

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

ANALYSIS OF COASTAL EVOLUTION IN THE MUNICIPALITY OF BEBERIBE, STATE OF
CEARÁ, BETWEEN THE YEARS 1979 TO 2019

Camila Praxedes Braga TEIXEIRA¹, Michael Vandesteen Silva SOUTO², Lívian Rafaely
de Santana Gomes PINHEIRO², Maria de Fátima Alves de MATOS²,
Daniel Dantas Moreira GOMES³

¹Universidade Federal do Ceará. Avenida da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza - CE E-mail: kmilapraxedes@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Laboratório de Geoprocessamento. Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Lagoa
Nova, Natal - RN E-mails: michael.souto@gmail.com; livianrafaely@gmail.com; mfatimaalves.m@gmail.com

³Universidade de Pernambuco (UPE/Garanhuns). Rua Capitão. Pedro Rodrigues - São José, Garanhuns - PE.

E-mail: daniel.gomes@upe.br

Introdução

Geotecnologias e a aplicação da série histórica LANDSAT

Área de estudo

Materiais e métodos

Equipamentos e softwares aplicados

Etapa prévia e aquisição de dados

Processamento dos dados

Composição colorida das imagens

Setorização das áreas

Cálculo de taxas de variação das linhas de costa

Resultados e discussões

Evolução interdecadal da linha de praia – Setor 1

Evolução interdecadal da linha de praia – Setor 2

Evolução interdecadal da linha de praia – Setor 3

Evolução interdecadal da linha de praia – Setor 4

Conclusões

Agradecimentos

Referências

RESUMO - Por conta da necessidade de proteção, conservação, ordenamento das atividades turísticas e de ocupação ao longo das regiões costeiras, faz-se necessário o monitoramento dos processos associados a transformação desse tipo de paisagem altamente dinâmica e complexa. Desta feita, esse artigo teve como objetivo o monitoramento regionalizado das modificações da linha de costa no município de Beberibe, no estado do Ceará (Nordeste do Brasil), entre os anos de 1979 a 2019 por meio da utilização das imagens históricas da série LANDSAT. Para quantificação de perda e ganho de área, em função da dinâmica costeira, foram seccionados 4 setores principais e 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. Foram identificadas que a maior variabilidade costeira está relacionada ao Setor 1, e que a menor variação decadal da linha de costa está associada as falésias da Formação Barreiras presentes no Setor de Estudo 4. Constatou-se que essa variação entre os setores está diretamente relacionada as principais feições morfológicas encontradas e com a escala de análise empregada.

Palavras-chave: *Change Polygon*. DSAS. LANDSAT. Linha de costa. Erosão costeira.

ABSTRACT - Because of the need for protection, conservation, planning of tourism activities and occupation along the coastal regions, it is necessary to monitor the processes associated with the transformation of this type of highly dynamic and complex landscape. Thus, this paper aimed at the regionalized monitoring of shoreline modifications in the municipality of Beberibe, in the state of Ceará (Northeastern Brazil), between the years 1979 to 2019 through the use of historical images from the LANDSAT series. For quantification of area loss and gain, as a function of coastal dynamics, 4 main sectors were sectioned and the *Change Polygon* methods were applied, already 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 Barrier Formation present in Study Sector 4. It was found that this variation between sectors is directly related to the main morphological features found and with the scale of analysis employed.

Keywords: *Change Polygon*. DSAS. LANDSAT. Coastline. Coastal Erosion.

INTRODUÇÃO

Como observado por Carvalho & 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 contido 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. O 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) traz à tona a necessidade de proteção, conservação, ordenamento das atividades turísticas e de ocupação (SEMACE, 2010) dessas regiões que costumam apresentar uma variedade de feições geomorfológicas e geológicas produzidas por transformações espaciais e temporais ao longo do tempo, como descrito por Moura (2017).

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 constante 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).

O presente trabalho tem como objetivo identificar, quantificar e comparar os setores mais susceptíveis a mobilidade da linha de costa e as áreas mais propícias ao processo dinâmico de desgaste costeiro na região do município de Beberibe ao longo de 40 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) a partir de imagens orbitais da série histórica LANDSAT.

Geotecnologias e a aplicação da série histórica LANDSAT

De acordo com Souza (2016) a utilização de produtos de sensores remotos torna possível a visualização das modificações e transformações no ambiente em um período 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 dessa forma uma infinidade de aplicações práticas, entre elas o acompanhamento da morfodinâmica costeira em escalas temporais diversas, como as pesquisas

realizadas por Amaro et al. (2014), 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 quanto pela datação 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. Esses estudos em escalas temporais distintas facilitam a percepção das mudanças ocorridas ao longo de um período definido de tempo, possibilitando análises decadais e interdecadais detalhadas voltadas a prognósticos costeiros, como as abordadas nesse artigo.

Área de estudo

O município de Beberibe possui 52 km de litoral e encontra-se associado ao chamado Setor Leste do Estado do Ceará (Lira, 2016) juntamente a outros 6 municípios que fazem efetivamente fronteira com o mar (Icapuí, Aracati, Itaiçaba, Fortim, Cascavel e Pindoretama) (Morais et al., 2018), como delimitado na figura 1.

É uma das regiões com as praias mais visitadas do chamado Litoral Leste cearense, dentre as quais destacam-se a Praia de Morro Branco e a Praia das Fontes por abrigarem o Monumento Natural das Falésias de Beberibe (MNFB), uma unidade de conservação de uso sustentável que ocupa cerca de 31,29 hectares. Está inserido na microrregião de Cascavel, mesorregião do Norte Cearense e apresenta aproximadamente 85 km de distância da sede da cidade de Beberibe para a capital do Estado, Fortaleza.

O Litoral Leste do Ceará apresenta um arcabouço geológico marcado principalmente por rochas do embasamento Pré-Cambriano, sedimentos de idade neógena da Formação Barreiras e depósitos Quaternários (Souza, 1998). O pré-cambriano representado pelo Complexo Ceará – Unidade Canindé, sendo constituído por paragneisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortogneisses ácidos e rochas metabásicas, (CPRM, 2003 e Moura, 2017). A Formação Barreiras representa de maneira geral o período Neógeno, sendo composta

por sedimentos areno-argilosos com granulação de fina a média, datados entre o Mioceno e o Pleistoceno, e apresentam cores que variam do branco ao amarelo e vermelho (Moura, 2017; Silva & Silva, 2012). Os tabuleiros pré-litorâneos estão associados a 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).

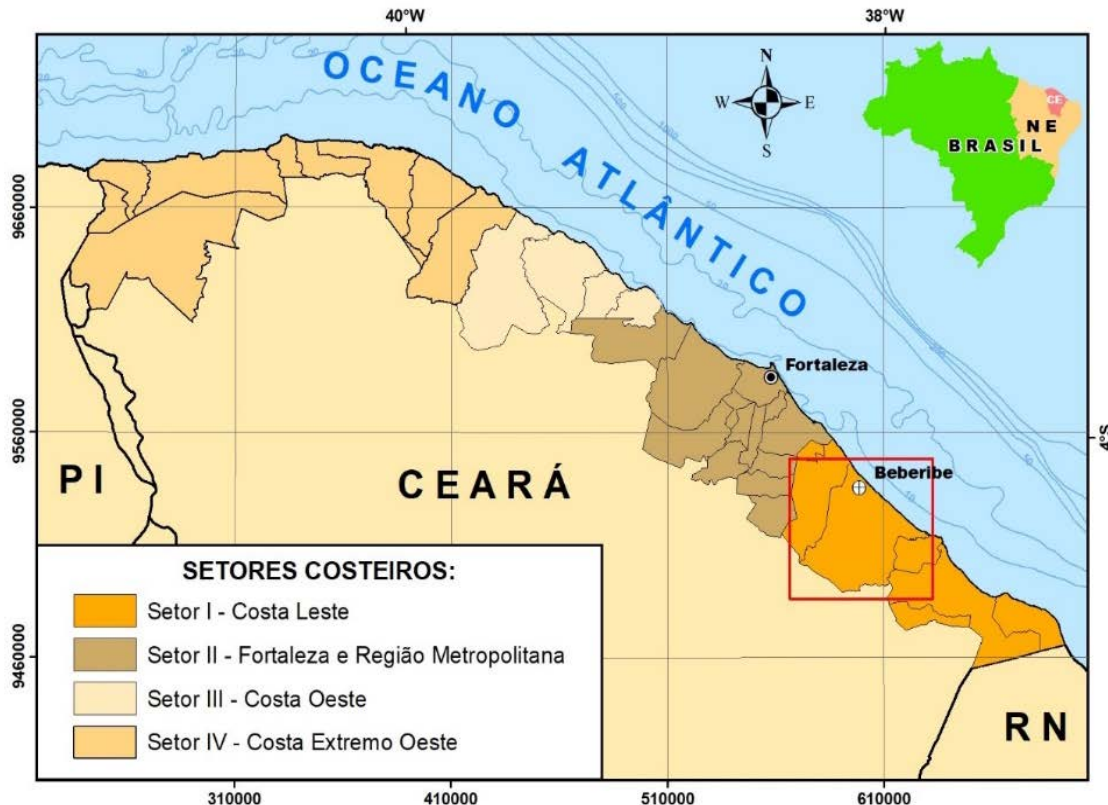


Figura 1 - Setores costeiros do Estado do Ceará, estando em destaque o município e sede de Beberibe. Adaptado de Lira (2016).

Os depósitos eólicos litorâneos, fluviomarinhos, marinhos e aluvionares representam o período Quaternário na área de estudo (CPRM, 2003). Esses depósitos estão inseridos nos ambientes atuais de sedimentação (Muehe, 2006 e Pinheiro, 2003), sendo associados a unidade geoambiental caracterizada por Silva (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. Apresentam uma granulometria variada e estão espacialmente dispostos sobre a Formação Barreiras, em regime de acumulação, de acordo com Souza (1998).

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 (1.338mm) em direção a Icapuí (949,2mm) (Campos & Studart, 2003). Essa alternância entre períodos secos e chuvosos no Estado do Ceará está associada a migração do ZCIT, que coincide com a sazonalidade nas velocidades de vento na região de estudo (Bittencourt et al., 1996).

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). Nos meses de março e abril, ápices do período chuvoso, predominam ventos de SE (120°-150°) ao longo do dia, passando a SSE-S (150°-180°+) durante a noite (Maia et al., 1998). A velocidade média dos ventos chega a variar de 3 a 9m/s, onde o período entre maio e agosto os ventos predominantes são de ENE-E (60°-90°) durante o dia, e E-SE (90°-150°) à noite (Maia et al., 1998). 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).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos realizados permitiram avaliar as mudanças no contorno da linha de costa para um período de 40 anos avaliados (1979 a 2019), por meio da série temporal das imagens LANDSAT (sensores MSS, TM, ETM+ e OLI), para o município de Beberibe. Com os métodos *Change Polygon* e *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) pôde-se quantificar os valores de área de erosão e de deposição de quatro setores de interesse selecionados para o município de Beberibe.

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 qualitativa do litoral pesquisado. Sendo possível calcular também, em unidades de área, os valores de deposição e de erosão, que posteriormente com esses dados pode-se calcular balanço sedimentar no intervalo de tempo avaliado, como proposto por Amaro et al. (2012).

Enquanto isso o DSAS, que é uma extensão desenvolvida por Thieler et al. (2009) e que está disponibilizada pela USGS, para o 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 do uso da extensão, bem como pela qualidade das estatísticas geradas pelo DSAS para as análises de variação, mobilidade e amplitude da linha de costa.

Equipamentos e softwares aplicados

Para execução do estudo multitemporal foi determinante a escolha das imagens orbitais da série LANDSAT devido ao vasto acervo de imagens disponíveis (desde 1972 até os dias atuais) e a possibilidade de obtenção gratuita através da *United States Geological Survey* (USGS). O realce das informações espectrais contidas nas imagens foi realizado por meio de técnicas de PDI, onde foram aplicadas combinações coloridas no sistema de cores *Red-Green-Blue* (RGB) e manipulação histogrâmica, 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 de satélite da série LANDSAT.

A vetorização das linhas de costa deu-se 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 no cálculo das taxas de recuo (*End Point Rate* - EPR), das taxas de mobilidade (*Net Shoreline Movement* - NSM) e das taxas de amplitude de variação da linha de costa (*Shoreline Change Envelope* - SCE) analisadas nesse trabalho.

Etapa prévia e 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 obter um acervo 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.

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, 2019).

Tabela 1 - Parâmetros das imagens GLS da série LANDSAT.

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

Fonte: USGS (2019).

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, 2019).

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 eliminar qualquer diferença nas condições climáticas e de maré, diminuindo assim os possíveis erros associados a vetorização das linhas de costa (LC), como apontado na tabela 2.

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.

Tabela 2 - Imagens utilizadas no estudo desenvolvido.

Banco de Imagens LANDSAT						
Características das Imagens				Datas de Aquisição		
Satélite	Sensor	Órbita/Ponto	Resolução Espacial	Dia	Mês	Ano
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).

Processamento dos dados

Composição colorida das imagens

Utilizou-se o limite terra/mar para demarcação precisa 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., 2014; Camara et al., 2019; Grigio et al., 2005; Prudêncio, 2019; Silva, 2015).

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.

