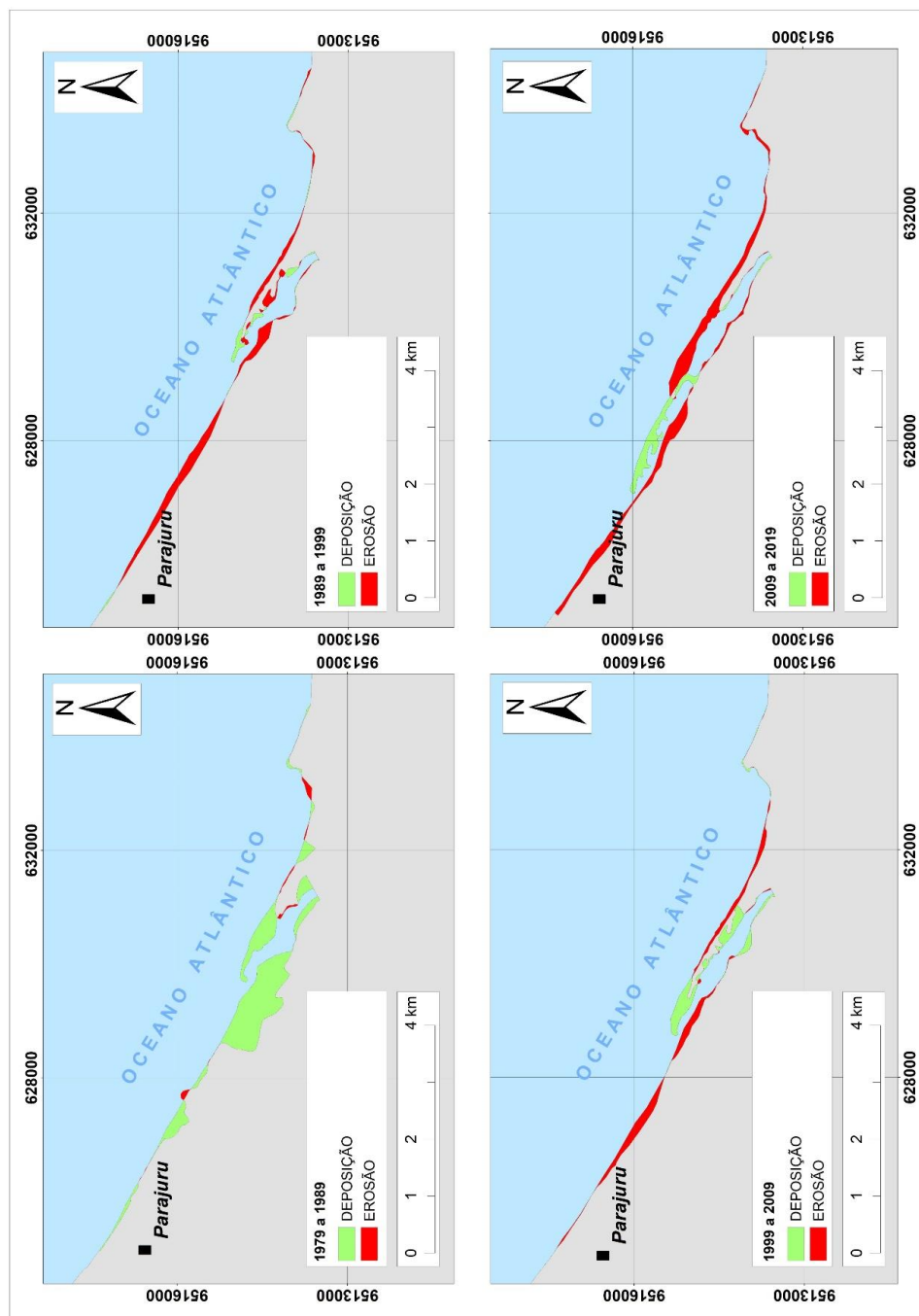
Gráfico 1 – Gráfico de Acreção X Erosão para o Setor 1, com valores de área determinados através do método Change Polygon



Fonte: Autor (2021).

Toda essa dinâmica de movimentação do *spit* arenoso de um município a outro pôde ser observada pela utilização do método *Change Polygon* (Figura 13). O trecho mais exposto à incidência das ondas difratadas pelo promontório sofreu processo intensificado de retirada de sedimentos, carregados pela corrente de deriva que se movimenta para oeste, acumulando-se à jusante, formando o novo *spit* em Beberibe e deixando uma pequena ponta em Fortim.

Figura 13 – Análise de Change Polygon para o Setor de estudo 1, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019



Fonte: Autor (2021).

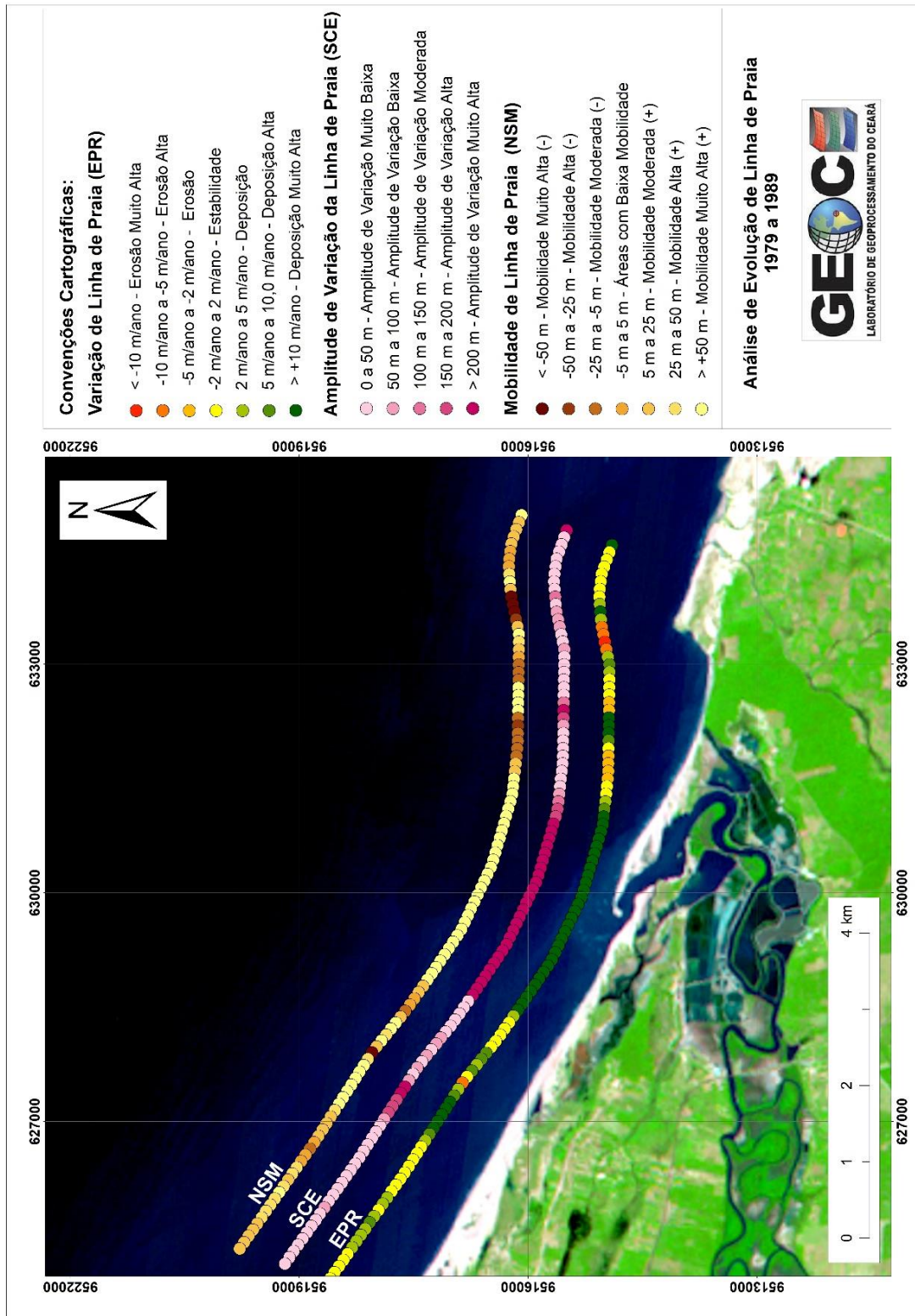
Considerando os dados fornecidos pela ferramenta DSAS, temos uma variação na quantidade de transectos gerados para Setor 1. Essa variação quantitativa dos transectos gerados através dos anos analisados dá-se devido à característica dinâmica do Setor 1.

Para o Setor 1, no período de 1979-1989, a ferramenta DSAS gerou 106 transectos, os quais estão classificados para a taxa de EPR em: 4 % erosão alta, 6% erosão, 32% estabilidade, 15% deposição, 8% deposição alta e 35% deposição muito alta. Podemos perceber que grande parte dos transectos apresenta um comportamento positivo para as taxas referentes à variação da linha de praia (EPR) na década analisada (Figura 14). A média simples encontrada para os valores de EPR chegou a 18,27 m/ano.

Referente ainda ao período de 1979-1989, temos os seguintes valores determinados para a taxa de NSM (Figura 14): 4% mobilidade muito alta (positiva), 2% mobilidade alta (positiva), 9% mobilidade moderada (positiva), 8% baixa mobilidade, 22% mobilidade moderada (negativa), 11% mobilidade alta (negativa) e 43% mobilidade muito alta (negativa). A média simples dos valores encontrados para a taxa de mobilidade da linha de praia (NSM) em questão foi de 182,63 m.

Nessa década de análise, as maiores variações da linha de costa estão relacionadas aos processos deposicionais associados a formação do *spit* arenoso e à jusante dele, no mesmo sentido da deriva litorânea. Já as maiores mobilidades estão associadas a erosão do promontório presente no município de Fortim somado ao *spit* arenoso.

Figura 14 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 1979-1989, com imagens ao fundo de 1989



Fonte: Autor (2021).

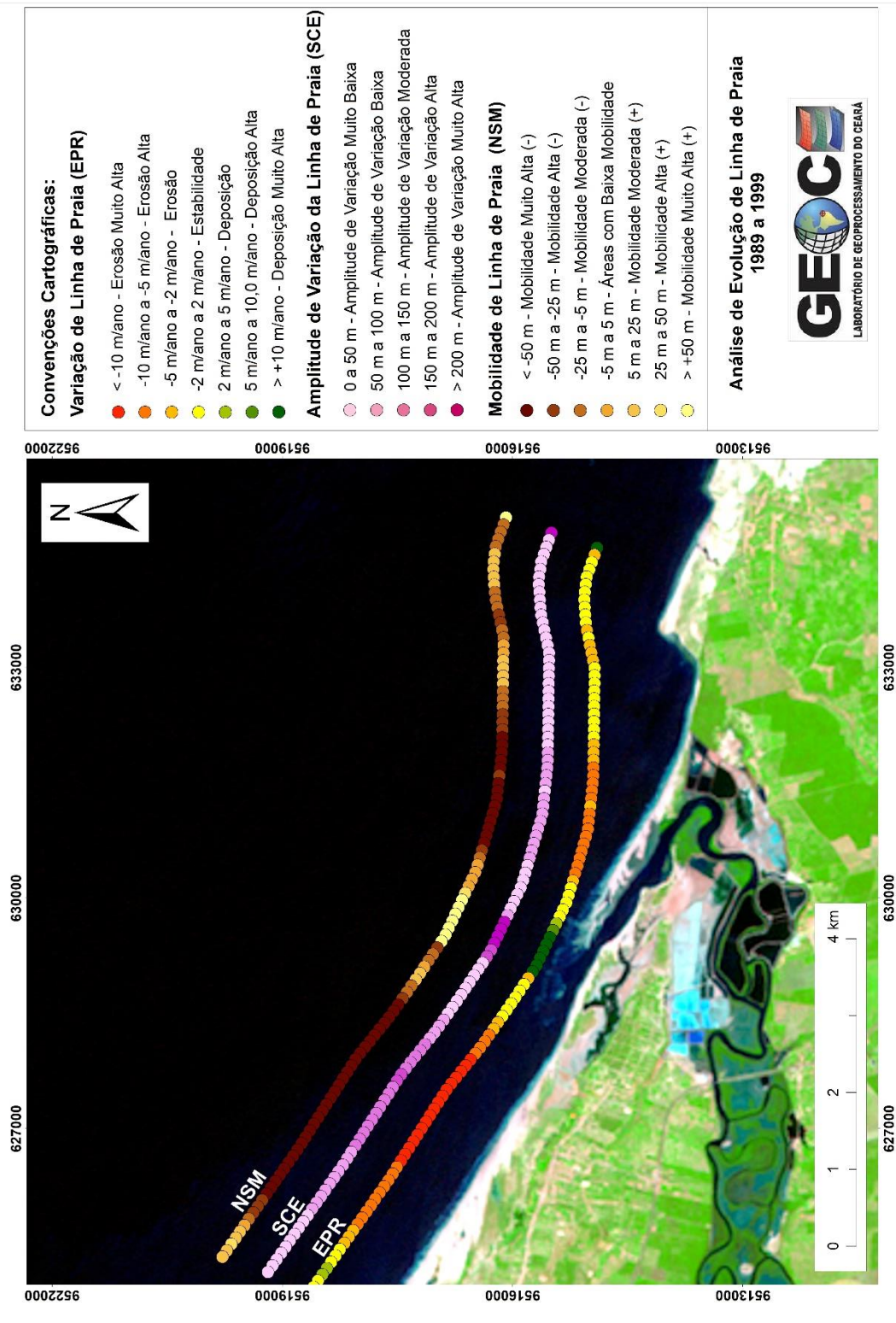
Para a taxa de SCE, os valores encontrados na década de 1979-1989 (Figura 14) foram: 26% amplitude de variação muito alta, 6% amplitude de variação alta, 3% amplitude

de variação moderada, 12% amplitude de variação baixa e 53% amplitude de variação muito baixa. O valor médio calculado para a amplitude de variação da linha de praia (SCE) foi de 193,95 m.

Entre os anos de 1989-1999 (Figura 15) foram gerados 106 transectos para o Setor 1, onde os valores apresentados para EPR são: 16% erosão muito alta, 26% erosão alta, 15% erosão, 34% estabilidade, 3% deposição, 1% deposição alta e 5% deposição muito alta. No mesmo ano foram encontrados valores para NSM de: 42% mobilidade muito alta (positiva), 11% mobilidade alta (positiva), 17% mobilidade moderada (positiva), 8% baixa mobilidade, 14% mobilidade moderada (negativa), 2% mobilidade alta (negativa) e 6% mobilidade muito alta (negativa). A taxa SCE, para a mesma década, apresentou valores de: 3% amplitude de variação muito alta, 4% amplitude de variação alta, 14% amplitude de variação moderada, 27% amplitude de variação baixa e 52% amplitude de variação muito baixa. Os valores médios encontrados para as taxas geradas no ano de 1989-1999 foram de -3,25 m/ano para a taxa de EPR, 59,35 m para a taxa de SCE e -32,50 m para a taxa de NSM.

Novamente, a mobilidade da LC parece estar mais relacionada com os trechos sob erosão, principalmente à jusante do *spit* arenoso e da foz do rio Pirangi, evidenciando ação do deságue do rio. A amplitude continua diretamente relacionada à deposição da ponta do *spit* arenoso.

Figura 15 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 1989-1999, com imagens ao fundo de 1999



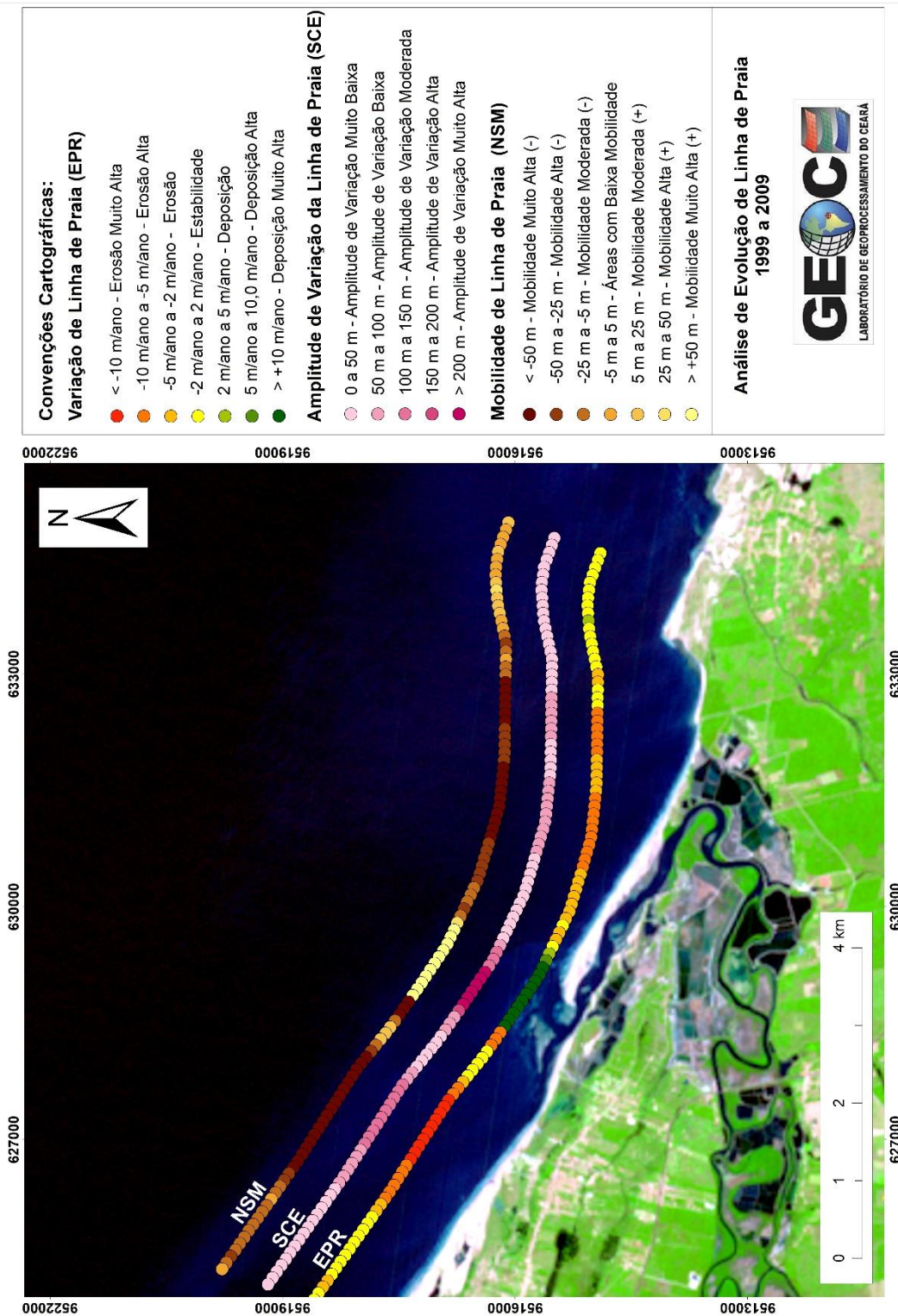
Fonte: Autor (2021).

A partir dos 108 transectos gerados para a década de 1999-2009 (Figura 16), os seguintes valores para EPR foram encontrados: 9% erosão muito alta, 25% erosão alta, 19%

erosão, 34% estabilidade, 2% deposição, 1% deposição alta e 9% deposição muito alta. Para NSM, os valores foram de: 34% mobilidade muito alta (positiva), 16% mobilidade alta (positiva), 19% mobilidade moderada (positiva), 10% baixa mobilidade, 8% mobilidade moderada (negativa), 2% mobilidade alta (negativa) e 10% mobilidade muito alta (negativa). Já para SCE, os valores encontrados foram: 6% amplitude de variação muito alta, 1% amplitude de variação alta, 12% amplitude de variação moderada, 26% amplitude de variação baixa e 56% amplitude de variação muito baixa. Entre os anos de 1999-2009 os valores médios encontrados para as taxas calculadas são de -1,30 m/ano para EPR, de 62,45 m para SCE e de -13,04 m para NSM.

Essa década aparenta continuidade mais atenuada dos processos observados na década anterior, como evidenciado na análise do *Change Polygon*. Nesse período de tempo, o promontório de Fortim apresentou maior estabilidade, enquanto o *spit* arenoso continua se deslocando ao longo do tempo. Possivelmente os sedimentos remobilizados durante esse período, podem ter contribuído ou favorecido a única década em que o balanço sedimentar foi positivo no Setor 2 de análise.

Figura 16 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 1999-2009, com imagens ao fundo de 2009



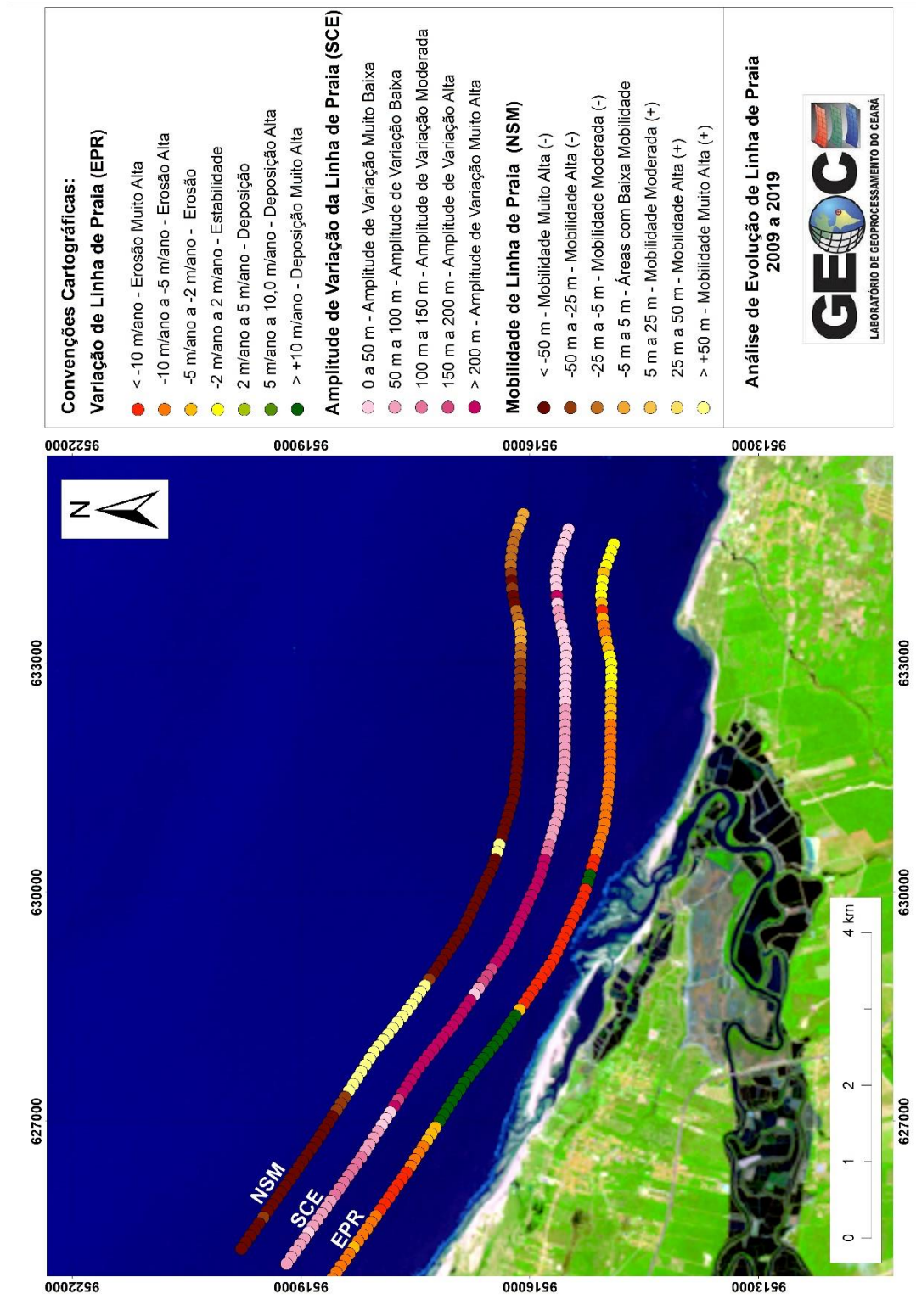
Fonte: Autor (2021).

Na década de 2009-2019 (Figura 17), a análise realizada para os 105 transectos gerados apresentou valores para EPR de: 26% erosão muito alta, 33% erosão alta, 13%

erosão, 11% estabilidade e 16% deposição muito alta. Já para a taxa NSM, os valores foram de: 59% mobilidade muito alta (positiva), 10% mobilidade alta (positiva), 9% mobilidade moderada (positiva), 6% baixa mobilidade e 16% mobilidade muito alta (negativa). Enquanto para SCE, os valores encontrados chegaram à: 30% amplitude de variação muito alta, 4% amplitude de variação alta, 9% amplitude de variação moderada, 33% amplitude de variação baixa e 25% amplitude de variação muito baixa. As médias simples calculadas para as taxas foram de -6,58 m/ano para a taxa de EPR, enquanto para valores de SCE e NSM foram de 154,1 m e de -65,43 m, respectivamente.

Essa década de análise foi a que apresentou maior intensificação dos processos erosivos no Setor 1, com o rompimento do trecho mais alongado do spit arenosos e formação de possíveis canais de maré. Pode-se observar a ponta do spit evoluindo, talvez, para uma ilha-barreira. É possível uma abertura para discussão de fatores como o avanço das construções antrópicas nas margens do rio Pirangi, principalmente relacionadas aos tanques de carcinicultura, esse podem ter promovido a fixação do pós-praia ou de alguma margem da desembocadura.

Figura 17 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 2009-2019, com imagens ao fundo de 2019



Fonte: Autor (2021).

Os valores expostos na Tabela 8 de acordo com as taxas calculadas (EPR, NSM e SCE), evidenciam uma maior transgressão da LC entre a primeira década de análise do Setor

1 (1979-1989), possivelmente ocasionado pelo aparecimento e desenvolvimento do *spit* arenoso presente na área. Já a análise realizada entre as décadas de 1989-1999, 1999-2009 e 2009-2019 indicou um comportamento retrogradante da LC, com posterior deslocamento e redirecionamento no sentido E-W do *spit* arenoso presente na foz do rio Pirangi.

Tabela 8 – Transectos gerados no Setor 1, com valores determinados através das estatísticas EPR, NSM e SCE

(EPR)	Erosão muito alta		Erosão alta		Erosão			
	Transectos	%	Transectos	%	Transectos	%		
1979/1989	0	0%	4	4%	6	6%		
1989/1999	17	16%	28	26%	16	15%		
1999/2009	10	9%	27	25%	21	19%		
2009/2019	27	26%	35	33%	14	13%		
1979 a 2019	0	0%	14	14%	19	18%		
	Estabilidade		Deposição		Deposição alta		Deposição muito alta	
	Transectos	%	Transectos	%	Transectos	%	Transectos	%
1979/1989	34	32%	16	15%	9	8%	37	35%
1989/1999	36	34%	3	3%	1	1%	5	5%
1999/2009	37	34%	2	2%	1	1%	10	9%
2009/2019	12	11%	0	0%	0	0%	17	16%
1979 a 2019	32	31%	14	14%	9	9%	15	15%

(NSM)	Regressão muito alta		Regressão alta		Regressão moderada			
	Transectos	%	Transectos	%	Transectos	%		
1979/1989	4	4%	2	2%	10	9%		
1989/1999	45	42%	12	11%	18	17%		
1999/2009	37	34%	17	16%	21	19%		
2009/2019	62	59%	11	10%	9	9%		
1979 a 2019	41	40%	4	4%	11	11%		
	Baixa mobilidade		Transg. moderada		Transg. alta		Transg. muito alta	
	Transectos	%	Transectos	%	Transectos	%	Transectos	%
1979/1989	9	8%	23	22%	12	11%	46	43%
1989/1999	8	8%	15	14%	2	2%	6	6%
1999/2009	11	10%	9	8%	2	2%	11	10%
2009/2019	6	6%	0	0%	0	0%	17	16%
1979 a 2019	2	2%	4	4%	1	1%	40	39%

(SCE)	Altíssima (> 200m)		Alta (150 a 200m)		Moderada (100 a 150m)		Baixa (50 a 100m)		Muito baixa (0 a 50m)	
	Transectos	%	Transectos	%	Transectos	%	Transectos	%	Transectos	%
1979/1989	28	26%	6	6%	3	3%	13	12%	56	53%
1989/1999	3	3%	4	4%	15	14%	29	27%	55	52%
1999/2009	6	6%	1	1%	13	12%	28	26%	60	56%
2009/2019	31	30%	4	4%	9	9%	35	33%	26	25%
1979 a 2019	64	62%	7	7%	10	10%	10	10%	12	12%

Fonte: Autor (2021).

4.2 Análises morfológicas em escala interdecadal para o SETOR 2

O setor de estudo 2 foi delimitado a noroeste do município de Beberibe, quando comparado ao Setor de estudo 1, apresentando um total de 15,56 km de extensão de linha de costa considerando o ano de 2019. As coordenadas do polígono delimitante do Setor 2 estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Coordenadas que delimitam o polígono do Setor 2. Em Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 24S

<i>Leste (m)</i>	<i>Norte (m)</i>
623.714,74	9.515.977,32
612.217,02	9.526.358,75
615.928,38	9.530.469,19
627.426,10	9.520.087,75

Fonte: Autor (2021).

O Setor 2 abriga em seus limites as praias de Canto Verde, Ariós, Piquiri além da Reserva Extrativista Prainha do Canto Verde (Resex Prainha do Canto Verde), uma unidade de conservação federal do tipo Reserva Extrativista, categorizada com bioma do tipo marinho costeiro.

Ao analisarmos o Setor 2 a partir do método *Change Polygon*, podemos observar o predomínio dos processos relacionados a retrogradação da linha de costa (Figura 18), ocasionando um balanço sedimentar total negativo (Gráfico 2) com valores de acreção em 0,04 km² e de erosão em 0,79 km². O destaque compreende o intervalo entre os anos 1999-2009 a qual apresentou uma tendência contrária, com o leve predomínio de progradação da LC. Foi a única data a apresentar um balanço sedimentar positivo para o setor em questão, com um valor para acreção de 0,22 km² (Tabela 10). A única razão positiva observada para o setor, e pouco expressiva, pode ter relação com sedimentos oriundos do Setor 1, que no mesmo período já estava sob processo de erosão.

Tabela 10 – Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 2, com valores determinados através do método Change Polygon

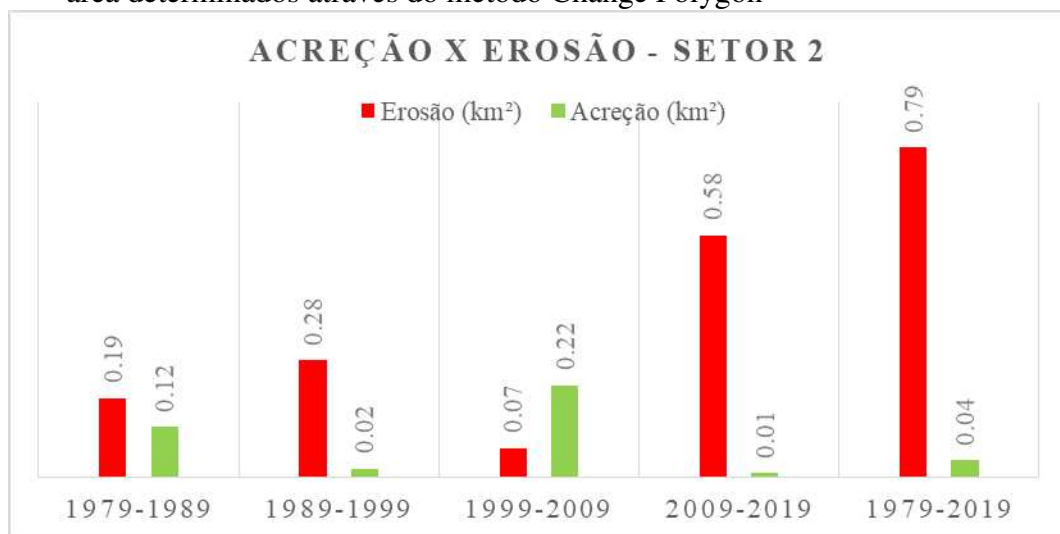
<i>Balanço Sedimentar - SETOR 2</i>					
<i>Período</i>	1979-1989	1989-1999	1999-2009	2009-2019	1979-2019
<i>Erosão (km²)</i>	0,19	0,28	0,07	0,58	0,79
<i>Acreção (km²)</i>	0,12	0,02	0,22	0,01	0,04
<i>Razão A/E</i>	0,63	0,07	3,14	0,02	0,05
<i>Classificação</i>	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo	Negativo

Fonte: Autor (2021).

Como descrito na tabela 10, para o intervalo de 1979-1989, temos o valor de erosão em 0,19 km² e acreção em 0,12 km², totalizando um valor para o balanço sedimentar de 0,63 km². O valor de erosão obtido para o intervalo entre os anos de 1989-1999 foi de 0,28 km², enquanto o valor de acreção foi de 0,02 km². A razão entre os valores resultou em um balanço sedimentar classificado novamente como negativo, com valor de 0,07 km² para o respectivo intervalo (Tabela 10). Entre os anos de 2009-2019 observaram-se ainda os valores de 0,58 km² para erosão e 0,01 km² para acreção, com um balanço sedimentar negativo no valor de 0,02 km², acompanhando uma tendência erosiva no mesmo período, quando comparado ao Setor 1.