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

A escolha da definição de NDWI utilizada nas imagens constituiu na finalidade principal da composição, que de forma simplificada, segundo Pereira et al. (2018), o método apresentado por McFeeters objetiva realçar a delineamento 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.

Assim para cada sensor LANDSAT adotou-se as seguintes razões adaptadas para representação do índice NDWI, baseando-se na fórmula de McFeeters (Tabela 3).

Tabela 3 - Correspondência de razões NDWI para cada sensor LANDSAT utilizado no estudo em questão.

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

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 2).

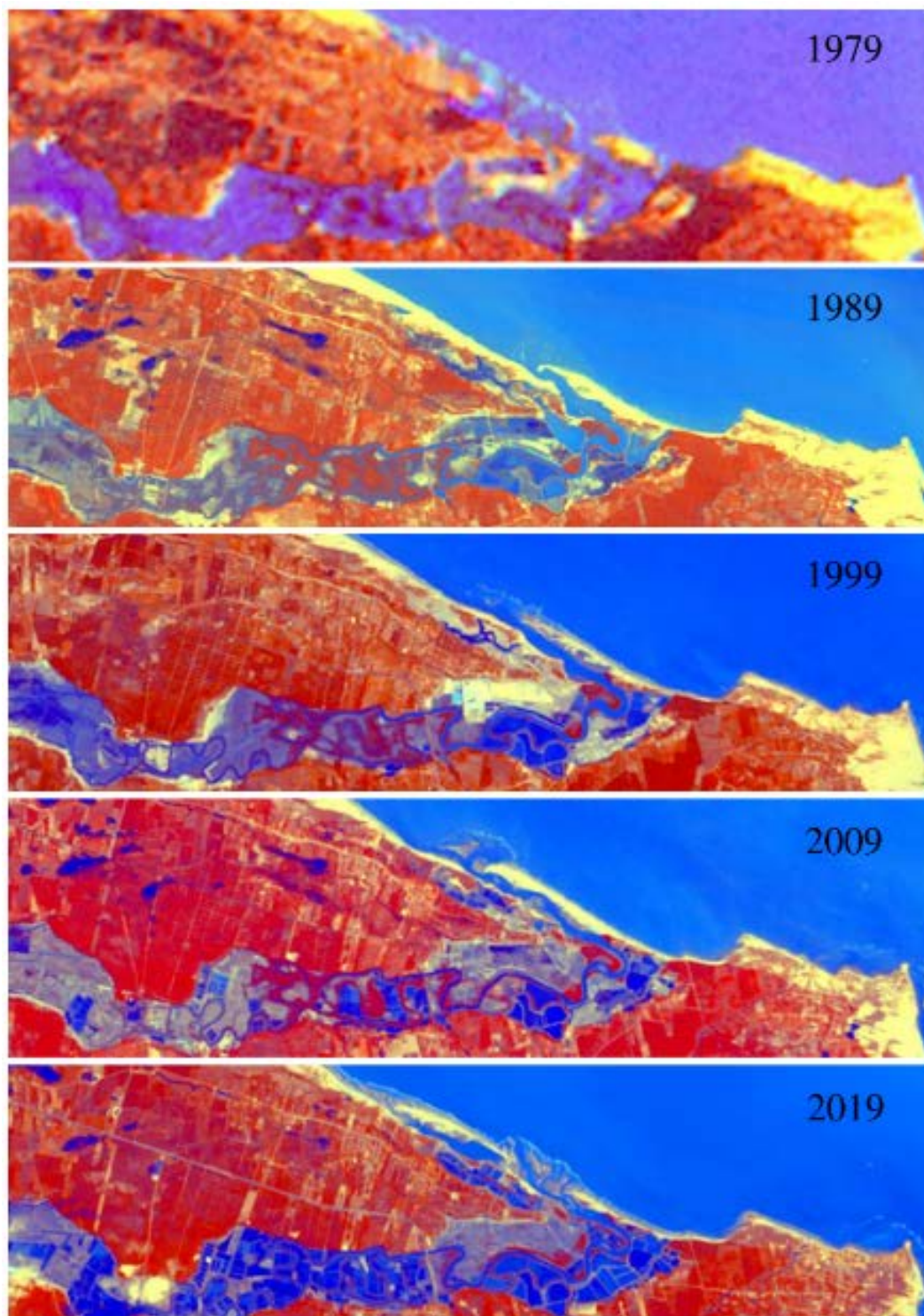


Figura 2- Delimitação da LC, em imagens da série LANDSAT, a partir da utilização do índice de vegetação para diferenciação de feições como areia seca, areia úmida e águas oceânicas.

Além das principais composições citadas e utilizadas, foram ainda realizados outros testes no sistema de cores RGB apresentados na tabela 4, como suporte para a delimitação da LC.

Tabela 4- Outras composições em RGB, testadas e utilizadas nas imagens da série LANDSAT, para delimitação da LC.

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

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, e também entre os corpos hídricos e a vegetação.

Setorização das 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 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, 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).

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 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.

Foi gerado 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 (Figura 3) 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

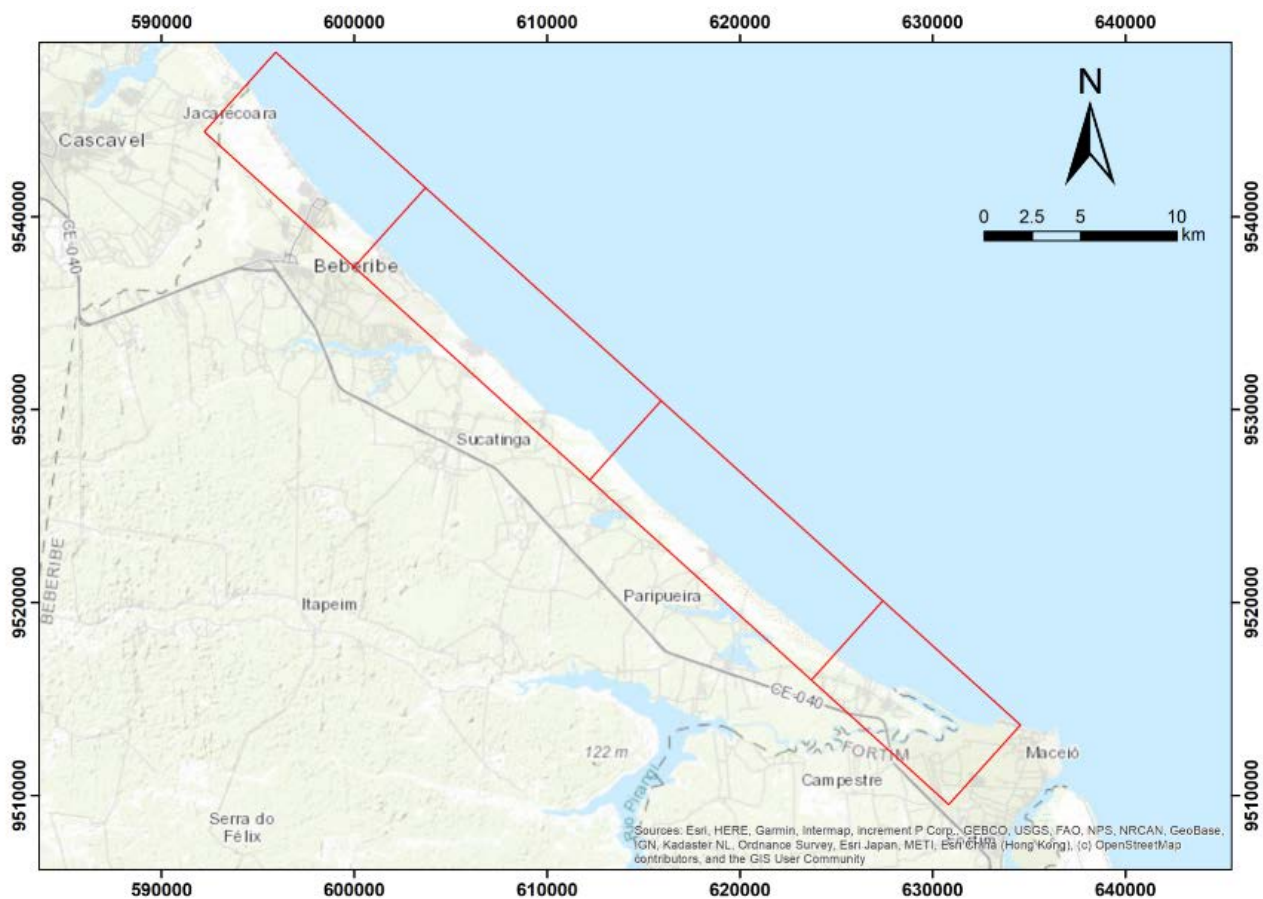


Figura 3 - Mapa da setorização da linha de costa do município de Beberibe.

por meio de taxas estatísticas. 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; (iv) em caso de interseção entre os transectos, foi elegido o mais distante, com distância de suavização da ordem de 100.

Dentre as taxas estatísticas geradas pela ferramenta DSAS, foram definidas e analisadas nesse trabalho: EPR (m/ano), SCE (m) e NSM (m). 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. Segue uma breve descrição de cada uma das taxas avaliadas no artigo, segundo Himmelstoss et al. (2018):

(1) *End Point Rate* (EPR) – é obtida através da divisão entre as distâncias das linhas mais antiga e mais recente pelo tempo decorrido entre elas, 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, e é expressa em metros.

(3) *Net Shoreline Movement* (NSM) – 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. Para os valores de EPR, esses relacionados a variação da linha de praia, foram definidas 7 classes principais (Figura 4), sendo essas adaptadas de Amaro et al. (2012) e Prudêncio (2019).

As classes referentes aos valores de NSM, relacionados a mobilidade da linha de praia, estão divididas em um total de 7 classes conforme apresentado na figura 5.

Os valores encontrados para amplitude de variação da linha de praia, ou também chamada de taxa SCE, foram divididos em 5 classes principais (Figura 6). As duas últimas classificações foram igualmente adaptadas de estudos realizados por Amaro et al. (2012), Busman et al. (2013) e Prudêncio (2019).

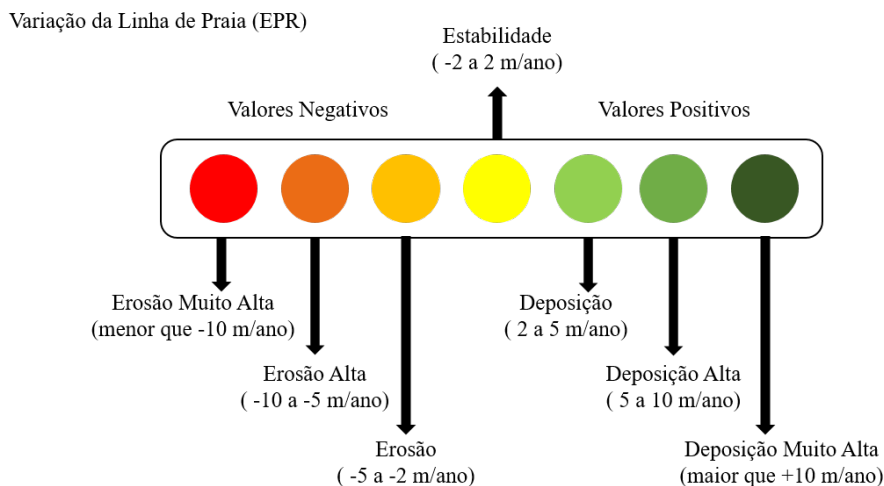


Figura 4 - Valores e classes para a taxa de EPR definidos na pesquisa.

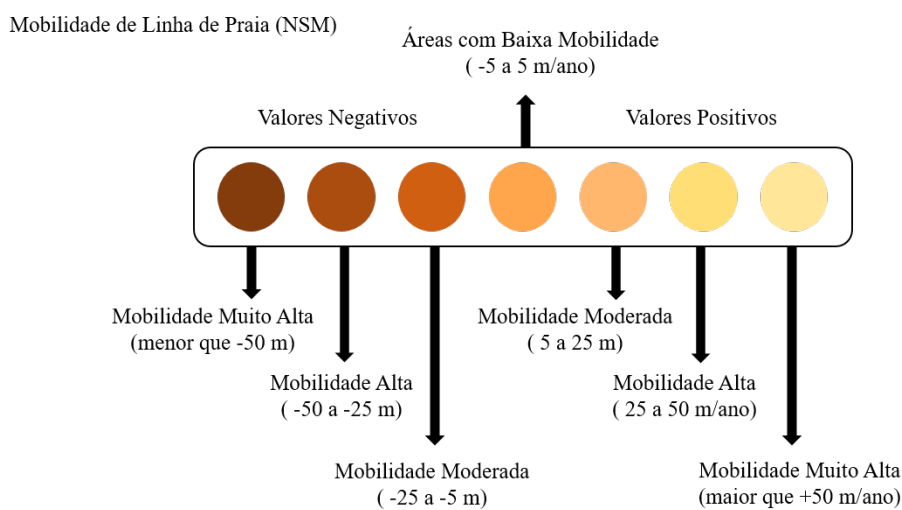


Figura 5 - Valores e classes para a taxa de NSM definidos na pesquisa.