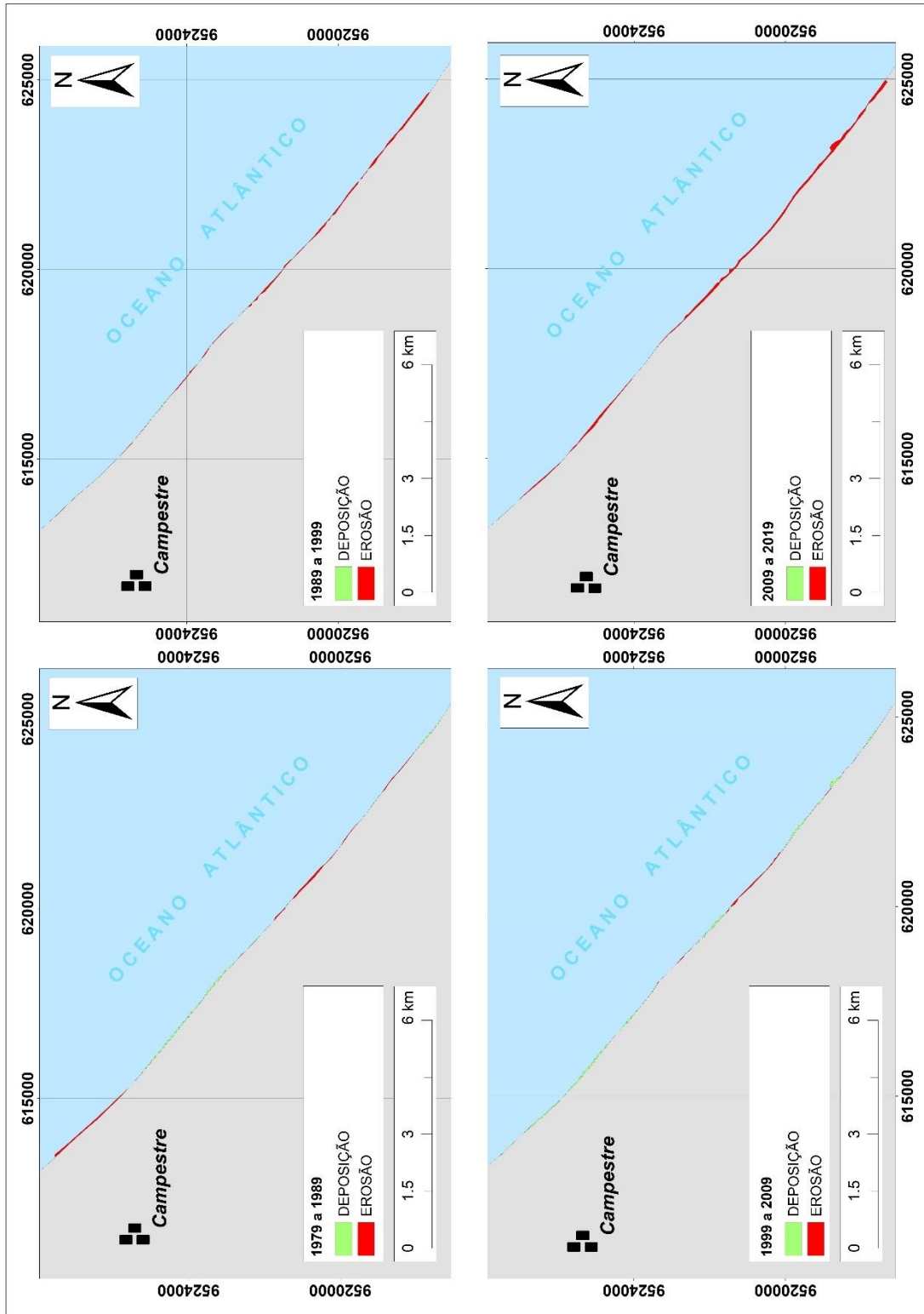
Vale a pena ressaltar que as variações observadas no setor de estudo em questão são sutis, quando comparadas a outros setores analisados nesse estudo (Figura 18).

Gráfico 2 – Gráfico de Acreção X Erosão para o Setor 2, com valores de área determinados através do método Change Polygon



Fonte: Autor (2021).

Figura 18 – Análise de Change Polygon para o Setor de estudo 2, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019



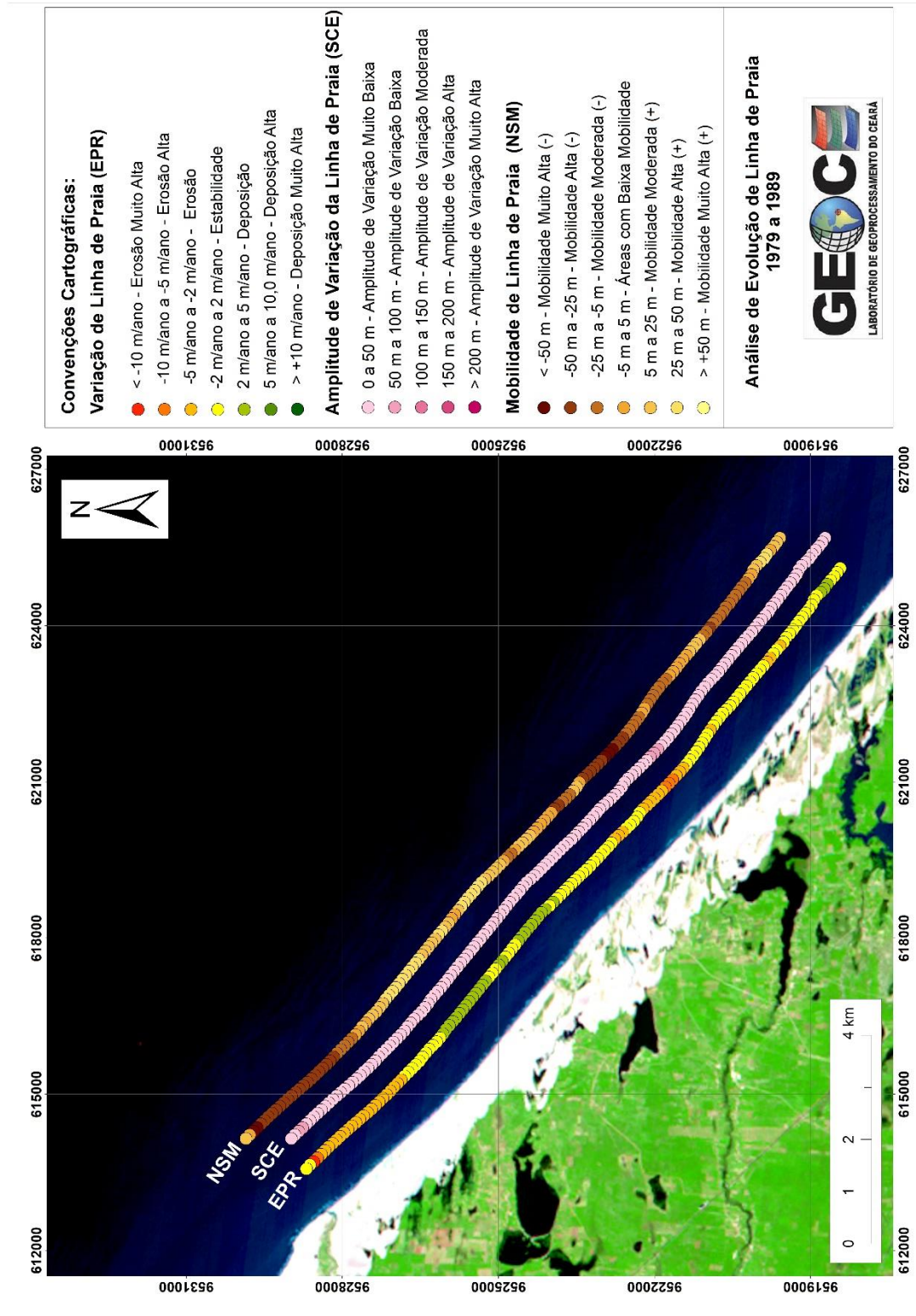
Fonte: Autor (2021).

Por meio do método DSAS foram gerados 156 transectos para análise de todo o Setor de estudo 2. Essa região apresentou tendências predominantemente retrogradantes ao longo dos anos em análise.

Entre os anos de 1979-1989 (Figura 19), os transectos gerados foram classificados para a taxa de EPR em: 3% erosão alta, 24% erosão, 53% estabilidade e 19% deposição. Com relação aos valores de NSM para o mesmo período, os transectos foram classificados em: 3% mobilidade muito alta (positiva), 21% mobilidade alta (positiva), 22% mobilidade moderada (positiva), 17% baixa modalidade, 22% mobilidade moderada (negativa) e 15% mobilidade alta (negativa). A taxa SCE, para a mesma década, apresentou valores de: 3% amplitude de variação baixa e 97% amplitude de variação muito baixa.

Foi verificada maior estabilidade no EPR em comparação ao que se observa nos resultados encontrados por meio do *Change Polygon*. Aparentemente, em situações de menor amplitude da LC, o DSAS é mais otimista que o *Change Polygon*. Essa década apresenta pouca amplitude e mobilidade relacionada à erosão, que demonstra maior estabilidade no Setor 2 quando comparado ao Setor 1, para essa década.

Figura 19 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 1979-1989, com imagens ao fundo de 1989



Fonte: Autor (2021).

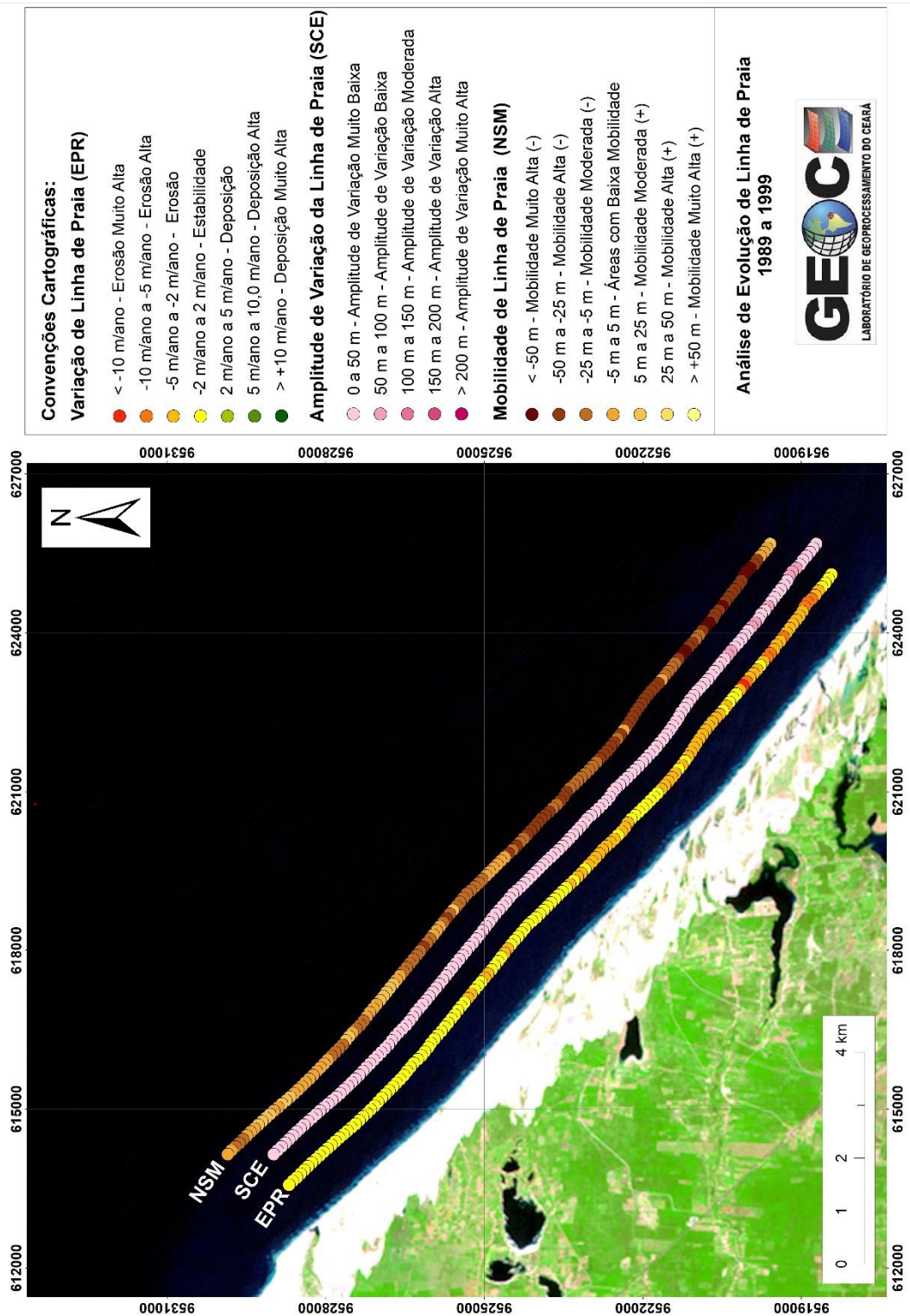
Já entre os anos de 1989-1999 (Figura 20), a mesma quantidade de transectos gerados, foram classificados para a taxa de EPR em: 5% erosão alta, 34% erosão e 61%

estabilidade. Os valores de NSM foram classificados em: 5% mobilidade muito alta (positiva), 29% mobilidade alta (positiva), 31% mobilidade moderada (positiva), 24% baixa modalidade e 10% mobilidade moderada (negativa). Já os valores encontrados para a taxa de SCE foram: 5% amplitude de variação baixa e 95% amplitude de variação muito baixa.

Assim entre os anos de 1979-1989 e 1989-1999 a linha de costa apresentou o mesmo comportamento erosivo, onde os valores de EPR para as décadas analisadas chegaram a um valor médio de -0,46 m/ano e -1,71 m/ano, respectivamente. Os valores médios de SCE observados foram de 20,52 m e 19,75 m, enquanto os valores médios de NSM apresentados foram -4,59 m e -17,15 m nas duas análises referidas.

Década de muita estabilidade também, no Setor 2, com pouca mobilidade e pouca amplitude, apresentando resultados mais otimista que o *Change Polygon*, por se tratar de uma classificação em intervalos de valores.

Figura 20 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 1989-1999, com imagens ao fundo de 1999



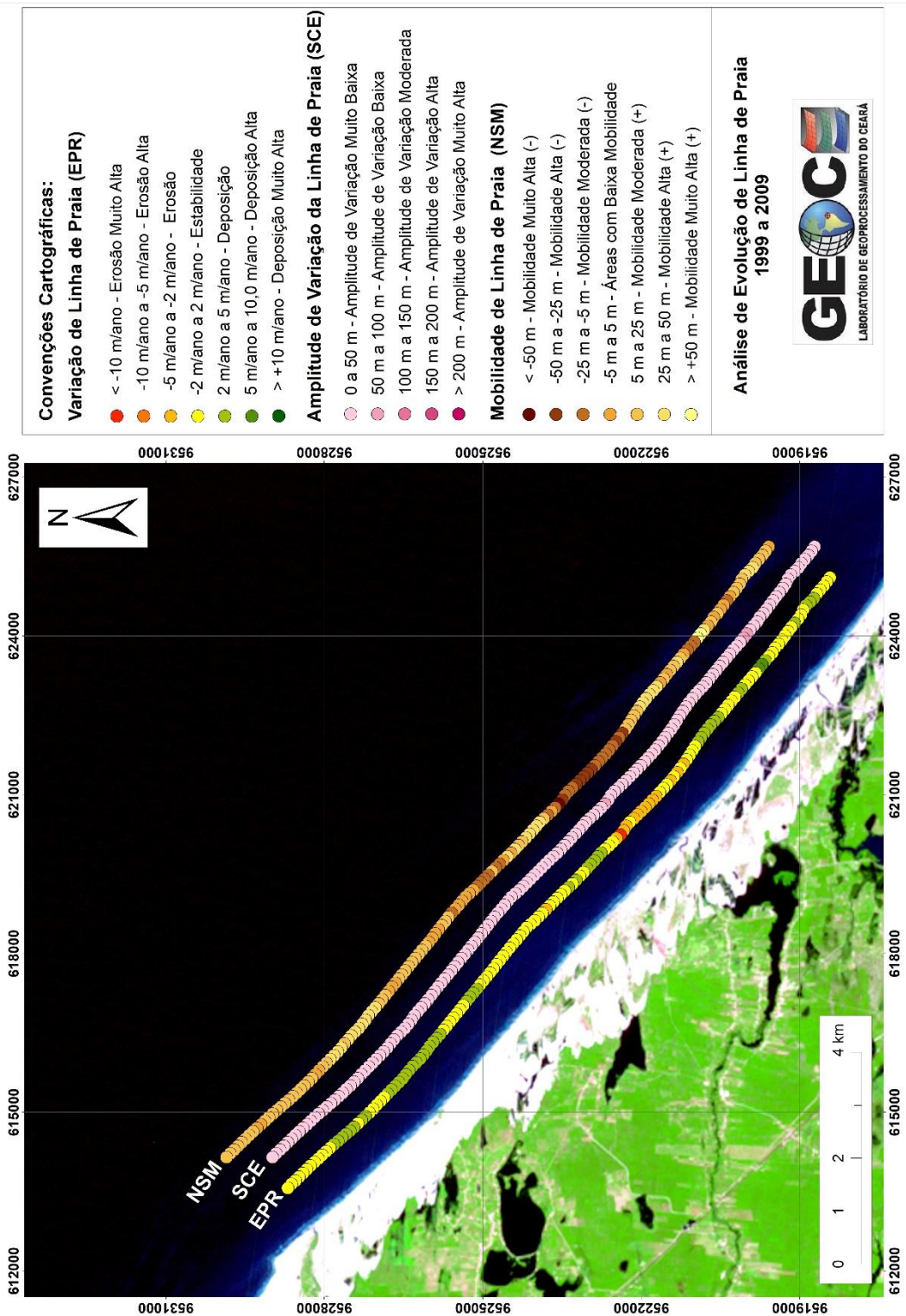
Fonte: Autor (2021).

A análise realizada entres os anos de 1999-2009 mostrou um comportamento um pouco diferente para a linha de costa do Setor 2, assumindo valores positivos para as taxas de

EPR, NSM e SCE (Figura 21). Dos 156 transectos analisados, para a taxa de EPR os valores encontrados foram classificados em: 1% erosão alta, 9% erosão, 57% estabilidade, 32% deposição e 1% deposição alta. Para a taxa de NSM os valores foram classificados em: 1% mobilidade muito alta (positiva), 5% mobilidade alta (positiva), 15% mobilidade moderada (positiva), 18% áreas com baixa mobilidade, 40% mobilidade moderada (negativa), 20% mobilidade alta (negativa) e 1% mobilidade muito alta (negativa). Com relação ao SCE, os valores foram classificados como: 2% amplitude de variação baixa e 98% amplitude de variação muito baixa.