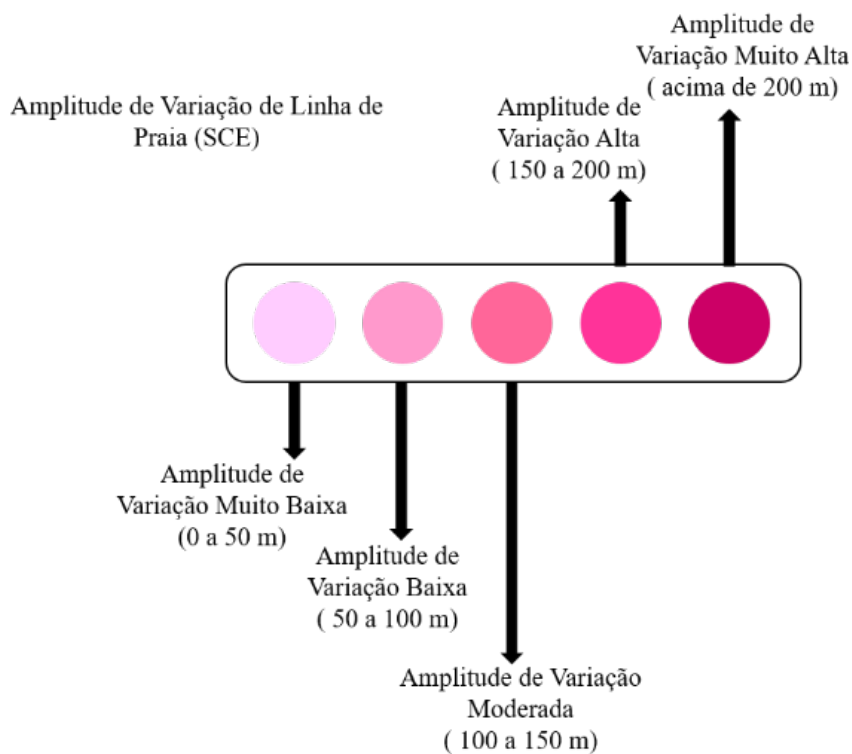


Figura 6 - Valores e classes para a taxa de SCE definidos na pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evolução interdecadal da linha de praia – 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, com um total de 11,08 km de extensão de LC considerando a imagem LANDSAT referente ao ano de 2019. Esse setor engloba as praias de Parajuru e Gambôa em Beberibe, Pontal de Pirangi e praia das Agulhas em Fortim. Apresenta feições morfológicas importantes como a foz do rio Pirangi, o *spit* arenoso adjacente à desembocadura, e o promontório associado a 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 pelo método de diferença de polígonos, estão apresentados na tabela 5. 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 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 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 comprovam o desenvolvimento mais efetivo do *spit* arenoso, localizado próximo a foz do rio Pirangi, entre as décadas de 1979-1989 (Figura 7).

Tabela 5 - Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 1, com valores determinados através do método *Change Polygon*.

Balanço Sedimentar - SETOR 1					
Período	1979-1989	1989-1999	1999-2009	2009-2019	1979-2019
Erosão (km ²)	0,08	0,68	0,51	0,96	0,99
Acreção (km ²)	1,64	0,12	0,37	0,29	1,19
'Razão A/E	20,5	0,18	0,73	0,30	1,20
Classificação	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo

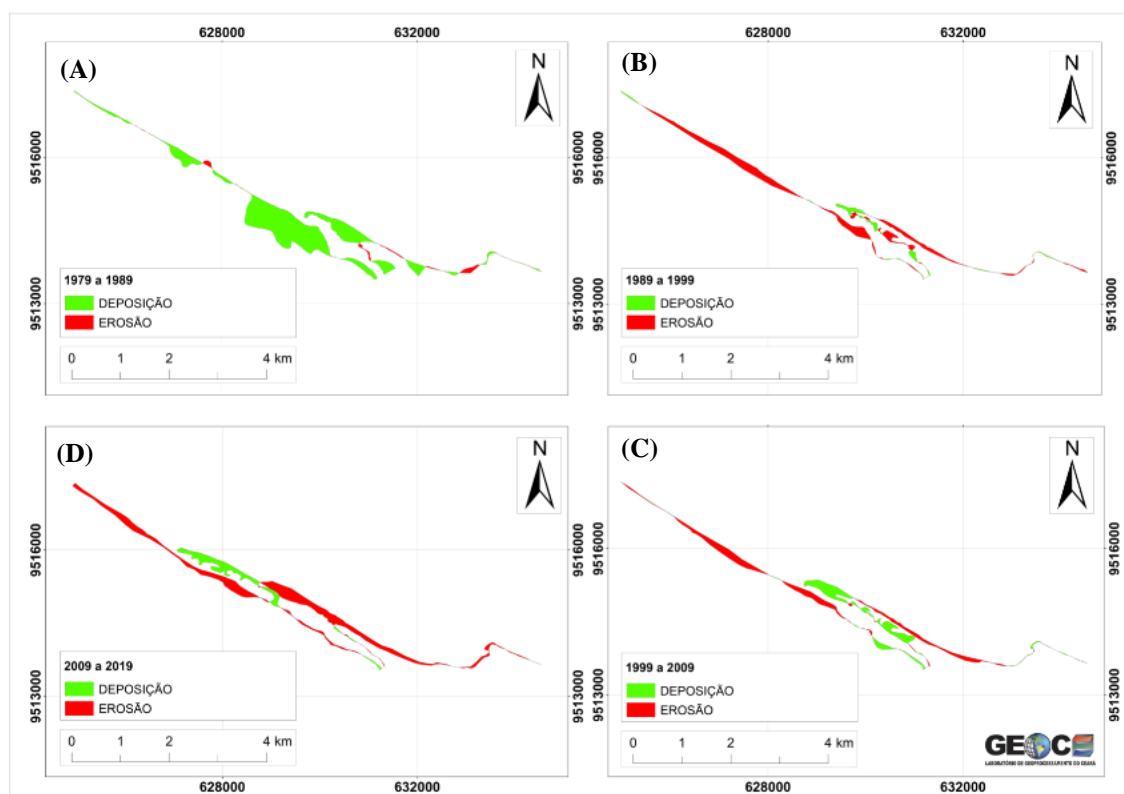


Figura 7 - Análise de Change Polygon para o setor de estudo 1, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019.

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. 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.

Toda essa dinâmica de movimentação do *spit* arenoso de um município a outro pôde ser observada pela utilização do método *Change Polygon* (Figura 7). O trecho mais exposto à incidência das ondas difratadas pelo promontório sofreu processo intensificado de retirada de sedimentos, carreados 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.

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 a 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 a variação da linha de praia (EPR) na década analisada (Figura 8). 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 11): 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.

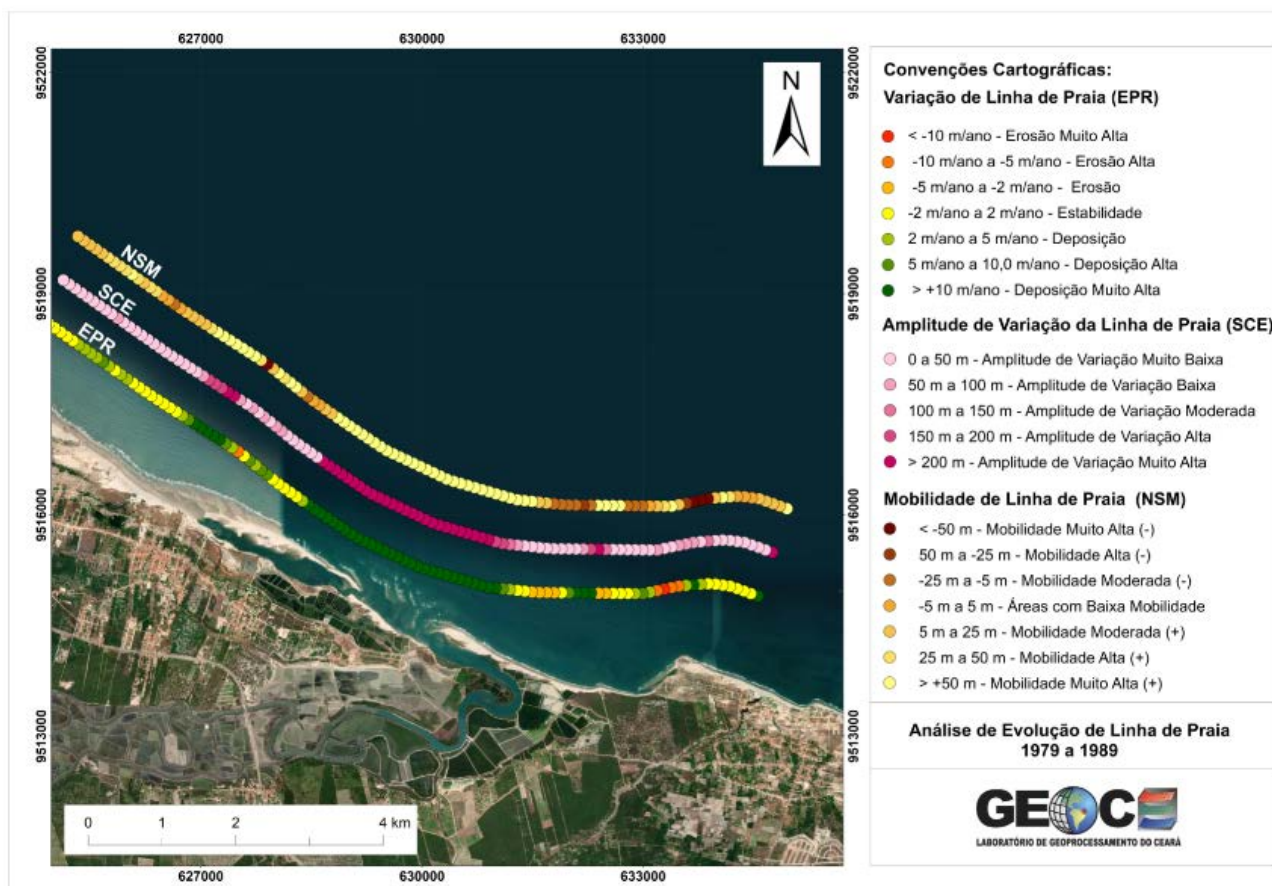


Figura 8 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 1979-1989.

Para a taxa de SCE, os valores encontrados na década de 1979-1989 (Figura 8) 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 9) 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.

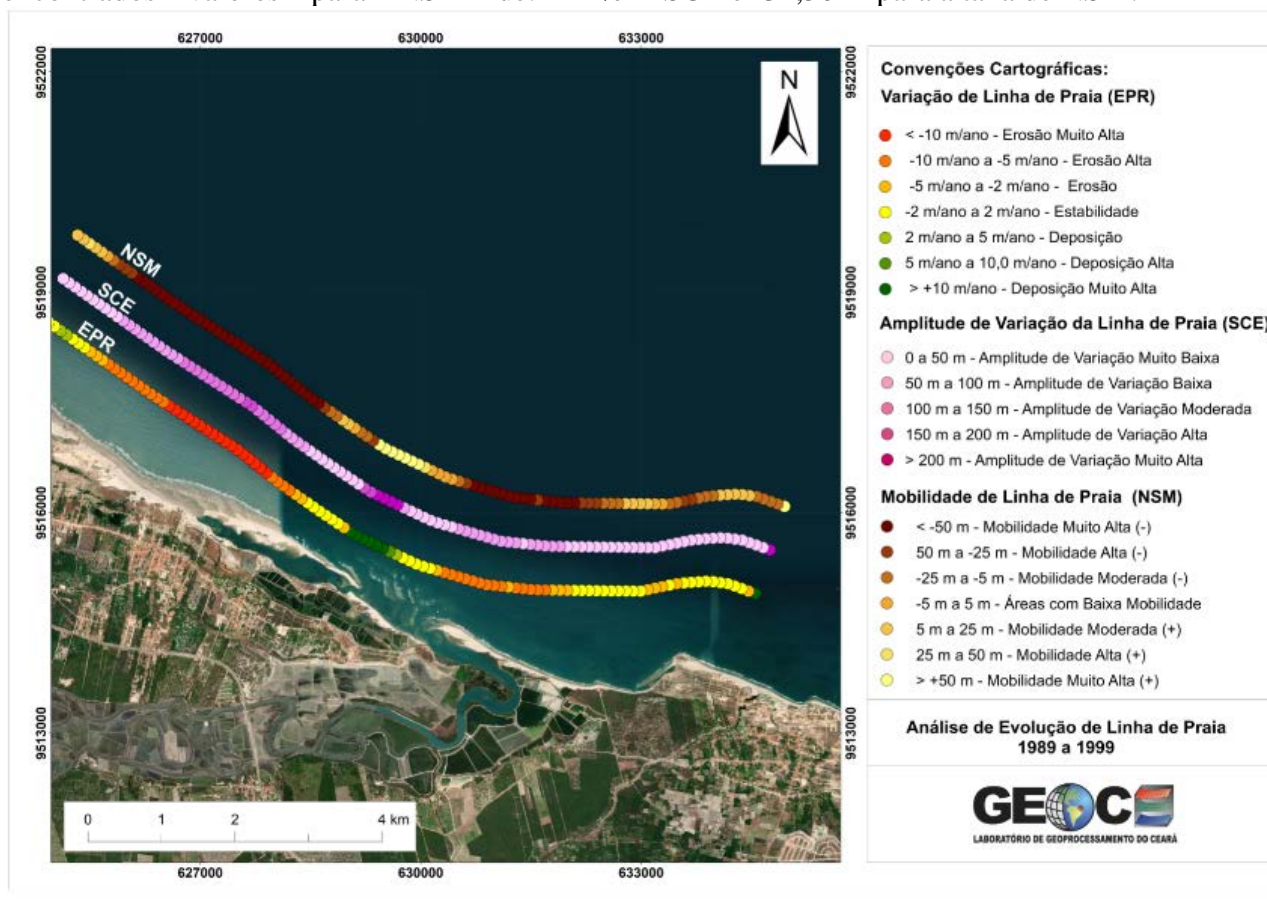


Figura 9 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 1989-1999.

A partir dos 108 transectos gerados para a década de 1999-2009 (Figura 10), 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.

Na década de 2009-2019 (Figura 11), 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%

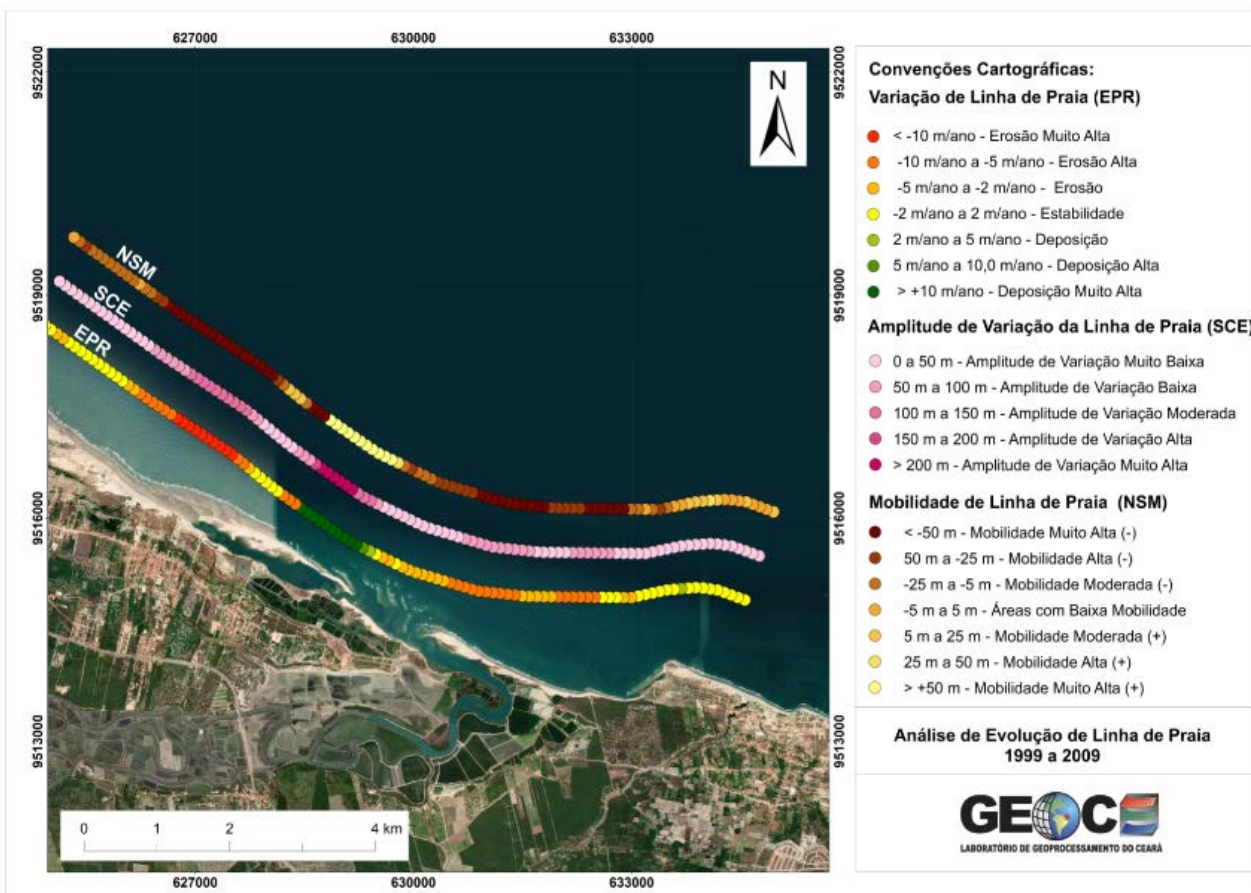


Figura 10 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 1999-2009.

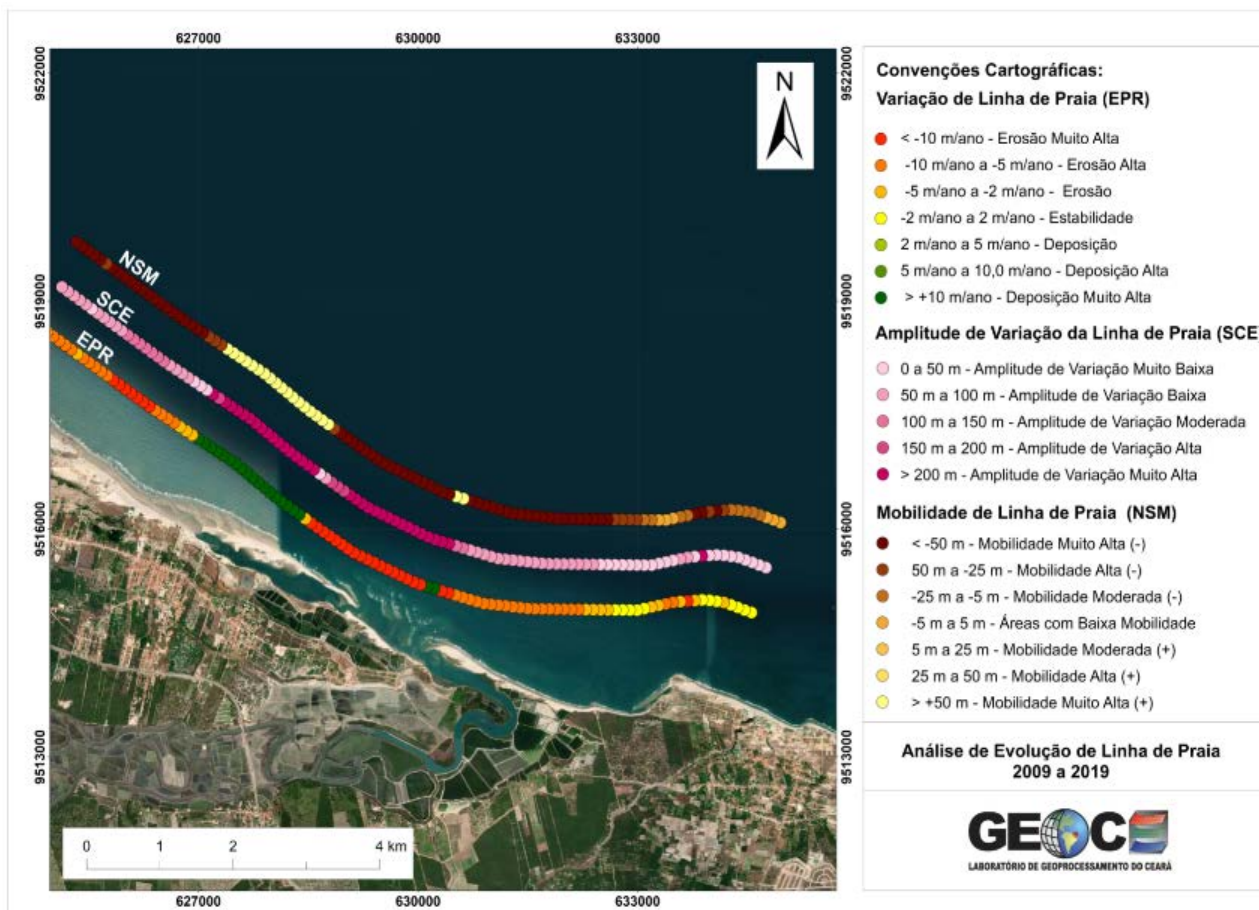


Figura 11 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 1, período de 2009-2019.

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 che-garam a: 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.

Os valores expostos de acordo com as taxas calculadas, 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.

Evolução interdecadal da linha de praia – 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. Abriga em seus limites as praias de Canto Verde, Ariós, Piquiri além da Reserva Extrativista Prainha do Canto Verde, uma unidade de conservação federal 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 12), ocasionando um balanço sedimentar total negativo 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 6).

Tabela 6 - Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 2, com valores determinados através do método Change Polygon.

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

Como descrito na Tabela 6, 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 6). 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. 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 12).

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 13), 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.

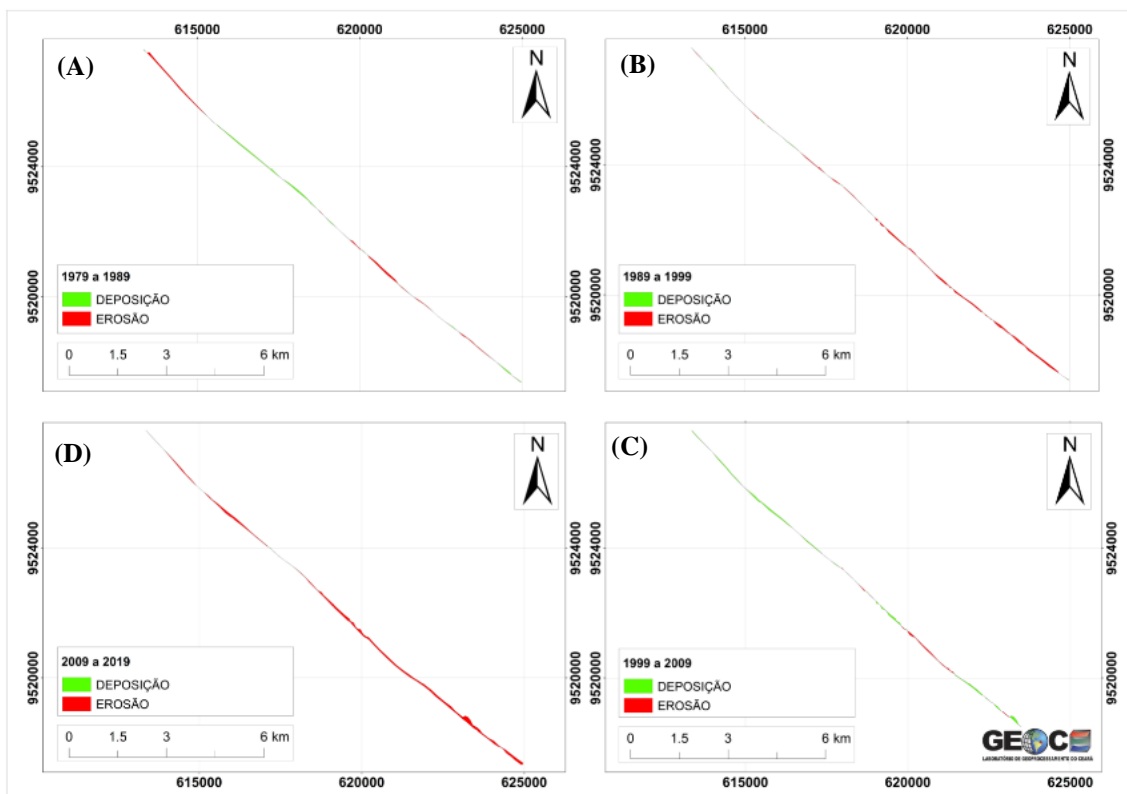


Figura 12 - Análise de Change Polygon para o setor de estudo 2, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019.