Os valores médios encontrados para cada taxa em questão foram de 0,95 m/ano para EPR, 9,52 m para NSM e 18,63 m para SCE respectivamente. Período com mais deposição, pouca mobilidade e amplitude, onde os pontos erosivos parecem estar relacionados a uma pequena desembocadura e uma região de afloramento de lençol freático na região de *backshore*.

Figura 21 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 1999-2009, com imagens ao fundo de 2009



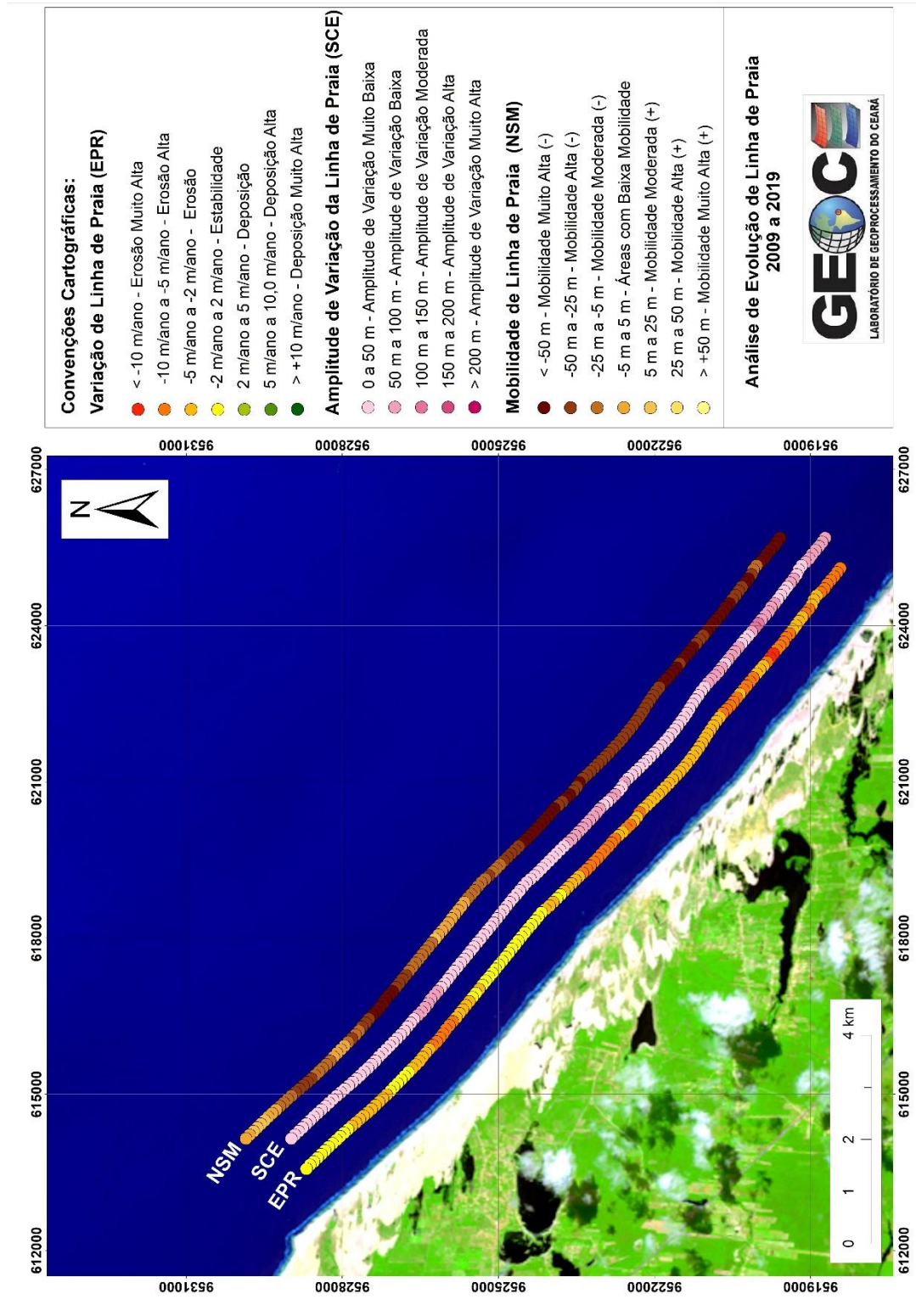
Fonte: Autor (2021).

Já no último ano de análise (2009-2019) os resultados voltaram a ser negativos caracterizando o retorno de processos erosivos na região (Figura 22). Os valores encontrados

para a taxa de EPR, foram de: 1% erosão muito alta, 28% erosão alta, 44% erosão e 26% estabilidade. Para a taxa de NSM, os valores de classificação ficaram descritos como: 29% mobilidade muito alta (positiva), 36% mobilidade alta (positiva), 20% mobilidade moderada (positiva), 12% áreas com baixa mobilidade e 3% mobilidade moderada (negativa). E por fim, os valores analisados de SCE foram classificados em: 1% amplitude de variação moderada, 28% amplitude de variação baixa e 71% amplitude de variação muito baixa.

Valores médios de -3,70 m/ano para EPR, 37,58 m para SCE e -36,75 m para NSM foram observados para a década em questão.

Figura 22 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 2009-2019, com imagens ao fundo de 2019



Fonte: Autor (2021).

Com isso percebemos que as datas com valores acentuados tanto em acreção quanto em erosão foram respectivamente as décadas de 1999-2009 e 2009-2019. Observamos

também que somente um período apresentou comportamento positivo ou progradante, enquanto todos os outros intervalos de tempo do Setor 2 apresentaram comportamentos associados a processos erosivos ou retrogradantes (Tabela 11). O intervalo de tempo 2009-2019 chegou ao valor máximo observado para Setor 2 em relação a taxa EPR, chegando a -3,695 m/ano de recuo da linha de costa.

Tabela 11 – Coordenadas que delimitam o polígono do Setor 1. Em Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 24S

(EPR)	Erosão muito alta		Erosão alta		Erosão			
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>		<i>%</i>	
1979/1989	0	0%	5	3%	38		24%	
1989/1999	0	0%	8	5%	53		34%	
1999/2009	0	0%	1	1%	14		9%	
2009/2019	2	1%	44	28%	69		44%	
1979 a 2019	0	0%	0	0%	43		28%	
	Estabilidade		Deposição		Deposição alta		Deposição muito alta	
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>
1979/1989	83	53%	30	19%	0	0%	0	0%
1989/1999	95	61%	0	0%	0	0%	0	0%
1999/2009	89	57%	50	32%	2	1%	0	0%
2009/2019	41	26%	0	0%	0	0%	0	0%
1979 a 2019	113	72%	0	0%	0	0%	0	0%

(NSM)	Regressão muito alta		Regressão alta		Regressão moderada			
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>		<i>%</i>	
1979/1989	5	3%	32	21%	35		22%	
1989/1999	8	5%	46	29%	48		31%	
1999/2009	1	1%	8	5%	23		15%	
2009/2019	46	29%	56	36%	31		20%	
1979 a 2019	74	47%	34	22%	8		5%	
	Baixa mobilidade		Transg. moderada		Transg. alta		Transg. muito alta	
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>
1979/1989	26	17%	35	22%	23	15%	0	0%
1989/1999	38	24%	16	10%	0	0%	0	0%
1999/2009	28	18%	63	40%	31	20%	2	1%
2009/2019	18	12%	5	3%	0	0%	0	0%
1979 a 2019	9	6%	29	19%	2	1%	0	0%

(SCE)	Altíssima (> 200m)		Alta (150 a 200m)		Moderada (100 a 150m)		Baixa (50 a 100m)		Muito baixa (0 a 50m)	
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>
1979/1989	0	0%	0	0%	0	0%	5	3%	151	97%
1989/1999	0	0%	0	0%	0	0%	8	5%	148	95%
1999/2009	0	0%	0	0%	0	0%	3	2%	153	98%
2009/2019	0	0%	0	0%	2	1%	44	28%	110	71%
1979 a 2019	0	0%	1	1%	29	19%	61	39%	65	42%

Fonte: Autor (2021).

4.3 Análises morfológicas em escala interdecadal para o SETOR 3

O Setor de estudo 3, presente no litoral do município de Beberibe, foi delimitado de forma contínua e similar aos setores anteriores. A extensão total da linha de costa analisada foi de 16,86 km de extensão, considerando o ano de 2019 como base. As coordenadas do polígono delimitante do Setor 3 estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Coordenadas que delimitam o polígono do Setor 3. Em Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 24S

<i>Leste (m)</i>	<i>Norte (m)</i>
612.217,02	9.526.358,75
599.994,69	9.537.394,44
603.706,06	9.541.504,88
615.928,38	9.530.469,19

Fonte: Autor (2021).

No Setor 3 de estudo podemos observar a presença de algumas das regiões litorâneas mais populares, do ponto de vista turístico, do município de Beberibe. Dentre elas temos a Praia das Fontes, a Praia do Diogo, a Praia de Uruaú, a Barra de Sucatinga, e ainda as Lagoas de Uberaba e do Uruaú. Essas regiões apresentam fluxo maior de visitantes e turistas ao longo dos anos, quando comparadas aos setores de estudo 1 e 2.

Baseando-se no diagnóstico pelo método de diferença de polígonos temos que o Setor 3 de estudo apresentou um balanço sedimentar total negativo (Gráfico 3), com valor de erosão acentuado entre os anos 1979-1989, totalizando 0,75 km² para a década em destaque (Figura 23). Observamos ainda na Tabela 13 um balanço positivo para as décadas analisadas de 1989-1999 e 1999-2009, com valores de acreção em 0,16 km² e 0,36 km², respectivamente.

Tabela 13 – Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 3, com valores determinados através do método Change Polygon

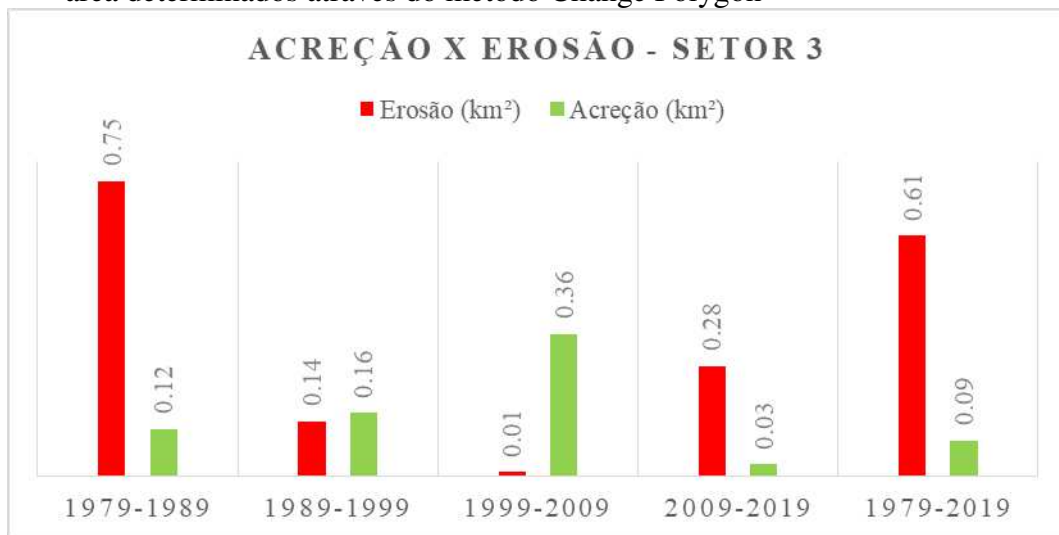
<i>Balanço Sedimentar - SETOR 3</i>					
<i>Período</i>	1979-1989	1989-1999	1999-2009	2009-2019	1979-2019
<i>Erosão (km²)</i>	0,75	0,14	0,01	0,28	0,61
<i>Acreção (km²)</i>	0,12	0,16	0,36	0,03	0,09

'Razão A/E	0,16	1,14	36	0,11	0,15
Classificação	Negativo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo

Fonte: Autor (2021).

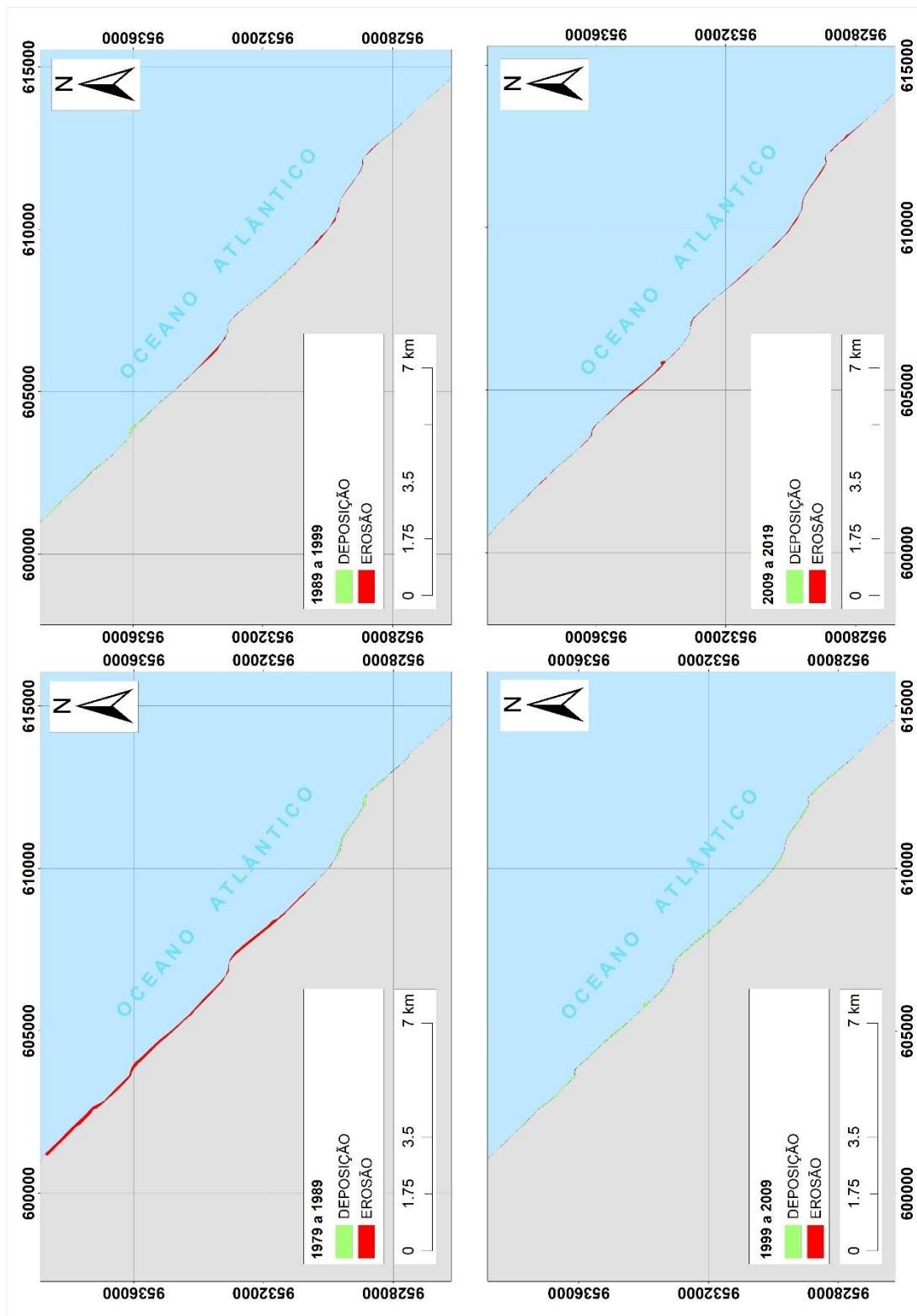
Já na última análise interdecadal realizada, temos que o balanço sedimentar entre os anos de 2009-2019 regressou a valores negativos (Figura 23), alcançando 0,11 km² para a razão A/E. Foram encontrados valores de acreção e erosão para o ano citado de 0,03 km² e 0,28 km², respectivamente (Tabela 13).

Gráfico 3 – Gráfico de Acreção X Erosão para o Setor 3, com valores de área determinados através do método Change Polygon



Fonte: Autor (2021).