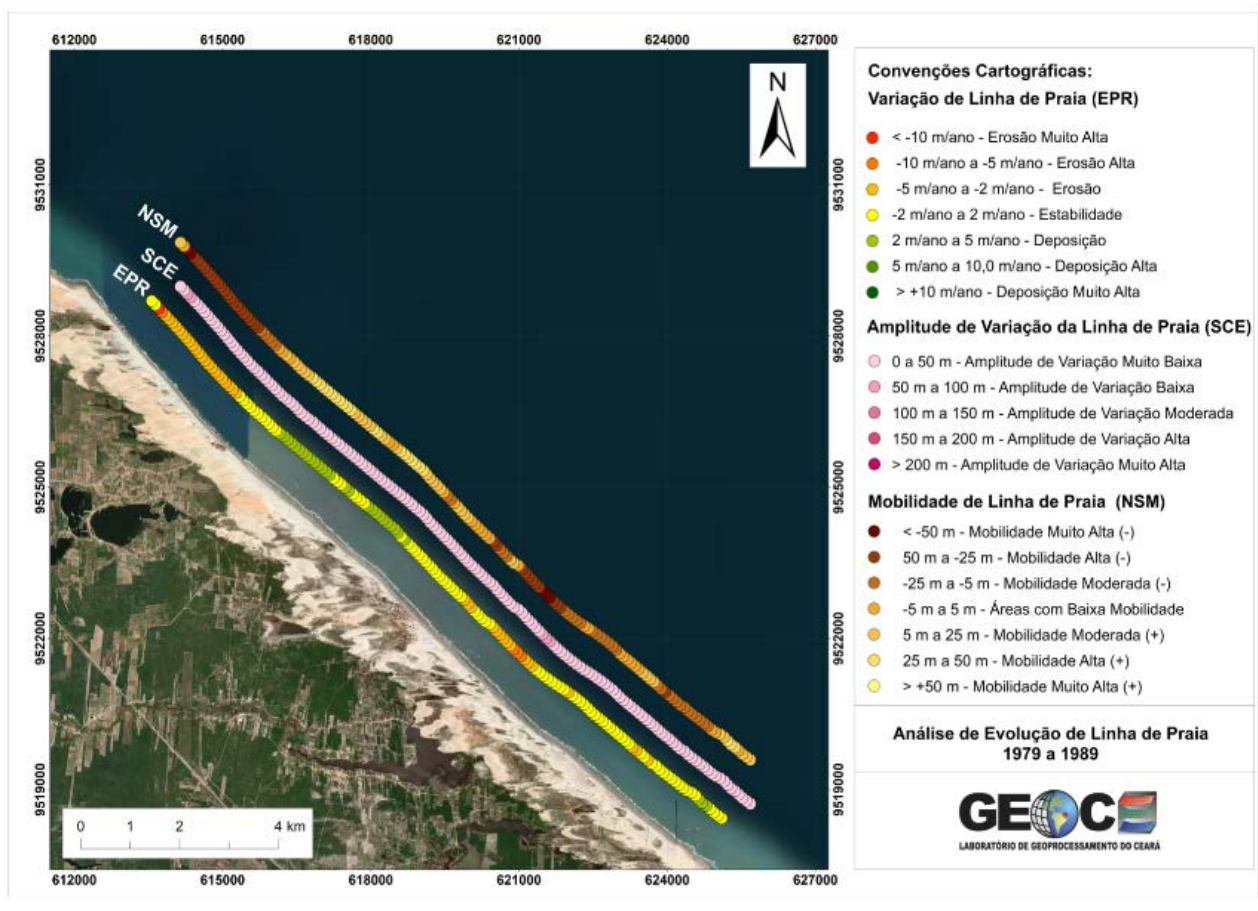


Figura 13 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 1979-1989.

Já entre os anos de 1989-1999 (Figura 14), 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 compor-

tamento 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.

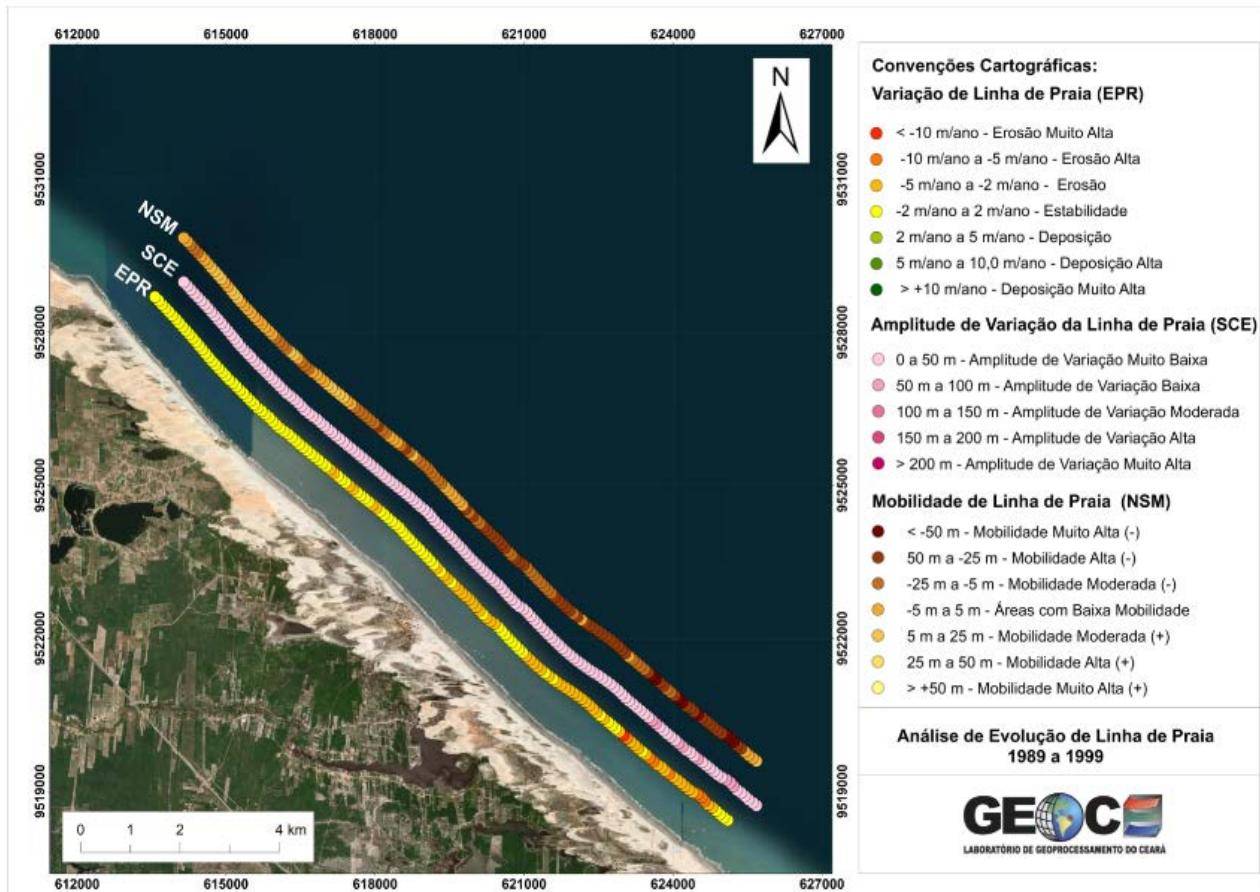


Figura 14 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 1989-1999.

A análise realizada entre 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 15). 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.

Já no último ano de análise (2009-2019) os resultados voltaram a ser negativos caracterizando o retorno de processos erosivos na região (Figura 16). 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.

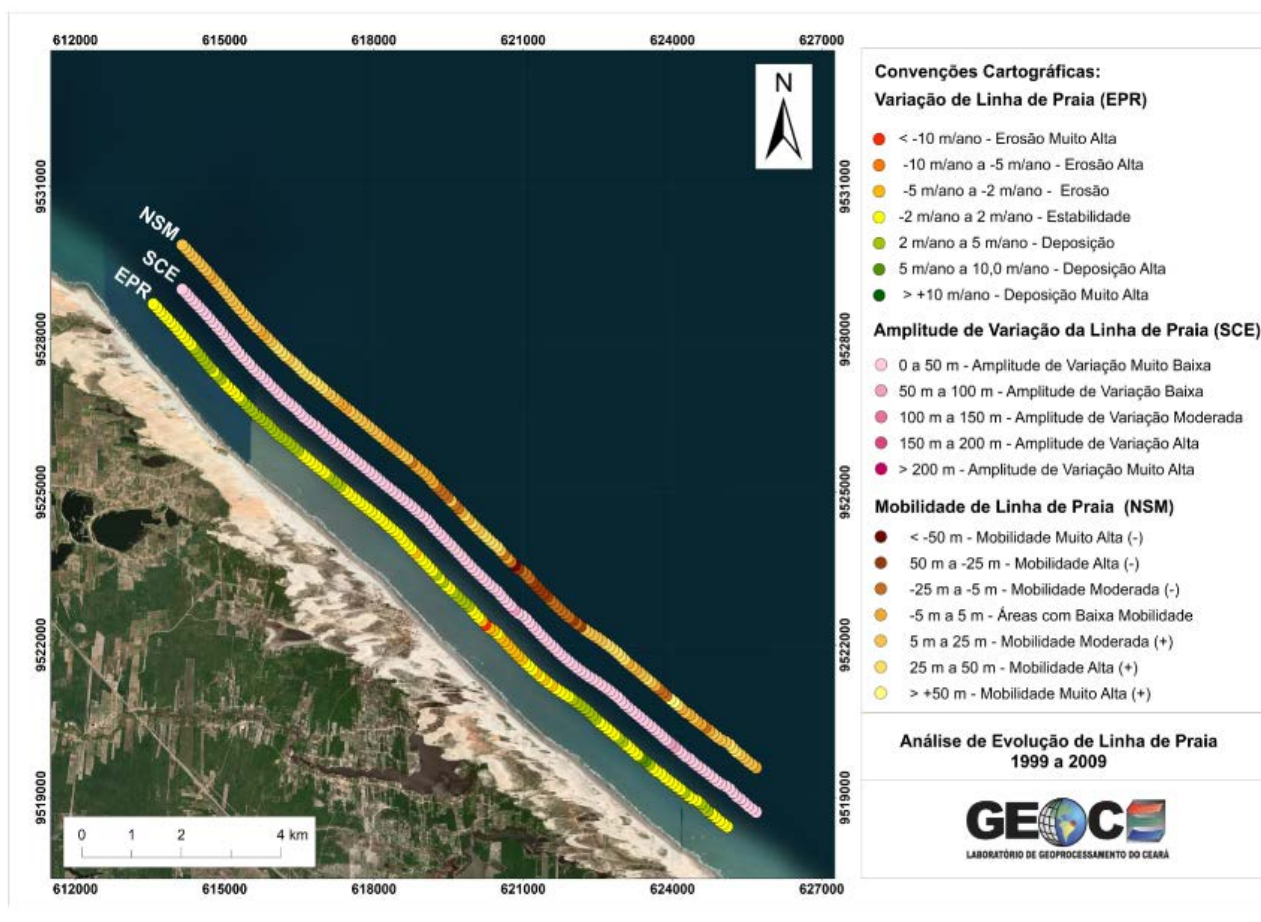


Figura 15 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 1999-2009.

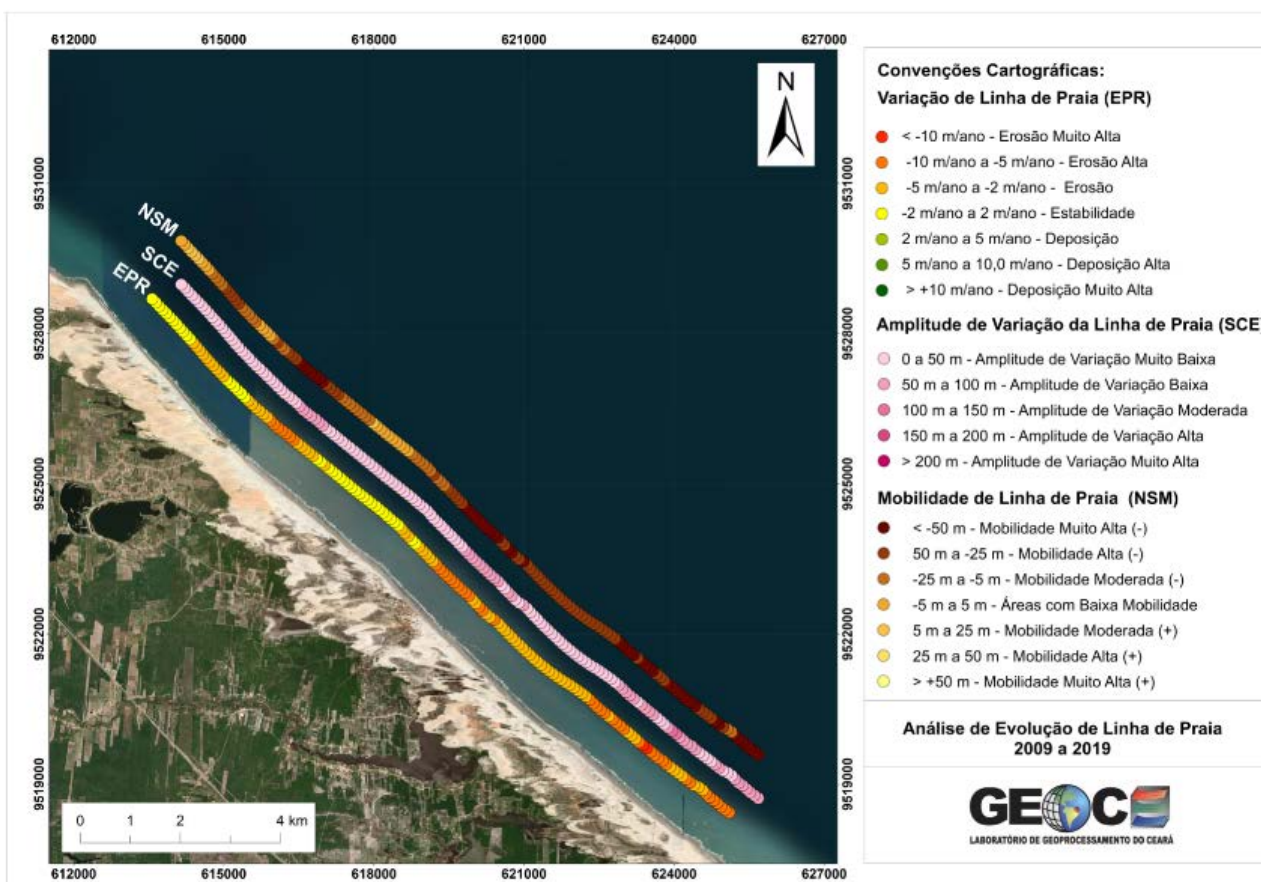


Figura 16 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 2, período de 2009-2019.

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. 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.