Figura 23 – Análise de Change Polygon para o Setor de estudo 3, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019

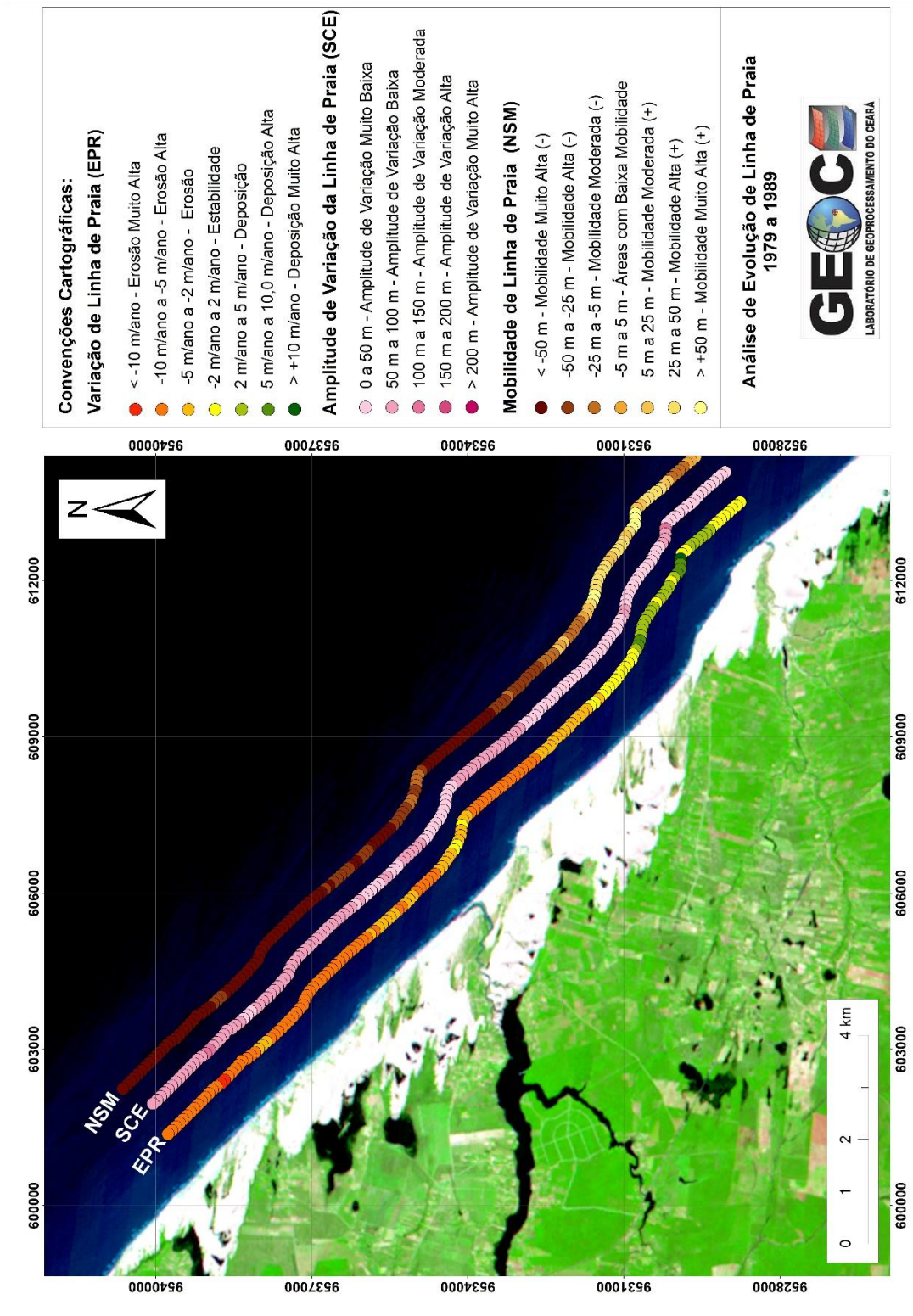


Fonte: Autor (2021).

Os 168 transectos gerados a partir da utilização do método DSAS no Setor de estudo 3 permitiram a observação detalhada dos fenômenos erosivos/depositivos presentes

na região. Observou-se um comportamento erosivo logo na primeira análise decadal referente a data 1979-1989 (Figura 24). Para a taxa relacionada a variação da linha de praia (EPR), os transectos gerados foram classificados em: 1% erosão muito alta; 45% erosão alta, 22% erosão; 17% estabilidade, 11% deposição; 3% deposição alta e 1% deposição muito alta. Os valores encontrados para a taxa referente a mobilidade da linha de praia (NSM), foram classificados em: 46% mobilidade muito alta (positiva), 19% mobilidade alta (positiva), 11% mobilidade moderada (positiva), 2% áreas com baixa mobilidade, 7% mobilidade moderada (negativa), 10% mobilidade alta (negativa) e 4% mobilidade muito alta (negativa). E por último, a taxa de amplitude de variação da linha de praia (SCE), para a mesma década foi classificada como: 2% amplitude de variação moderada, 48% amplitude de variação baixa, 50% amplitude de variação muito baixa.

Figura 24 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 1979-1989, com imagens ao fundo de 1989



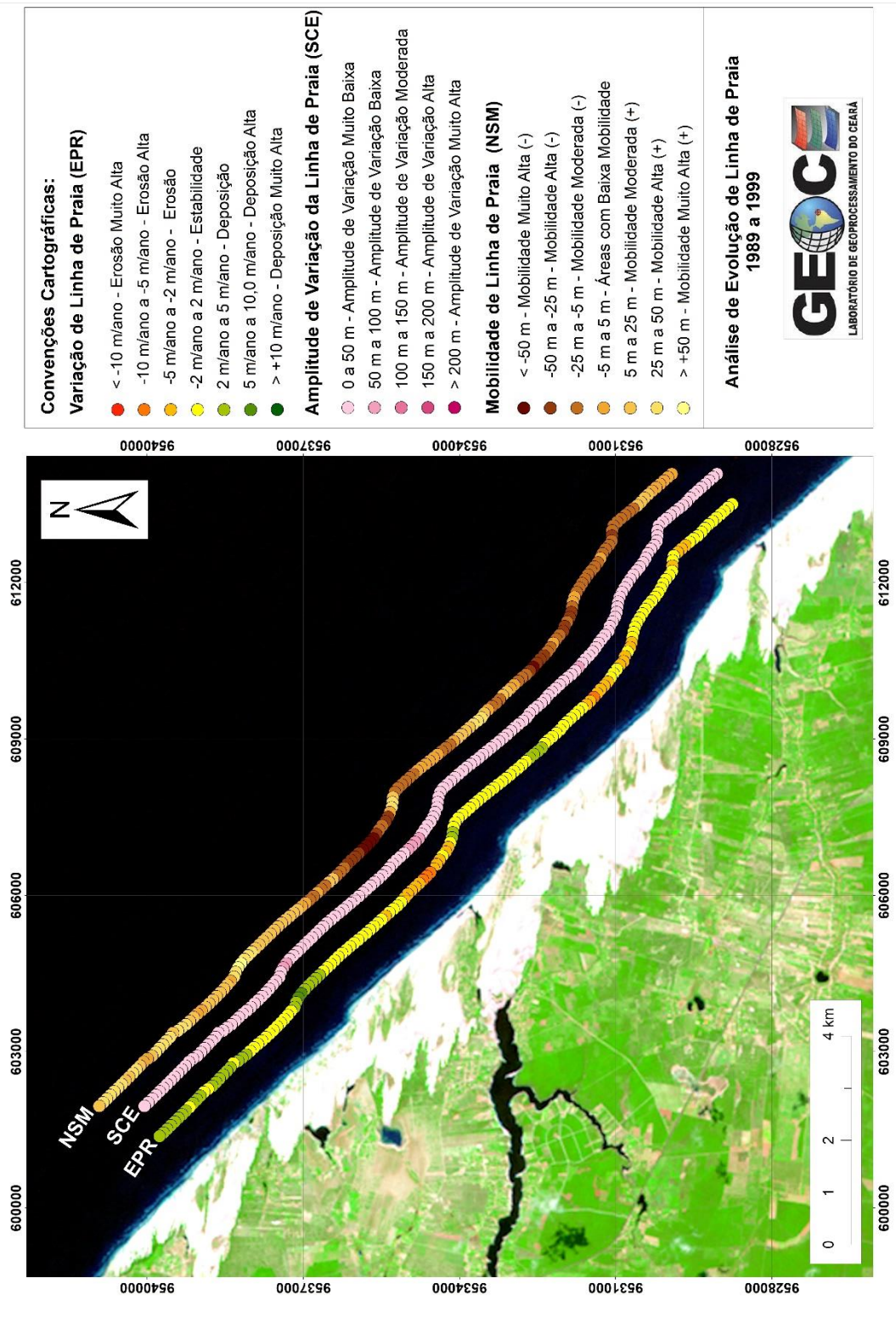
Fonte: Autor (2021).

Na década em questão (1979-1989), as análises mostram valores médios de -3,77 m/ano para EPR, -37,69 m para NSM e 52,28 m para SCE.

Nos intervalos interdecadais seguintes analisados, referente aos anos de 1989-1999 e 1999-2009, o comportamento da linha de costa mostrou-se com particularidades positivas ou progradantes para o mesmo Setor 3 de estudo. O trecho erosivo coincide com o *Change Polygon*, em que as amplitudes são moderadas e há muita mobilidade relacionada justamente ao trecho erosivo.

Os transectos gerados para EPR na década 1989-1999 (Figura 25) foram distribuídos em: 3% erosão alta, 15% erosão; 61% estabilidade, 20% deposição; 1% deposição alta. Já os valores encontrados para NSM foram de: 3% mobilidade muito alta (positiva), 10% mobilidade alta (positiva), 29% mobilidade moderada (positiva), 17% áreas com baixa mobilidade, 24% mobilidade moderada (negativa), 15% mobilidade alta (negativa) e 1% mobilidade muito alta (negativa). A classificação gerada para os valores de SCE na mesma década de análise foi de: 4% amplitude de variação baixa, 96% amplitude de variação muito baixa.

Figura 25 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 1989-1999, com imagens ao fundo de 1999



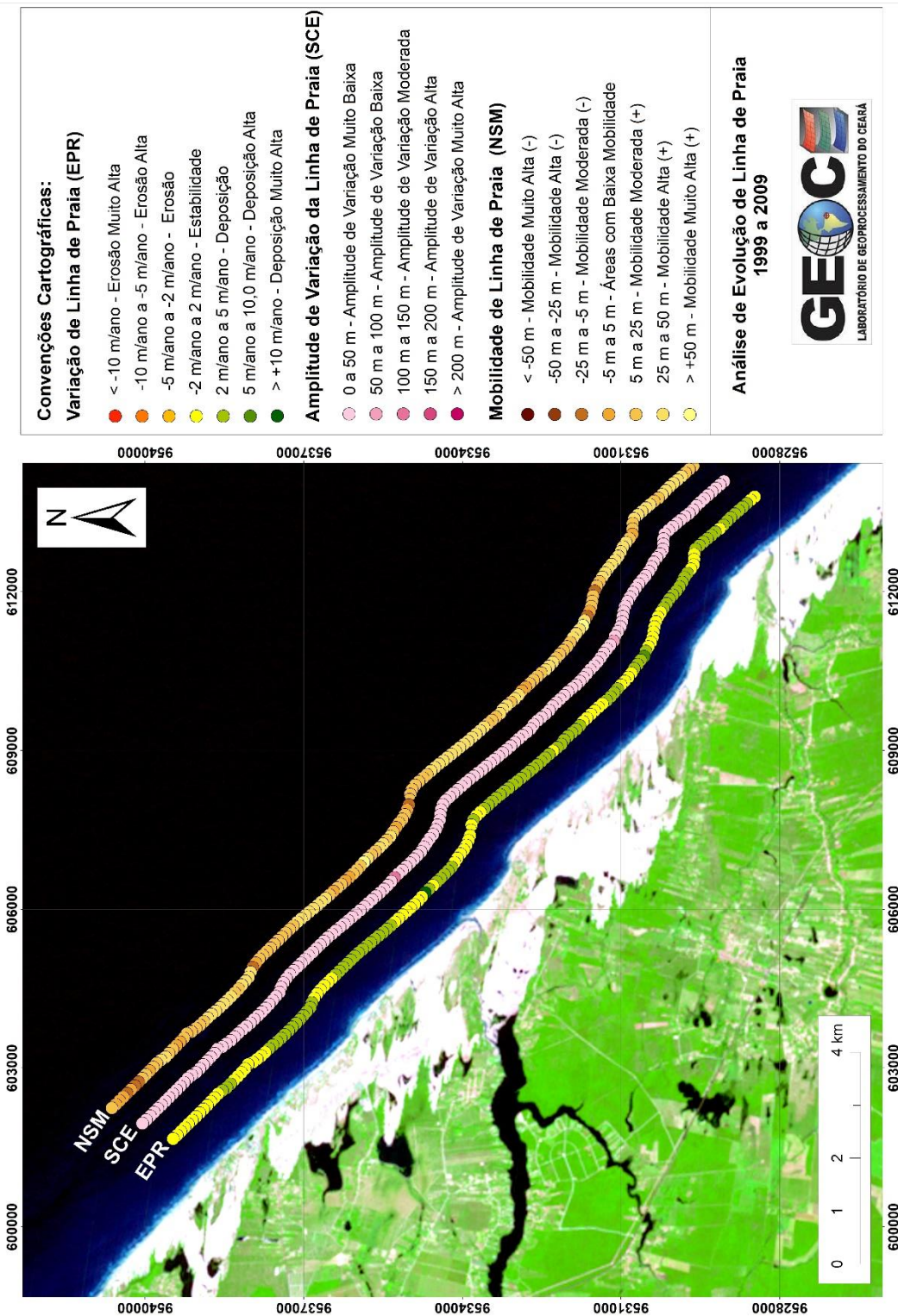
Fonte: Autor (2021).

Entre os anos de 1999-2009 (Figura 26) os valores encontrados para EPR foram classificados como: 44% estabilidade, 55% deposição; 1% deposição alta e 1% deposição

muito alta. As taxas de NSM apresentadas foram de: 5% mobilidade moderada (positiva), 10% áreas com baixa mobilidade, 42% mobilidade moderada (negativa), 42% mobilidade alta (negativa) e 1% mobilidade muito alta (negativa). E por fim, as taxas calculadas para SCE na mesma década de observação foram de: 1% amplitude de variação moderada, 1% amplitude de variação baixa, 98% amplitude de variação muito baixa.

Na análise realizada na data de 1989-1999 temos valores médios de EPR em 0,05 m/ano, NSM em 0,51 m e SCE em 18,50 m. Na data de 1999-2009 os valores médios encontrados são 2,08 m/ano para EPR, 20,95 m para NSM e 22,21 m para SCE.

Figura 26 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 1999-2009, com imagens ao fundo de 1999



Fonte: Autor (2021).

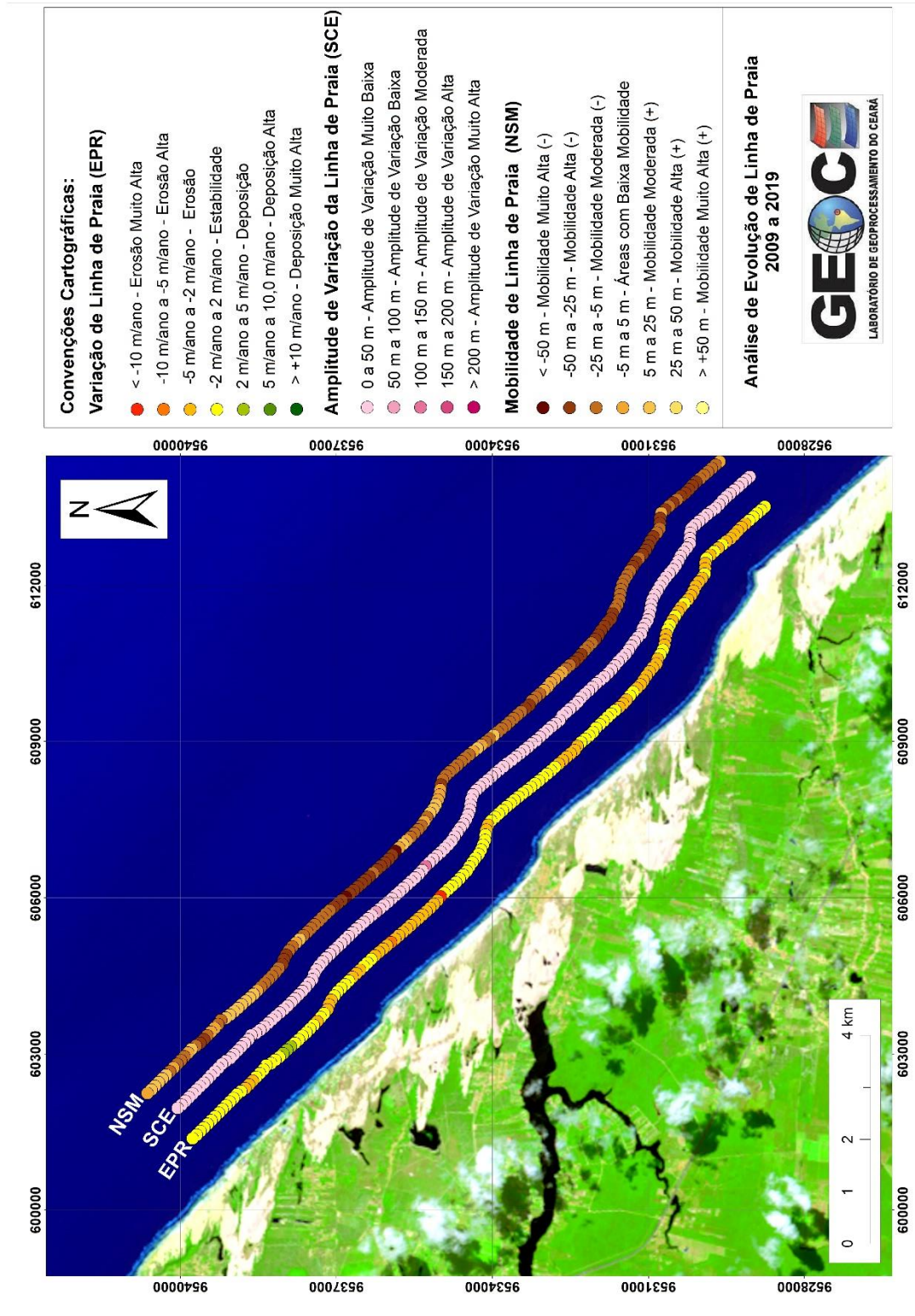
Na diferença entre as décadas de 1999 e 2009 houve bastante deposição, baixa amplitude e baixa mobilidade, dando margem a algumas interpretações como a possibilidade

de sedimentos dos campos dunares chegarem em algum trecho do setor. Essa observação permite abertura para a compreensão do que acontece também atrás da praia, inclusive a possibilidade de intensificação das atividades turísticas na região.