Evolução interdecadal da linha de praia – Setor 3

O Setor de estudo 3 apresenta uma extensão total da linha de costa analisada de 16,86 km, considerando o ano de 2019 como base. 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 com um 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, com valor de erosão acentuado entre os anos 1979-1989, totalizando 0,75 km² para a década em destaque (Figura 17).

Observamos ainda na Tabela 7 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.

Já na última análise interdecadal realizada, temos que o balanço sedimentar entre os anos de 2009-2019 regressou a valores negativos (Figura 17), 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 7).

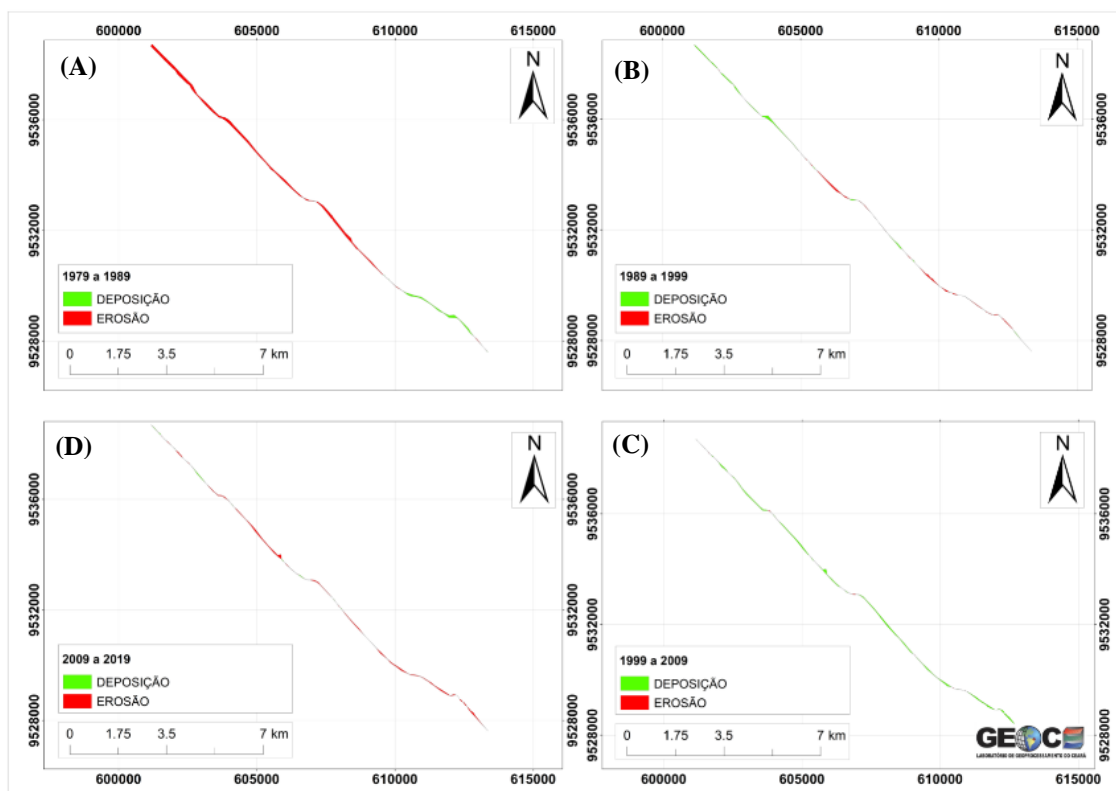


Figura 17 - Análise de Change Polygon para o setor de estudo 3, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019.

Tabela 7 - Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 3, com valores determinados através do método Change Polygon.

Balanço Sedimentar - SETOR 3					
Período	1979-1989	1989-1999	1999-2009	2009-2019	1979-2019
Erosão (km ²)	0,75	0,14	0,01	0,28	0,61
Acreção (km ²)	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

Os 168 transectos gerados a partir da utilização do método DSAS no Setor de estudo 3 permitiram a observação detalhada dos fenômenos erosivos/deposicionais presentes na região. Observou-se um comportamento erosivo logo na primeira análise decadal referente a data 1979-1989 (Figura 18). 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.

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 se mostrou com particularidades positivas ou progredientes para o mesmo Setor 3 de estudo.

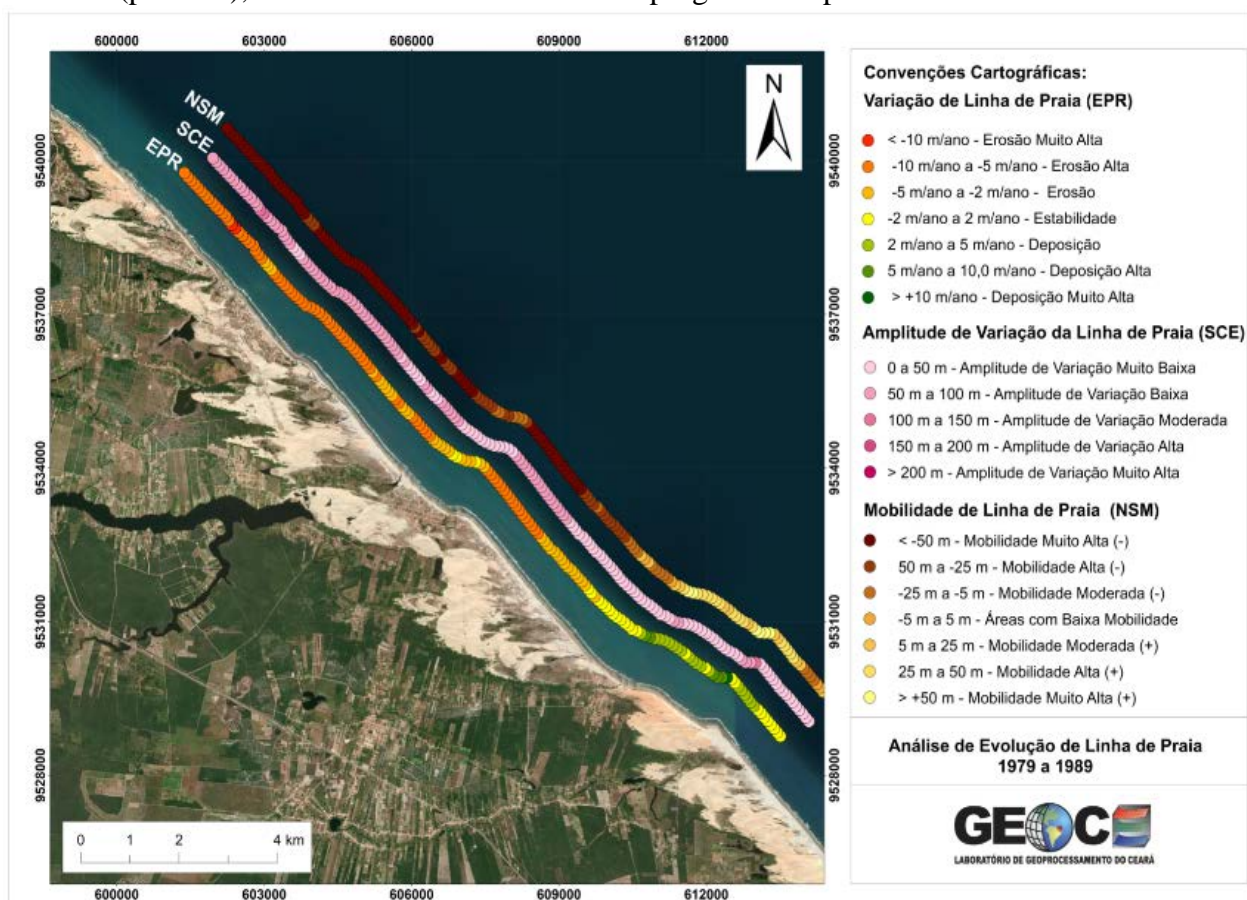


Figura 18- Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 1979-1989.

Os transectos gerados para EPR na década 1989-1999 (Figura 19) 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.

Entre os anos de 1999-2009 (Figura 20) 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

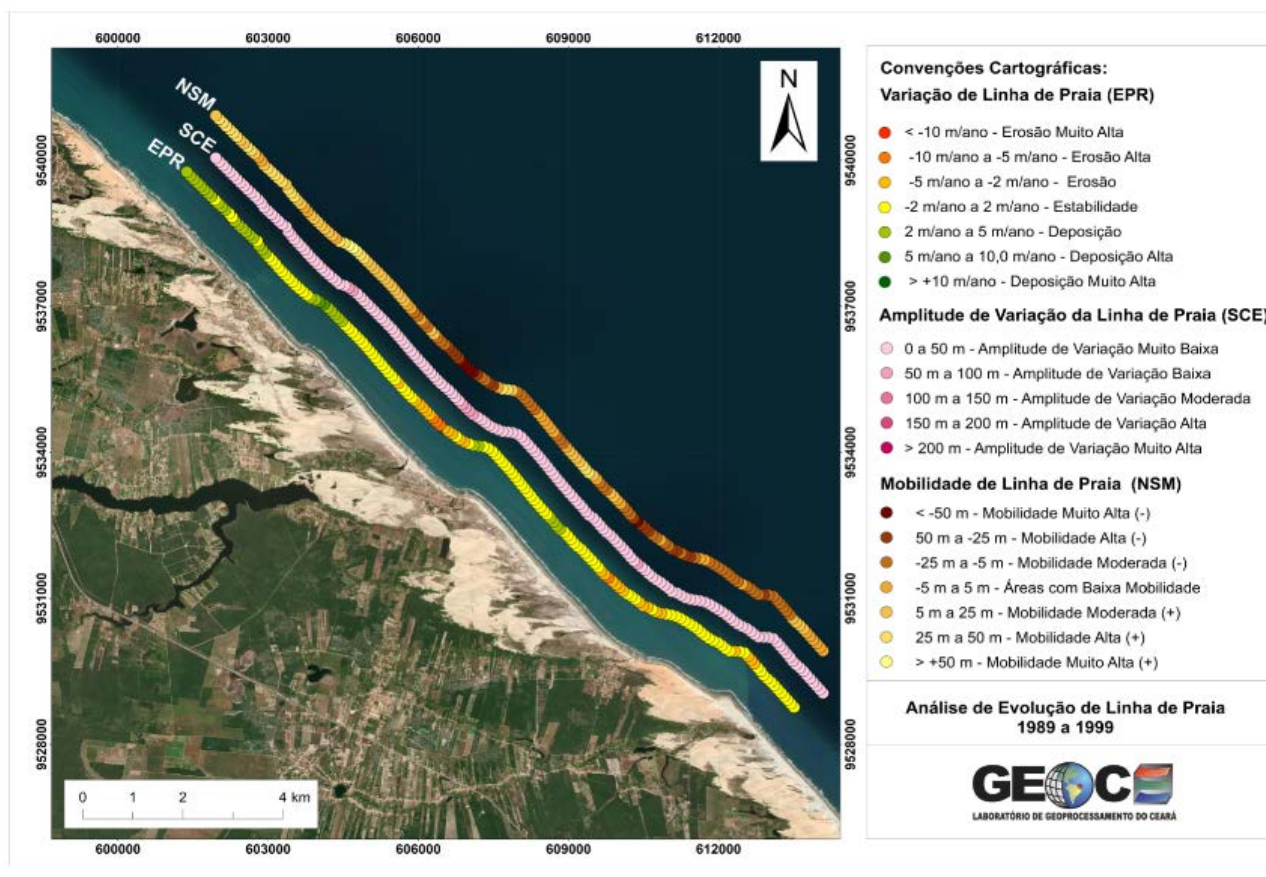


Figura 19 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 1989-1999.