No último intervalo de tempo analisado (2009-2019), a linha de costa retoma o seu comportamento retrogradante assumindo valores médios de EPR em -1,51 m/ano, NSM em -15,03 m e SCE em 18,72 m.

Os valores dos transectos avaliados no ano de 2009-2019 (Figura 27) para EPR, foram classificados em: 1% erosão muito alta; 1% erosão alta, 40% erosão; 57% estabilidade, 2% deposição. Os valores de NSM foram apresentados como: 1% mobilidade muito alta (positiva), 29% mobilidade alta (positiva), 43% mobilidade moderada (positiva), 14% áreas com baixa mobilidade, 13% mobilidade moderada (negativa). A taxa SCE no mesmo ano dividiu-se em: 1% amplitude de variação moderada, 1% amplitude de variação baixa, 98% amplitude de variação muito baixa. Para essa década, novamente o DSAS calculou mais estabilidade do que o *Change Polygon*, mas seguiu o padrão dos demais setores.

Figura 27 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 2009-2019, com imagens ao fundo de 2019



Fonte: Autor (2021).

As décadas que apresentaram maiores valores positivos e negativos significativos para o Setor 3 foram respectivamente os anos de 1999-2009 e 1979-1989 (Tabela 14).

Tabela 14 – Transectos gerados no Setor 3, com valores determinados através das estatísticas EPR, NSM e SCE

(EPR)	Erosão muito alta		Erosão alta		Erosão			
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>		
1979/1989	2	1%	76	45%	37	22%		
1989/1999	0	0%	5	3%	25	15%		
1999/2009	0	0%	0	0%	0	0%		
2009/2019	1	1%	1	1%	67	40%		
1979 a 2019	0	0%	0	0%	8	5%		
	Estabilidade		Deposição		Deposição alta		Deposição muito alta	
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>
1979/1989	28	17%	19	11%	5	3%	1	1%
1989/1999	103	61%	33	20%	2	1%	0	0%
1999/2009	74	44%	92	55%	1	1%	1	1%
2009/2019	96	57%	3	2%	0	0%	0	0%
1979 a 2019	160	95%	0	0%	0	0%	0	0%

(NSM)	Regressão muito alta		Regressão alta		Regressão moderada			
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>		
1979/1989	78	46%	32	19%	19	11%		
1989/1999	5	3%	16	10%	49	29%		
1999/2009	0	0%	0	0%	8	5%		
2009/2019	2	1%	48	29%	73	43%		
1979 a 2019	62	37%	42	25%	23	14%		
	Baixa mobilidade		Transg. moderada		Transg. alta		Transg. muito alta	
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>
1979/1989	4	2%	12	7%	17	10%	6	4%
1989/1999	29	17%	41	24%	26	15%	2	1%
1999/2009	17	10%	70	42%	71	42%	2	1%
2009/2019	24	14%	21	13%	0	0%	0	0%
1979 a 2019	4	2%	22	13%	13	8%	2	1%

(SCE)	Altíssima (> 200m)		Alta (150 a 200m)		Moderada (100 a 150m)		Baixa (50 a 100m)		Muito baixa (0 a 50m)	
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>
1979/1989	0	0%	0	0%	3	2%	81	48%	84	50%
1989/1999	0	0%	0	0%	0	0%	7	4%	161	96%
1999/2009	0	0%	0	0%	1	1%	1	1%	166	99%
2009/2019	0	0%	0	0%	1	1%	1	1%	166	99%
1979 a 2019	0	0%	0	0%	10	6%	107	64%	51	30%

Fonte: Autor (2021).

4.4 Análises morfológicas em escala interdecadal para o SETOR 4

O quarto e último setor de estudo demarcado no início do litoral do município de Beberibe, exibe uma extensão de 10,43 km de linha de costa analisada, sendo considerado o valor da linha base de 2019. As coordenadas do polígono delimitante do Setor 4 estão apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Coordenadas que delimitam o polígono do Setor 4. Em Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 24S

<i>Leste (m)</i>	<i>Norte (m)</i>
599.994,69	9.537.394,44
592.225,47	9.544.409,37
595.936,84	9.548.519,81
603.706,06	9.541.504,88

Fonte: Autor (2021).

Dentre os setores analisados, entende-se que o Setor de estudo 4 apresenta uma importância intrínseca em sua análise interdecadal. É considerado um setor de alto fluxo turístico pela presença de praias como: Praia de Morro Branco, Praia da Tabuba e Barra Nova. Apresenta feições geomorfológicas aflorantes (falésias vivas) com belezas paisagísticas vastamente procuradas para visitaç o, como é o caso da unidade de conserva o e prote o integral Monumento Natural das Falésias de Beberibe.

O fluxo frequente de pessoas somado à quantidade de construções antrópicas no espaço anteriormente reservado à dinâmica da faixa praial, nos leva a observar de maneira mais atenta os ciclos deposicionais interdecadais associados ao setor em questão.

Tabela 16 – Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 4, com valores determinados através do método Change Polygon

<i>Balanço Sedimentar - SETOR 4</i>					
<i>Período</i>	1979-1989	1989-1999	1999-2009	2009-2019	1979-2019
<i>Erosão (km²)</i>	0,20	0,08	0,02	0,05	0,04
<i>Acreção (km²)</i>	0,11	0,07	0,22	0,09	0,16
<i>Razão A/E</i>	0,55	0,87	11	1,8	4
<i>Classificação</i>	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo

Fonte: Autor (2021).

Observando o Setor 4 por meio do método *Change Polygon* percebemos um setor com tendências positivas (Gráfico 4), onde o balanço sedimentar total apresenta valores de acreção em 0,16 km² e erosão em 0,04 km² relacionados ao comparativo de 1979-2019 (Figura 28).

Importante avaliar que o maior valor de erosão está associado a década de 1979-1989, chegando ao total de 0,20 km², enquanto o maior valor para acreção está associado a data de análise 1999-2009 chegando ao total de 0,22 km², esses resultados apresentados na Tabela 16. A década de 1979-1989 apresentou o mesmo comportamento erosivo do Setor 3, implicando na continuidade espacial do fenômeno.

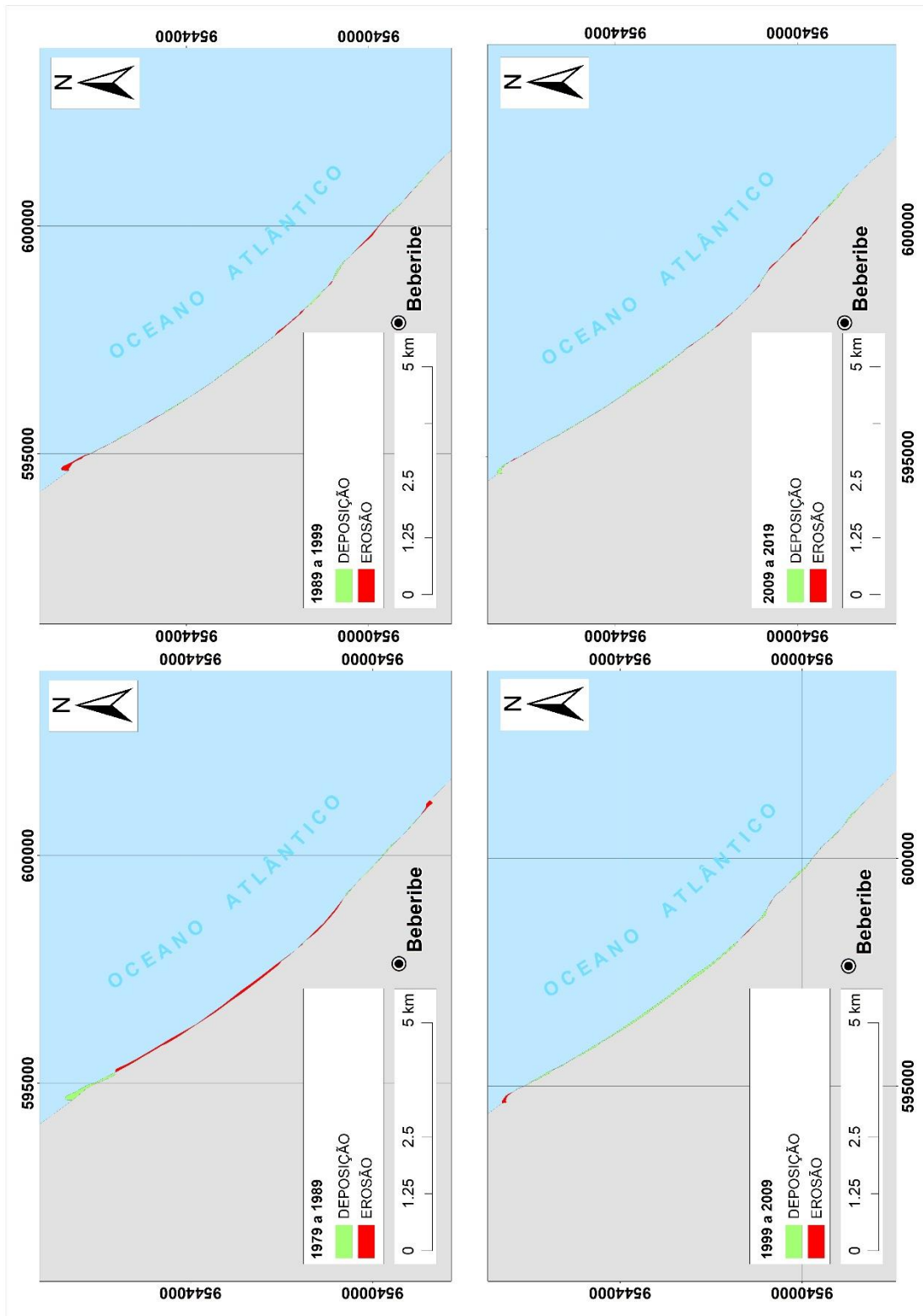
Gráfico 4 – Gráfico de Acreção X Erosão para o Setor 4, com valores de área determinados através do método Change Polygon



Fonte: Secretaria Municipal de Administração de Horizonte (2009, p. 101).

No Setor 4 de estudo, os valores relacionados a mudança da linha de costa apresentaram-se positivos em algumas das décadas avaliadas. Por meio do método de análise DSAS foram gerados 105 transectos, os quais foram classificados para a taxa de EPR na década de 1979-1989 (Figura 29), em: 5% erosão alta, 43% erosão, 38% estabilidade, 9% deposição, 2% deposição alta e 4% deposição muito alta.

Figura 28 – Análise de Change Polygon para o Setor de estudo 4, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019



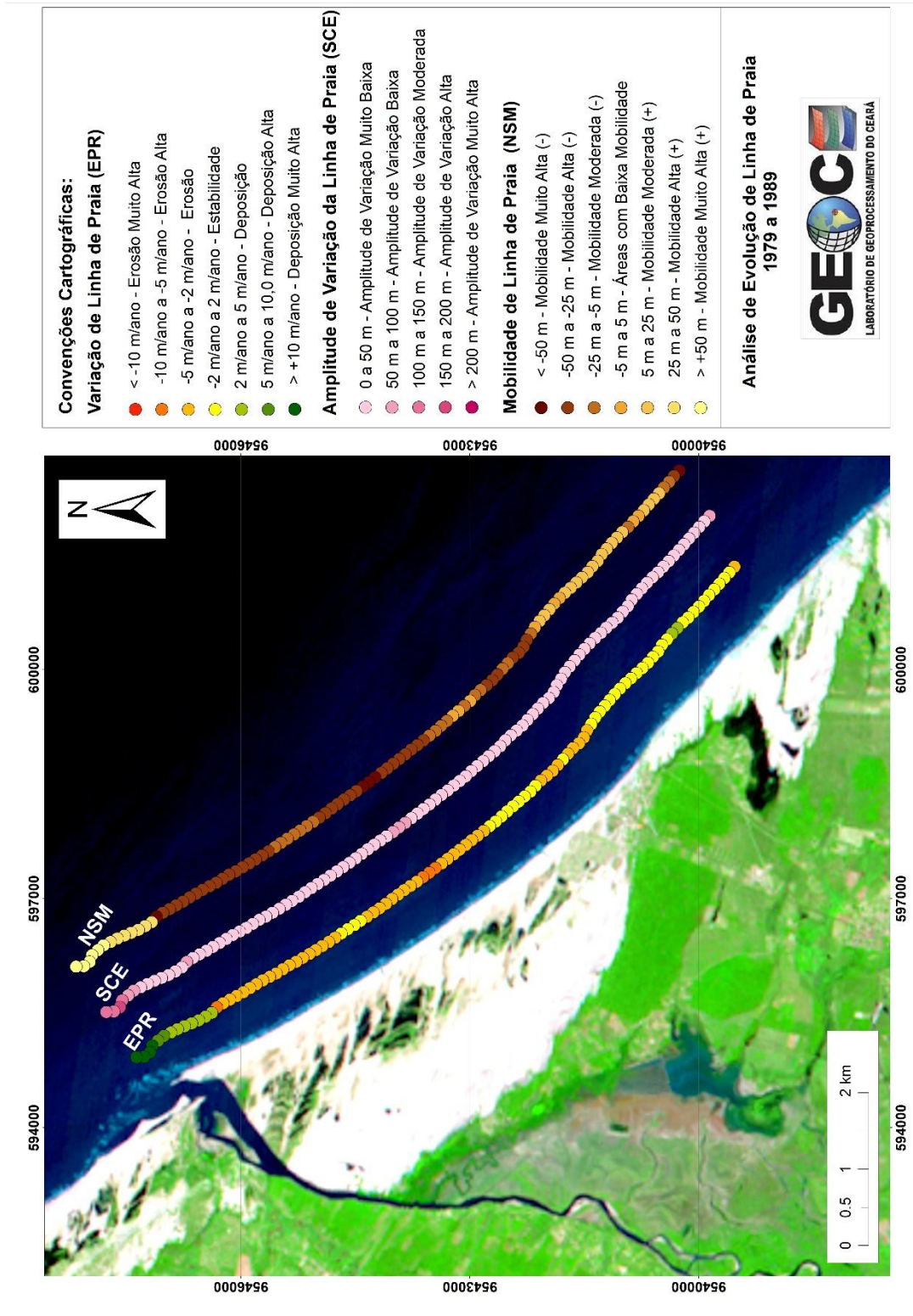
Fonte: Autor (2021).

No mesmo período de análise, para a taxa de NSM, os valores encontrados foram: 5% mobilidade muito alta (positiva), 38% mobilidade alta (positiva), 19% mobilidade

moderada (positiva), 8% áreas com baixa mobilidade, 18% mobilidade moderada (negativa), 7% mobilidade alta (negativa) e 6% mobilidade muito alta (negativa). Os valores de SCE foram classificados em: 1% amplitude de variação alta, 3% amplitude de variação moderada, 7% amplitude de variação baixa e 90% amplitude de variação muito baixa.

Os valores médios encontrados na análise entre os anos de 1979-1989 (Figura 29) foram de -0,77 m/ano para EPR, -7,74 m para NSM e de 30,74 m para SCE. De maneira geral o setor apresenta-se em contexto erosivo, mobilidade alta nas áreas de erosão, pouca amplitude.

Figura 29 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 1979-1989, com imagens ao fundo de 1989

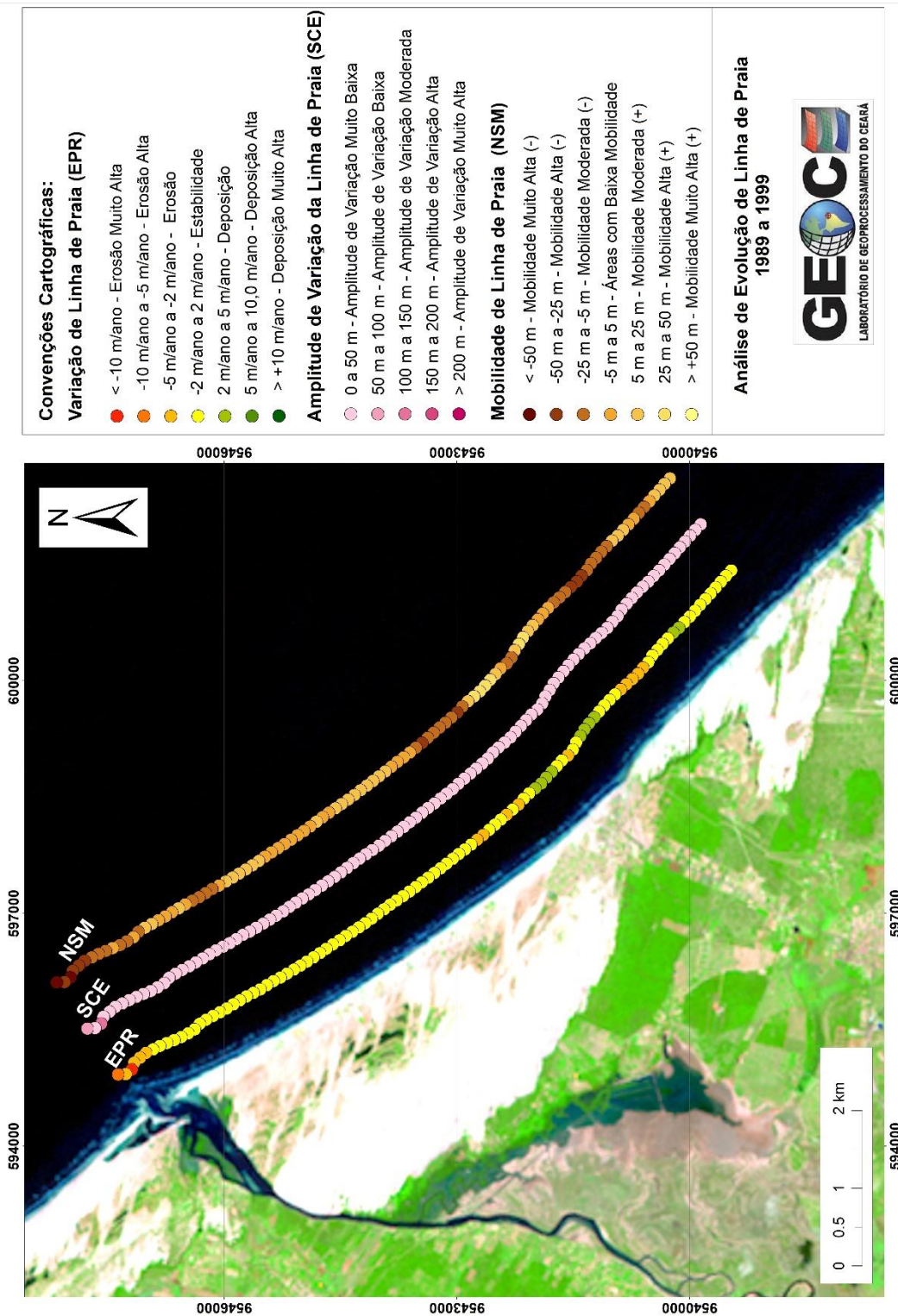


Fonte: Autor (2021).

Na década seguinte, entre os anos de 1989-1999 (Figura 30), os transectos foram classificados para a taxa de EPR em: 1% erosão muito alta, 1% erosão alta, 12% erosão, 76%

estabilidade, 10% deposição. Já para a taxa de NSM, os valores encontrados foram: 2% mobilidade muito alta (positiva), 9% mobilidade alta (positiva), 28% mobilidade moderada (positiva), 27% áreas com baixa mobilidade, 30% mobilidade moderada (negativa) e 6% mobilidade alta (negativa). Os valores de SCE foram dispostos em: 1% amplitude de variação moderada, 1% amplitude de variação baixa e 98% amplitude de variação muito baixa. Os resultados obtidos por DSAS mostraram-se com um pouco mais de estabilidade do que identificado pelo Change Polygon, para essa década, com baixa amplitude e mobilidade moderada.

Figura 30 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 1989-1999, com imagens ao fundo de 1999



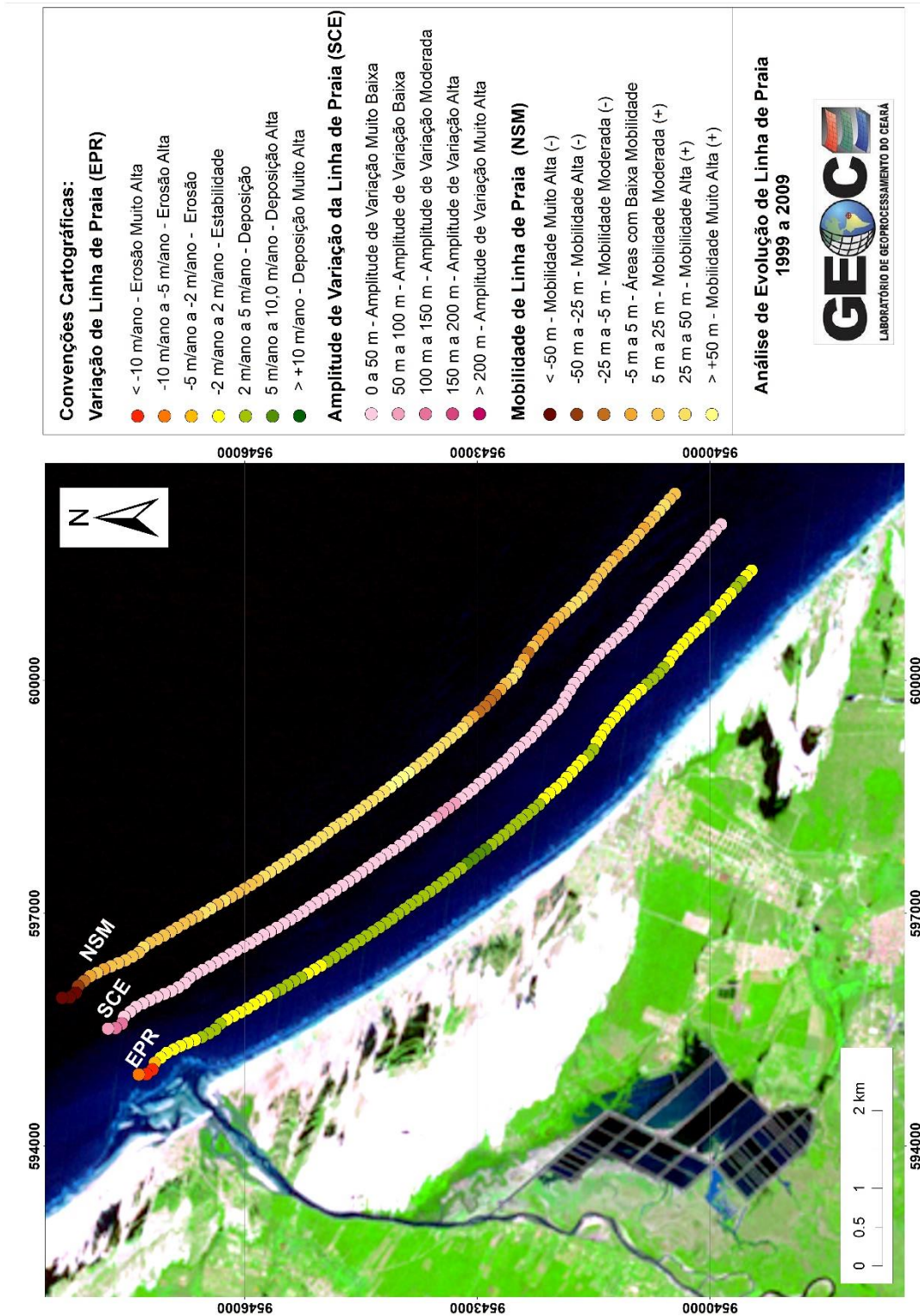
Fonte: Autor (2021).

Os valores médios encontrados na análise entre os anos de 1989-1999 (Figura 30) foram de -0,20 m/ano para EPR, -2,01 m para NSM e de 15,23 m para SCE.

Entre os anos de 1999-2009 (Figura 31), os 105 transectos gerados pelo DSAS foram classificados para a taxa de EPR em: 2% erosão muito alta, 1% erosão alta, 1% erosão, 46% estabilidade, 47% deposição e 4% deposição alta. As classificações encontradas para a taxa de NSM foram de: 3% mobilidade muito alta (positiva), 1% mobilidade alta (positiva), 6% mobilidade moderada (positiva), 10% áreas com baixa mobilidade, 38% mobilidade moderada (negativa), 38% mobilidade alta (negativa) e 4% mobilidade muito alta (negativa). Os valores calculados de SCE foram de: 2% amplitude de variação moderada, 5% amplitude de variação baixa e 93% amplitude de variação muito baixa.

Os valores médios encontrados para as taxas calculadas de EPR, NSM e SCE na análise entre os anos de 1999-2009 foram respectivamente de: 1,71 m/ano, 17,19 m e 24,55 m. Em linhas gerais, esse intervalo apresenta intensa deposição, com mesma tendência dos setores 2 e 3, mas que pode ser associado nesse setor à questão do aporte sedimentar extra, vindo das falésias. Esse aporte sedimentar pode ser em função do solapamento basal por ondas e marés e também pela ação de percolação da chuva, ravinando o topo da formação.

Figura 31 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 1999-2009, com imagens ao fundo de 2009

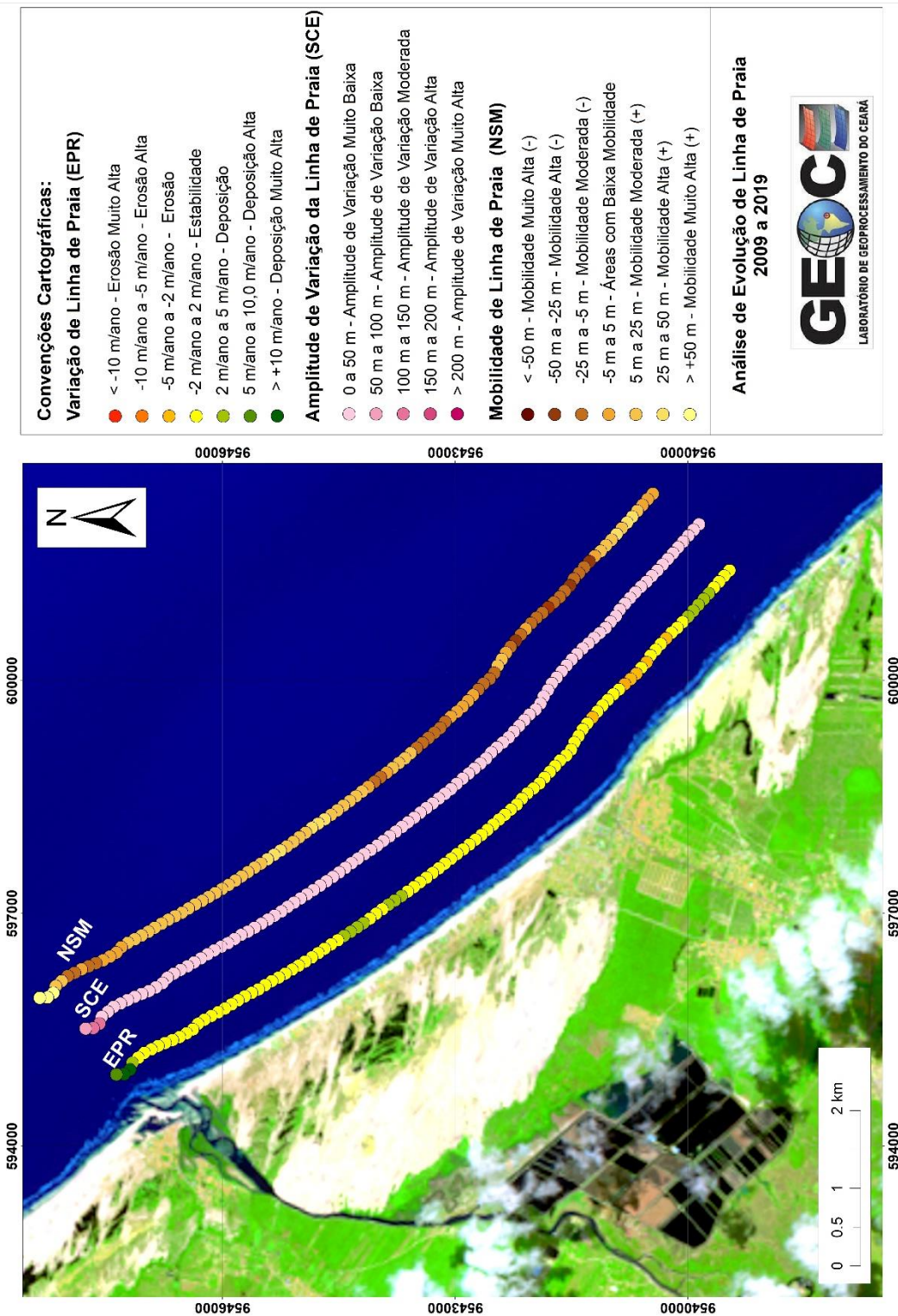


Fonte: Autor (2021).

Entre os anos de 2009-2019 (Figura 32), os transectos gerados para o Setor 4 apresentaram valores referentes a taxa de EPR classificados em: 6% erosão, 78% estabilidade,

13% deposição, 1% deposição alta e 2% deposição muito alta. Para a taxa de NSM as classificações encontradas foram de: 4% mobilidade alta (positiva), 26% mobilidade moderada (positiva), 17% áreas com baixa mobilidade, 42% mobilidade moderada (negativa), 9% mobilidade alta (negativa) e 3% mobilidade muito alta (negativa). Os valores de SCE foram de: 2% amplitude de variação moderada, 1% amplitude de variação baixa e 97% amplitude de variação muito baixa.

Figura 32 – Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 2009-2019, com imagens ao fundo de 2019



Fonte: Autor (2021).

Os valores médios encontrados para as taxas calculadas de EPR, NSM e SCE (Tabela 17) na análise entre os anos de 2009-2019 (Figura 32) foram respectivamente de: 0,59 m/ano, 5,83 m e 14,76 m.

Em linhas gerais, pode-se perceber que em uma década em que todos os outros setores apresentaram intensificação da erosão, o Setor 4 apresentou forte caráter de estabilidade, reforçando ainda mais o papel das falésias no equilíbrio dinâmico e na conservação da LC.

Tabela 17 – Transectos gerados no Setor 4, com valores determinados através das estatísticas EPR, NSM e SCE

(EPR)	Erosão muito alta		Erosão alta		Erosão			
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>		
1979/1989	0	0%	5	5%	45	43%		
1989/1999	1	1%	1	1%	13	12%		
1999/2009	2	2%	1	1%	1	1%		
2009/2019	0	0%	0	0%	6	6%		
1979 a 2019	0	0%	0	0%	0	0%		
	Estabilidade		Deposição		Deposição alta		Deposição muito alta	
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>
1979/1989	40	38%	9	9%	2	2%	4	4%
1989/1999	80	76%	10	10%	0	0%	0	0%
1999/2009	48	46%	49	47%	4	4%	0	0%
2009/2019	82	78%	14	13%	1	1%	2	2%
1979 a 2019	105	100%	0	0%	0	0%	0	0%

(NSM)	Regressão muito alta		Regressão alta		Regressão moderada			
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>		
1979/1989	5	5%	40	38%	20	19%		
1989/1999	2	2%	9	9%	29	28%		
1999/2009	3	3%	1	1%	6	6%		
2009/2019	0	0%	4	4%	27	26%		
1979 a 2019	1	1%	3	3%	19	18%		
	Baixa mobilidade		Transg. moderada		Transg. alta		Transg. muito alta	
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>
1979/1989	8	8%	19	18%	7	7%	6	6%
1989/1999	28	27%	31	30%	6	6%	0	0%
1999/2009	11	10%	40	38%	40	38%	4	4%
2009/2019	18	17%	44	42%	9	9%	3	3%
1979 a 2019	19	18%	31	30%	23	22%	9	9%

(SCE)	Altíssima (> 200m)		Alta (150 a 200m)		Moderada (100 a 150m)		Baixa (50 a 100m)		Muito baixa (0 a 50m)	
	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>	<i>Transectos</i>	<i>%</i>
1979/1989	0	0%	1	1%	3	3%	7	7%	94	90%
1989/1999	0	0%	0	0%	1	1%	1	1%	103	98%
1999/2009	0	0%	0	0%	2	2%	5	5%	98	93%

<i>2009/2019</i>	0	0%	0	0%	2	2%	1	1%	102	97%
<i>1979 a 2019</i>	1	1%	1	1%	2	2%	31	30%	70	67%

Fonte: Autor (2021).

3 CONCLUSÕES

A utilização das imagens históricas orbitais dos sensores LANDSAT mostraram-se eficazes na compreensão dos processos de desenvolvimento e transformação da paisagem natural ao longo das décadas analisadas. Ainda que a diferença proporcionada pela resolução espacial da imagem da década de 1979 tenha se mostrado significativa em relação aos dados numéricos gerados, sua inclusão na pesquisa foi essencial para compreensão qualitativa das mudanças interdecadais observadas.

O contexto histórico de desenvolvimento costeiro o qual o município de Beberibe está inserido tem relação direta a mudanças ocorridas a partir da década de 70, dentre as quais podemos citar a implantação da rodovia CE-040, causando a intensificação do processo de loteamento dos terrenos costeiros e aumento da demanda turística local. Outro fato a ser destacado nesse período foi o desenvolvimento de empreendimentos voltados a carcinicultura próximo às margens do rio Pirangi, intensificando os processos sedimentares na região.

Em um panorama geral os setores mais ao sul do município apresentam um processo maior de retração da linha de costa enquanto os setores mais ao norte do município estão inclusos em áreas com maior faixa de praia estável. As mudanças mais significativas estão relacionadas ao desenvolvimento do *spit* arenoso (barreira costeira) associado à foz do rio Pirangi, onde a formação dessa feição praial está intimamente relacionada aos processos de retração e progradação da linha de preamar, fenômenos de galgamento, ocorrência de ondas e circulação de sedimentos facilitado pela corrente de deriva litorânea.