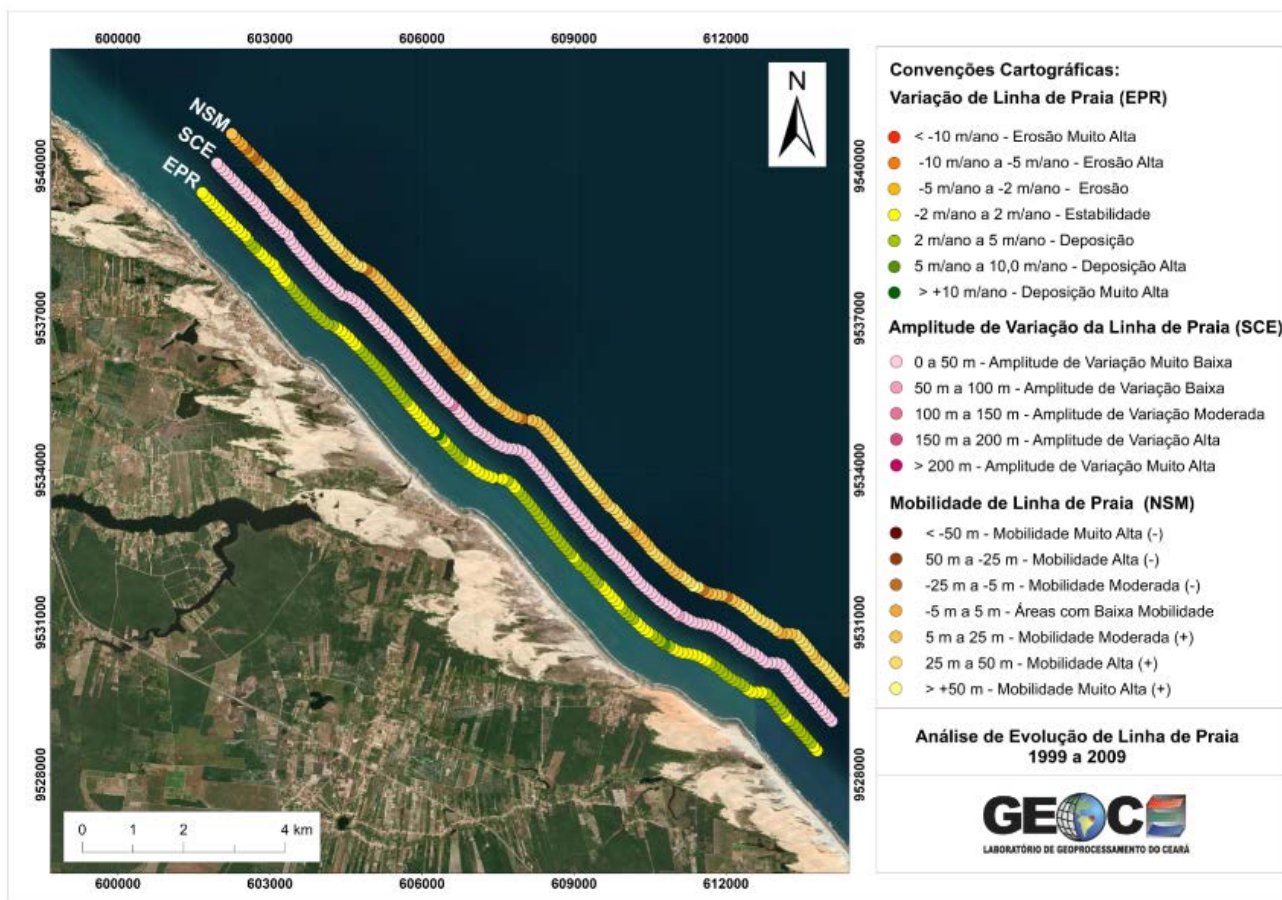


Figura 20 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 1999-2009.

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.

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

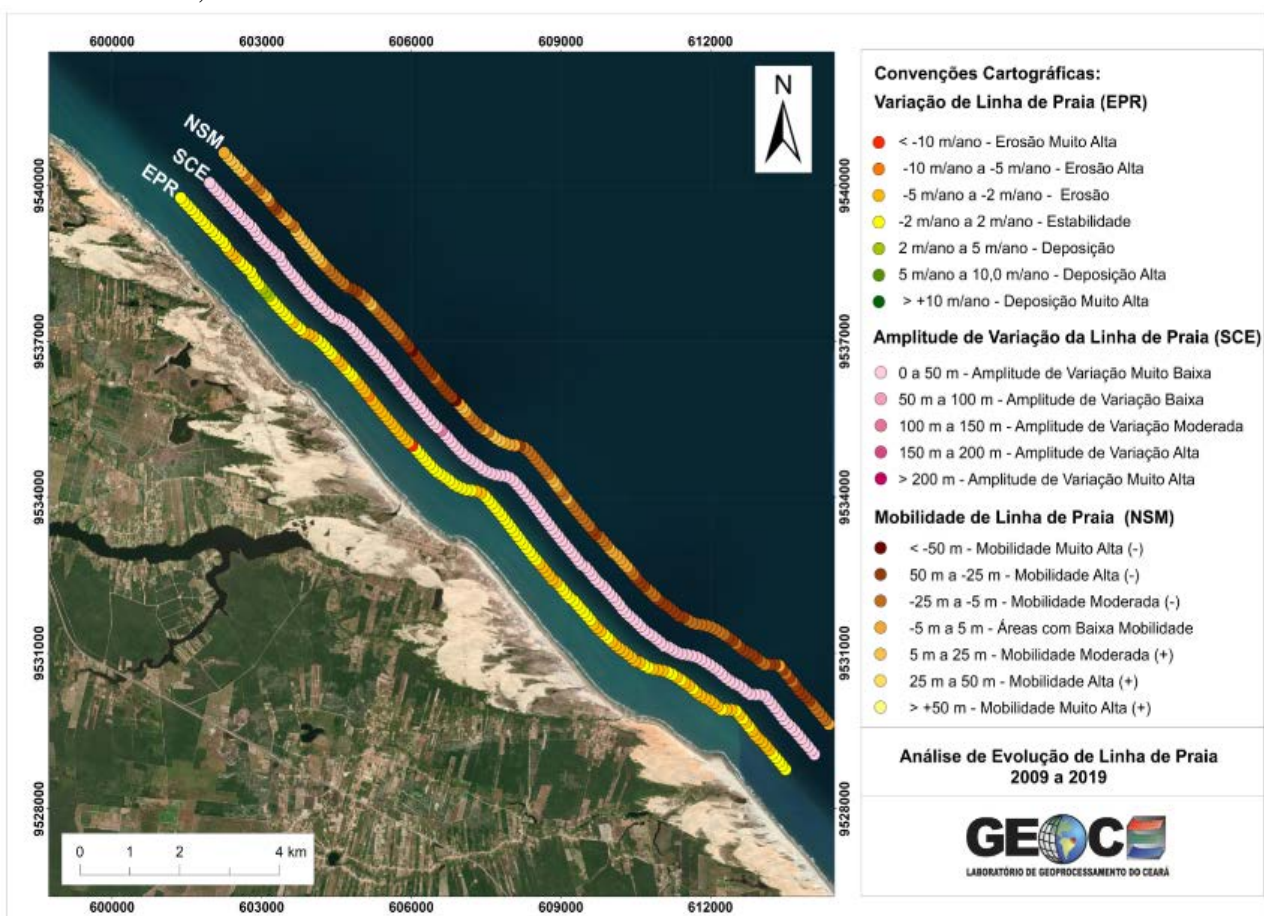


Figura 21 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 3, período de 2009-2019.

Evolução interdecadal da linha de praia – 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. 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. E apresenta feições geomorfológicas aflorantes (falésias vivas), como é o caso da uma unidade de conservação e proteção integral Monumento Natural das Falésias de Beberibe. O fluxo frequente de pessoas somado a quantidade de construções antrópicas no espaço anteriormente reservado a dinâmica da faixa praial, nos leva a observar de maneira mais atenta os ciclos deposicionais interdecadais associados ao setor em questão.

Observando o Setor 4 por meio do método *Change Polygon* percebemos um setor com tendências positivas, 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 22). 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 8.

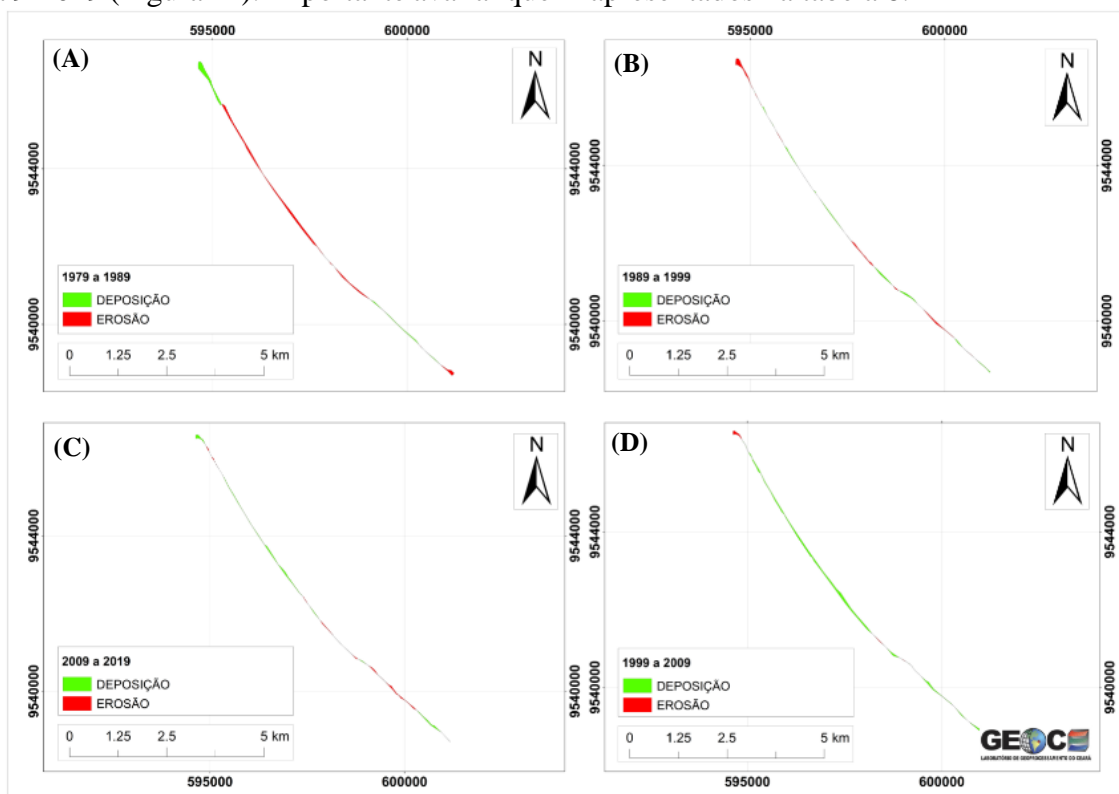


Figura 22 - Análise de Change Polygon para o setor de estudo 4, entre os anos de: (A) 1979-1989, (B) 1989-1999, (C) 1999-2009, (D) 2009-2019.

Tabela 8 - Balanço Sedimentar Interdecadal do Setor 4, com valores determinados através do método Change Polygon.

Balanço Sedimentar - SETOR 4					
Período	1979-1989	1989-1999	1999-2009	2009-2019	1979-2019
Erosão (km ²)	0,20	0,08	0,02	0,05	0,04
Acreção (km ²)	0,11	0,07	0,22	0,09	0,16
'Razão A/E	0,55	0,87	11	1,8	4
Classificação	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo	Positivo

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 23), em: 5% erosão alta, 43% erosão, 38% estabilidade, 9% deposição, 2% deposição alta e 4% deposição muito alta.

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 23) foram de -0,77 m/ano para EPR, -7,74 m para NSM e de 30,74 m para SCE.

Na década seguinte, entre os anos de 1989-1999 (Figura 24), os transectos foram classificados

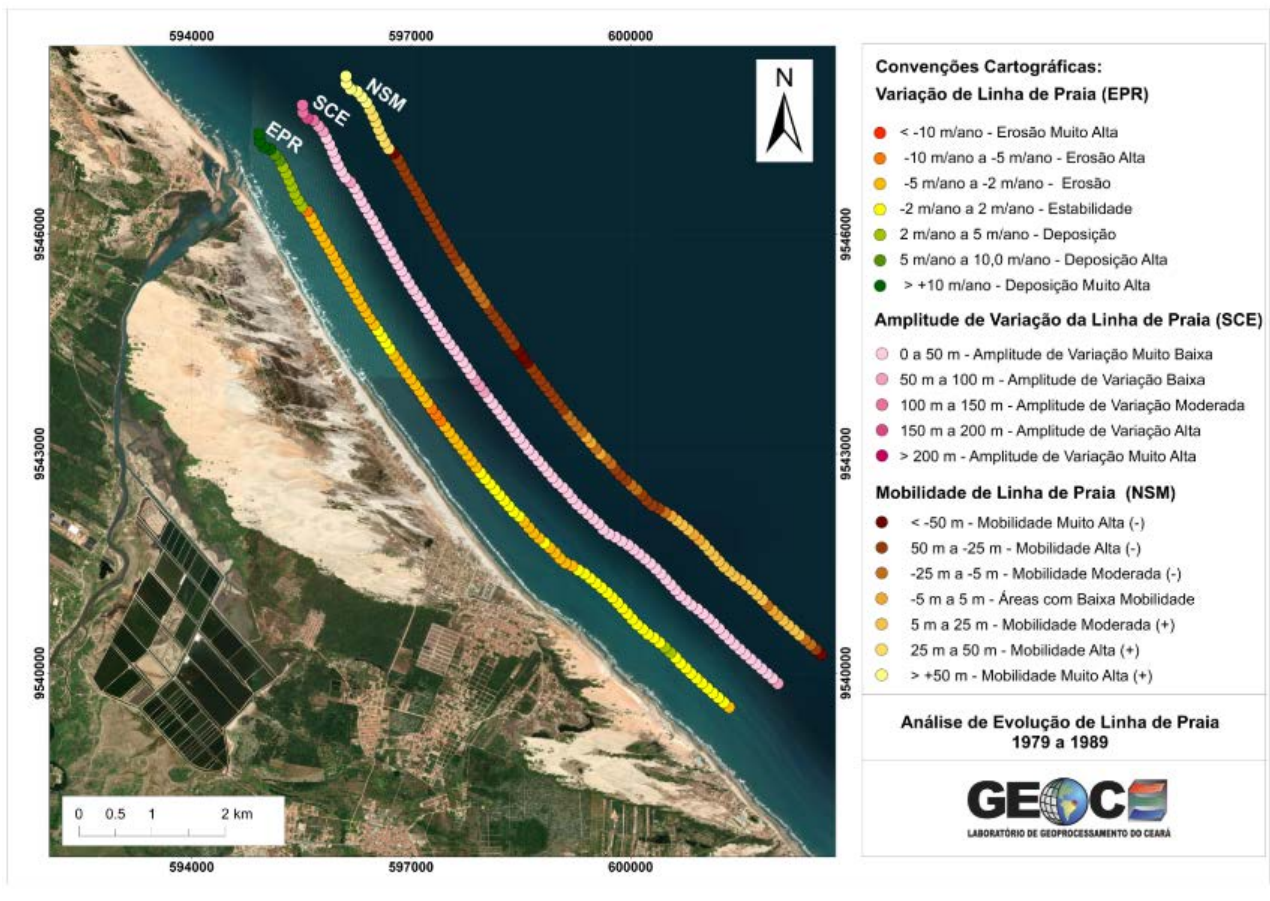


Figura 23 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 1979-1989.