Pode-se ainda perceber um considerável desgaste erosivo das falésias devido à ação direta dos ciclos de altas marés e ventos costeiros, assim como processos antrópicos causados pela gestão precária das áreas do MNFB, trazendo perigo para banhistas, frequentadores e moradores. Apesar do desgaste observado em alguns pontos, as falésias atuam como protetoras da linha de costa e fornecedoras de sedimentos para o aporte sedimentar da faixa de praia, gerando um balanço sedimentar positivo ao longo dos anos. Desta forma percebemos que existe uma necessidade de acompanhamento detalhado e integrado dos ciclos erosivos e deposicionais ao longo dos anos nas regiões litorâneas, notadamente no MNFB, afim de possibilitar o posterior gerenciamento costeiro adequado para cada setor.

A compreensão assertiva dos processos erosivos presentes na área de estudo está diretamente relacionada à escala de trabalho adotada, tornando-se importante a definição primária dos setores e das feições a serem analisadas. A necessidade do acompanhamento

costeiro multiescalar dá-se ao percebermos que a dinâmica costeira está vinculada a uma conjugação de ciclos erosivos e deposicionais interdependentes e em escalas diferenciadas, e que esses processos são imprescindíveis para um gerenciamento costeiro apropriado.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL - ANAC. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC – E nº 94**, Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf. Acesso em: 05 março 2021.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J.; SENTELHAS, P.; GONÇALVES, J.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22. 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- AMARO, V. E. et al. Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil. *Marine Geodesy*, 38, n. 1, 2015. 1-25. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01490419.2014.904257>.
- AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T.; SOUTO, M. V. S. **Geotecnologias aplicadas ao monitoramento costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão**. Natal, RN: Do Autor, 2012. 120 p. ISBN 978-85-913746-0-1.
- AMERICA SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY - ASP. **Manual of Photogrammetry**. 3ª ed. [S.l.]: [s.n.], 1966. 1220 p.
- BARROS, E. L.; GUERRA, R. G. P.; FERNANDES, R. P. Variação da linha de costa no litoral leste do Estado do Ceará: o caso da Resex da Prainha do Canto Verde. *Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza*, v. 53, n.2 (Especial), p.25-33, 2020. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/arquivosdecienciadomar/article/view/42693>. Acesso em: 10 março. 2022.
- BERNARDES, L.M.C., 1951: Os tipos de clima do Brasil. –*Bol. Geogr.*9, 988–997
- BIRD, E. **Coastal geomorphology: an introduction**. Second edition, p. Cm, Jonh Wiley & Sons, Geostudies, 2008.
- BITTENCOURT, R.; ALMEIDA G.; CARPENTIERI, E. Potencial Eólico no Litoral do Ceará e Rio Grande do Norte para Geração de Energia Elétrica. [S.l.]: DEFA-EO-RT, CHESF, 1996. Relatório. 002/96, rev.1
- BRASIL. Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7661.htm. Acesso em: 14 mar. 2022
- BUSMAN, D. V. et al. **Shoreline Changes from 1986 to 2010 on Ponta Negra Beach, Natal / RN**. 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research. Lisboa, Portugal: [s.n.]. 2013.
- CALLIARI, L. J. et al. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 51, 2003. 63-78.

CAMARA, M. et al. Geotecnologias como subsídio para gestão de ambientes costeiros: análise do recuo em falésias/arribas no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e suas implicações socioambientais. **GOT - Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 16, Março 2019. 53-79. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2182-12672019000100004&nrm=iso.

CAMPOS, J.N.B.; STUDART, T. Climatologia. CAMPOS, A. A. (ed) In: A zona costeira do Estado do Ceará: Diagnóstico para a Gestão Integrada. Fortaleza: AQUASIS, 2003. p. 51-53.

CARVALHO, A. M. D.; CLAUDINO-SALES, V. D. Instabilidade costeira em um litoral em espiral: o exemplo da praia da Lagoinha, Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geomorfologia (Online)**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 51-64, Jan-Mar 2017. ISSN 2236-5664. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i1.973>.

CEARÁ. **Lei nº13.796, de 30 de junho de 2006**. Institui a política estadual de gerenciamento costeiro, e o plano estadual de gerenciamento costeiro e dá outras providências. Fortaleza: Diário Oficial do Estado. 3 Julho 2006. p. 5-8.

COSTA, A. B. et al. Dinâmica Costeira e Formação de Spit na Praia do Porto, Município de Itarema, Estado do-Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 04, p. 1610-1628, 2020. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 07 março 2021.

EMBRAPA. **Satélites de Monitoramento**, 2020. Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html. Acesso em: Março 2020.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FRANCO, C. G. D. M.; AMARO, V. E.; SOUTO, M. V. S. Prognóstico da Erosão Costeira no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte para os anos de 2020, 2030 e 2040. **Revista de Geologia**, 25, n. 2, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/geologia/article/view/3055>.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre o Nordeste. **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**, 11 Fevereiro 2014. Disponível em: <http://www.funceme.br/?p=967>. Acesso em: 23 Dezembro 2019.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Gráfico de Chuvas dos Postos Pluviométricos. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 23 Dezembro 2019. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2702. Acesso em: 2019.

FURLAN, A. A. **Falésias na Formação Barreiras: análise regional e proposta tipológica**. Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, p. 262. 2014.

GAO, B.-C. NDWI- A Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, v. 58, p.257- 266, 1996.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 222. 2003.

GRIGIO, A. M. et al. A Method for Coastline Evolution Analysis Using GIS and Remote Sensing—A Case Study from the Guamaré City, Northeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, SPECIAL ISSUE, n. 42, 2005. 412-421. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25737010>. Acesso em: 02 Abril 2020.

HIMMELSTOSS, E. A. et al. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide**. U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1179. Reston, VA, p. 110. 2018a. (2331-1258 (online)).

HIMMELSTOSS, E. A. et al. Digital Shoreline Analysis System (version 5.0): U.S. Geological Survey software release, 2018b. Disponível em: <https://code.usgs.gov/cch/dsas>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama - Beberibe. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/beberibe/panorama>. Acesso em: 2 Abril 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGICA ECONÔMICA DO CEARÁ. Perfil Municipal - Beberibe. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml>. Acesso em: 03 Abril 2020.

LIRA, M. V. **Caracterização da dinâmica ambiental dos municípios de Barroquinha e Chaval, Estado do Ceará, por meio do uso de geotecnologias**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 138. 2016.

MAIA, L.P. Processo costeros y balance sedimentario ao lo largo de Fortaleza (NE-BRASIL): implicaciones para uma gestión adecuada de la zona litoral,1999. Tese (Doutorado). Universidade de Barcelona-Espanha, 269p. 1998

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, 17, n. 7, 1996. 1425-1432. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Brasília: [s.n.], 2018. 760 p. ISBN 978-85-7738-394-8.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. O que são? **Ministério do Meio Ambiente**, 2020. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/o-que-sao.html>. Acesso em: 2 Abril 2020.

MORAIS, J. O. D. et al. Caracterização Fisiográfica e Geoambiental da Zona Costeira do Estado do Ceará. In: _____ **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. [S.l.]: Dieter

Muehe, organizador. – Brasília: MMA, 2006. Cap. CEARÁ, p. 131-154. ISBN 85-7738-028-9. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/80-gestao-costeira-g-erosao-e-progradacao>. Acesso em: 02 Abril 2020.

MORAIS, J.O.; PINHEIRO, L.S.; PESSOA, P.R.S.; FREIRE, G.S.; CARVALHO, A.M.; GUERRA, R.G.P.; BARROS, E.L.; MOURA, F.J.M. Capítulo Ceará. In: Erosão e progradação do litoral brasileiro. MUEHE, D. (Coordr); Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2ed. Rio de Janeiro, v.1, p. 261 – 289, 2018

MORAIS, J.O. et al. The gabions for the protection of Caponga Beach, Ceará/Brazil: Hazardsand Management. *Journal of Coastal Research*39, p. 848-851. 2006.

MORAIS, J.O. et al. Ceará. In: Muehe,D. (ed). Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro,1ed., Brasília: MMA, 2006. p. 132-134.

MOURA, F. M. D. **Análise Geoespacial De Dados Multiespectrais No Estudo Temporal Da Linha De Costa Da Praia De Parajuru, Ceará-Nordeste Do Brasil**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, p. 178. 2017.

MUEHE, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: [s.n.], 2006. ISBN 85-7738-028-9. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008084856.pdf. Acesso em: 1 Outubro 2018.

MUEHE, D. Brazilian coastal vulnerability to climate change. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences - PANAMJAS. Special Issue: Climate Change and Brazilian Coastal Zone**, v. 5, n. 2, p. 173-183, Outubro 2010. ISSN 1809-9009. Disponível em: [https://panamjas.org/pdf_revistas/PANAMJAS_5\(2\).pdf](https://panamjas.org/pdf_revistas/PANAMJAS_5(2).pdf). Acesso em: 2 Abril 2020.

PANIZZA, A. D. C.; ROCHA, Y. T.; DANTAS, A. O litoral brasileiro: exploração, ocupação e preservação – Um estudo comparativo entre regiões litorâneas dos Estados de São Paulo e Rio Grand e do Norte. **RA'E GA**, Curitiba, n. 17, p. 7-16, 2009.

PEREIRA, L. E. et al. Análise Comparativa entre Métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em Área Úmida Continental - Comparative Analysis of Normalized Difference Water Index (NDWI) Methods in Continental Wetland. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 41, Agosto 2018. 654-662. Disponível em: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_654_662.

PINÉO, T. R. G.; PALHETA, E. S. M.; COSTA, F. G.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, I. P.; GOMES, F. E. M.; BESSA, M. D. M. R.; LIM A, A. F.; HOLANDA, J. L. R.; FREIRE, D. P. C. Mapa Geológico do Estado do Ceará. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Ceará. Escala 1:500.000. Fortaleza: CPRM , 2020, 1 mapa.

PINHEIRO, D.R. Análise do comportamento hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário do Rio Pirangi - Ceará (NE/Brasil). 2003. 176f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-graduação em geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

Projeto mapa geológico e de recursos minerais do estado do Ceará / Organizadores Tercyo Rinaldo Gonçalves Pinéo [e] Edney Smith de Moraes Palheta. – Escala: 1:500.000 – Fortaleza : CPRM, 2021.

PRUDÊNCIO, M. D. C. **Evolução Costeira de Praias Arenosas no Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. [S.l.], p. 114. 2019.

PRUDÊNCIO, M. D. C.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C. Análise da Evolução Costeira entre os Anos de 1984 e 2014 de Trecho do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, 42, n. 4, 2019. 189-205. Disponível em: http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2019_4/2019_04_189_205.pdf.

RODRIGUES, L. I. D. C.; SILVA, R. M. N. D. **Uso do VANT no aterro de resíduos sólidos do Jangurussu – Fortaleza, CE – para fins de análise de risco potencial à erosão**. Monografia (Departamento de Geologia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 60. 2018.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. Comitê das Bacias Hidrográficas Metropolitanas, 2019. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/comite-das-bacias-hidrograficas-metropolitanas/>. Acesso em: 24 Dezembro 2019.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. Plano de Manejo Monumento Natural das Falésias de Beberibe, 2019. Disponível em: https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2020/06/Encarte_3_Diagn%C3%B3stico-MONA-das-Fal%C3%AAsias-de-Beberibe.pdf. Acesso em: 13 mar. 2022.

SILVA, C. A. D. **Avaliação da Acurácia dos Ortomosaicos e Modelos Digitais do Terreno Gerados por VANT e sua Aplicação no Cálculo de Volume de Pilhas de Rejeito da Pedra Cariri**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 146. 2015.

SILVA, D. L. D. et al. Monitoramento espaço temporal da malha urbana e da linha de costa por GPS e VANT: praia Enseada dos Corais, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 06, p. 1861-1879, 2016. ISSN 1984-2295. Disponível em: www.ufpe.br/rbgfe. Acesso em: 07 março 2021.

SILVA, D. Q. **Viabilidade e acurácia de VANT Para o monitoramento costeiro tridimensional**. Dissertação (Programa De Pós-Graduação Em Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Recife, p. 95. 2018.

SILVA, G.K. et al. Estudo dos Padrões de Ventos Offshore no Litoral do Ceará Utilizando Dados Estimados pelo Produto de Satélites BSW. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, 579-690, 2017 [rbmet.org.br DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324015](http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324015)

SILVA, J. M. D. O. **Monumento Natural das Falésias de Beberibe: diretrizes para o planejamento e gestão ambiental**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 207. 2008.

SILVA, J. M. O. et al. **Evolução Espaço-Temporal de duas praias representativas do Município de Beberibe – litoral leste do Ceará.** II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE: [s.n.]. 2008.

SILVA, J. M. O.; SILVA, E. V. D. Caracterização preliminar do monumento natural das falésias de Beberibe – CE. **Cadernos de Cultura e Ciência**, v. 2, n. 2, p. 2-12, Maio 2007. ISSN 1980-5861. Disponível em: <http://periodicos.urca.br/ojs/index.php/cadernos/article/view/110/71>. Acesso em: 03 abril 2019.

SILVA, J. M.; SILVA, E. Planejamento ambiental em uma unidade de conservação no município de Beberibe – Ceará. **Geografia Ensino & Pesquisa**, 16, n. 2, Outubro 2012. 129-145. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272704929_Planejamento_ambiental_em_uma_unidade_de_conservacao_no_municipio_de_Beberibe_-_Ceara.

SILVA, M. T. D. et al. Variação da Linha de Costa na Região Adjacente à Foz do Rio Apodi-Mossoró por Sensoriamento Remoto (Coastline Change in the Region Adjacent to the mouth of the Apodi-Mossoró River by Remote Sensing). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 8, n. 3, Dezembro 2015. 967-980. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232938>. Acesso em: 02 Abril 2020.

SMITH, M. & CROMLEY, R.. (2012). Measuring Historical Coastal Change using GIS and the Change Polygon Approach. T. GIS. 16. 3-15. 10.1111/j.1467-9671.2011.01292.x.

SORENSEN, J. C.; MCCREARY, S. T. Institutional Arrangements for Managing Coastal Resources and Environments. **Renewable Resources Information Series - Coastal Management Publication**, Washington, D.C, v. 1, n. Second Edition, 1990. Acesso em: 05 março 2021.

SOUTO, M. et al. Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the basis of remote sensing products and integration in GIS. **Journal of Coastal Research**, SPECIAL ISSUE, n. 39, Dezembro 2006. 1618-1621. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25743031>. Acesso em: 02 Abril 2020.

SOUTO, M. V. S. **Análise multitemporal dos elementos geoambientais da região da Ponta do Tubarão, área de influência dos campos petrolíferos de Macau e Serra, município de Macau/RN.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 130. 2004.

SOUTO, M. V. S. **Análise da evolução costeira do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, região sob influência da indústria petrolífera.** Tese (Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 151. 2009.

SOUZA, C. D. D. et al. Emprego de imagens Landsat na análise temporal da linha de costa da porção oeste do estado do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, 29, n. 2, 2016. 181-194. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/geologia/article/view/6327>.

SOUZA, C. R. D. G. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil (Coastal Erosion and the Coastal Zone Management Challenges in Brazil). **Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 9, n. 1, p. 17-37, Março 2009. Disponível em: http://abes-sp.org.br/docs/pdf/celia_erosao_costeira_e_desafios_gestao_costeira.pdf. Acesso em: 3 Abril 2020.

SOUZA, W. F. D. **Sensoriamento Remoto e SIG Aplicados à Análise da Evolução Espaço-temporal da Linha de Costa do Município de Icapuí, Ceará - Brasil**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2016.

SUGAHARA, J. W.; SOUZA, M. J. N. D. O Monumento Natural das Falésias de Beberibe e os impactos causados na comunidade dos artesãos da praia do Morro Branco, Ceará, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodema**, Fortaleza, v. 4, n. 1, p. 7-24, Janeiro 2010. ISSN 1982-5528. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/51>. Acesso em: 02 Abril 2020.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Monumento Natural das Falésias de Beberibe. **Superintendência Estadual do Meio Ambiente**, 2010. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/2010/12/08/monumento-natural-das-falesias-de-beberibe/>. Acesso em: 3 Abril 2020.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Reestruturação e atualização do mapeamento do projeto Zoneamento Ecológico-Econômico do Ceará – zona costeira e unidades de conservação costeiras. Relatório final de caracterização ambiental e dos mapeamentos**. Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE. Fortaleza - CE. 2016.

THIELER, E. R. et al. **The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change**. U.S. Geological Survey. Reston, VA. 2009. User Guide; Installer; Installer Package; Sample Data.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY. Landsat Collections - Landsat Collection 1. **U. S. GEOLOGICAL SURVEY**, 2019a. Disponível em: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-collection-1?qt-science_support_page_related_con=1#qt-science_support_page_related_con. Acesso em: Agosto 2019.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY. Landsat Mission - Landsat Level-1 Processing Details. **U. S. Geological Survey**, 2019b. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-level-1-processing-details>. Acesso em: Agosto 2019.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Landsat Geometry - Ground Control Points. **U.S. Geological Survey**, 2020. Disponível em: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/ground-control-points>. Acesso em: Março 2020.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. What are the processing levels for Landsat Level-1 data? **U.S. Geological Survey**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-processing-levels->

landsat-level-1-data?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products. Acesso em: Março 2020.

VIEIRA, M.C., 1960: Elementos de Geografia e Cartografia. –Bol. Geogr.18, 268–333.

XIMENES, D. R. B.; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R. **Análise multitemporal da linha de costa para avaliação da evolução costeira na região de Icapuí/CE, Nordeste brasileiro, no período de 1984 a 2011.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16 (SBSR). Foz do Iguaçu. [S.l.]: Anais. São José dos Campos: INPE. 2013. p. 1618-1625.