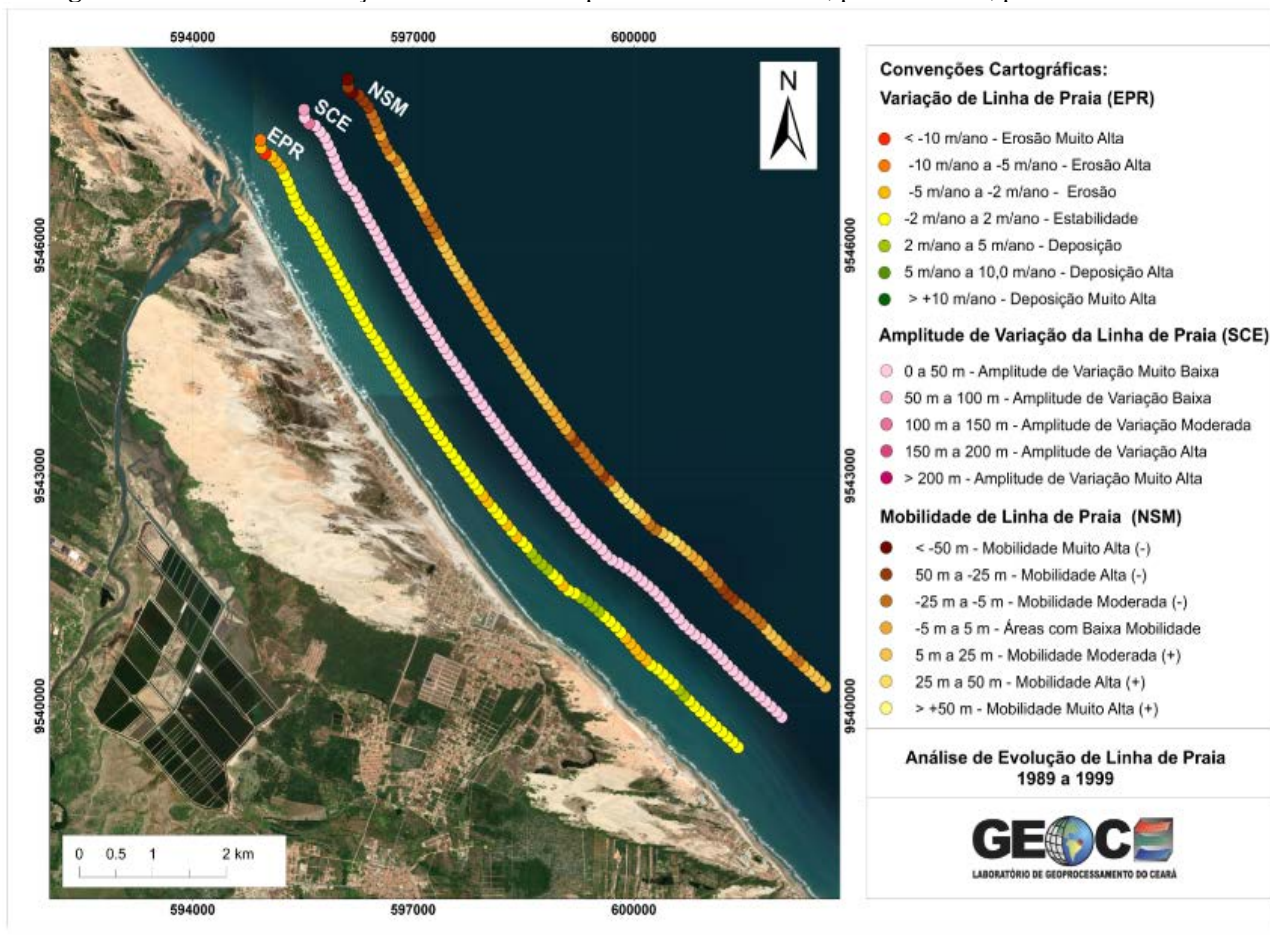


Figura 24 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 1989-1999.

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 valores médios encontrados na análise entre os anos de 1989-1999 (Figura 24) 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 25), 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.

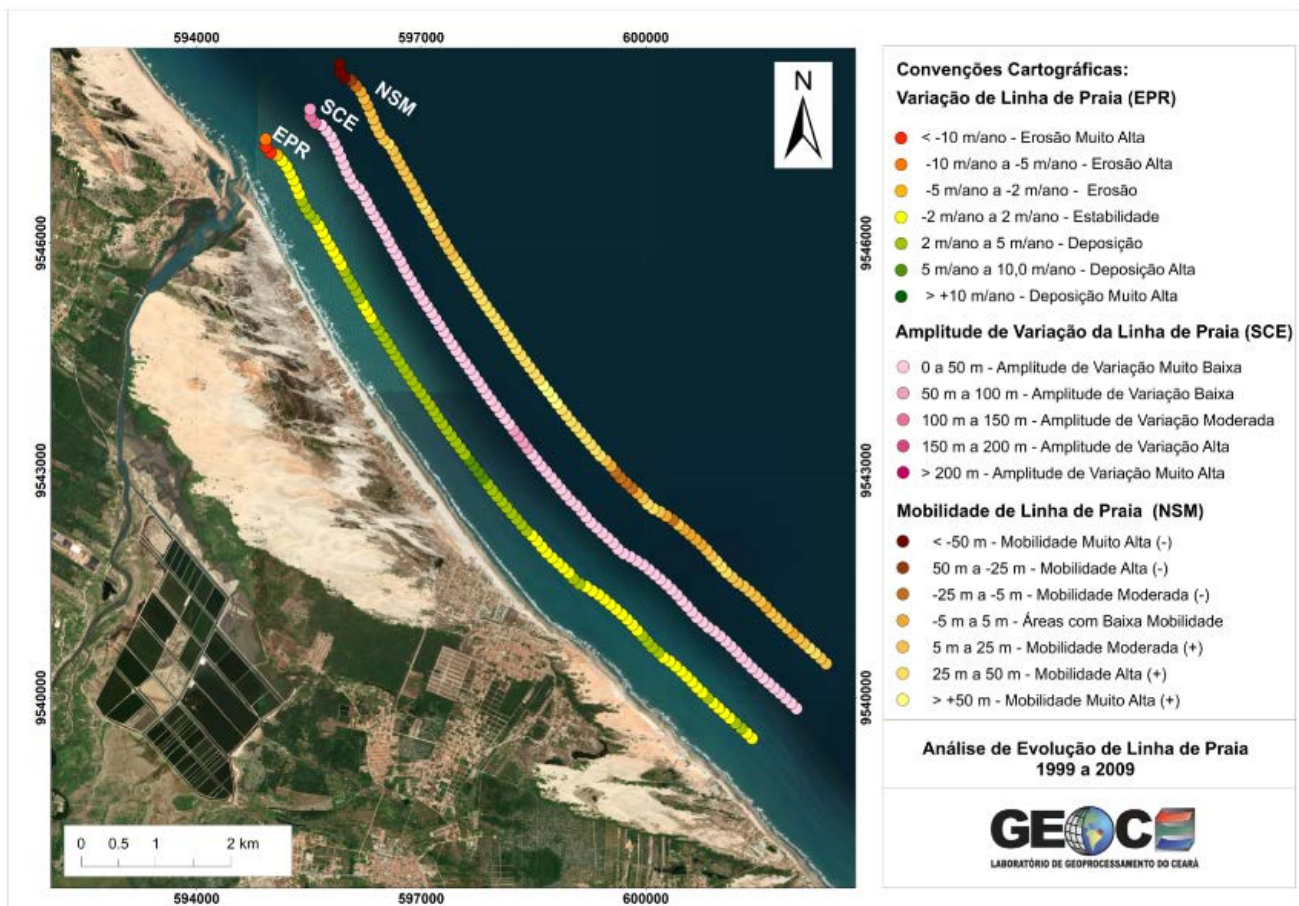


Figura 25 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 1999-2009.

Entre os anos de 2009-2019 (Figura 26), 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. Os valores médios encontrados para as taxas calculadas de EPR, NSM e SCE na análise entre os anos de 2009-2019 (Figura 26) foram respectivamente de: 0,59 m/ano, 5,83 m e 14,76 m.

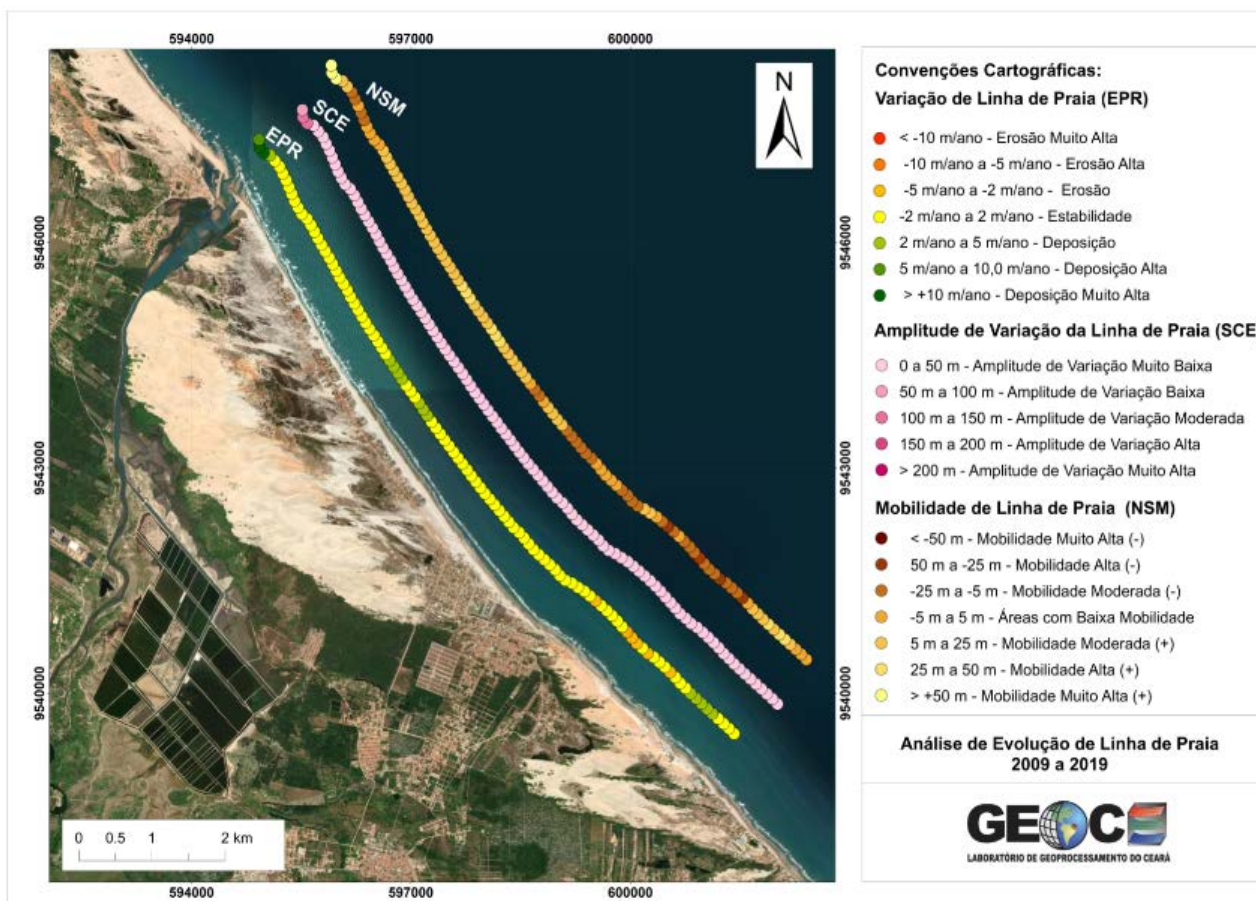


Figura 26 - Análise da evolução da linha de costa pela ferramenta DSAS, para o Setor 4, período de 2009-2019.

CONCLUSÕES

A utilização das imagens históricas orbitais dos sensores LANDSAT mostram-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 a 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 a 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 afim de possibilitar o posterior gerenciamento costeiro adequado para cada setor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pesquisa, através do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará (PPGG-UFC). Agradecem também ao Laboratório de Geoprocessamento do Ceará (GEOCE) e ao Laboratório de Geoprocessamento do Rio Grande do Norte (GEOPRO) pelo apoio e estrutura fornecida para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AMARO, V.E.; GOMES, L.R.S.; LIMA, F.G.F.; SCUDELARI, A.C.; NEVES, C.F.; BUSMAN, D.V.; SANTOS, A.L.S. Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil. *Marine Geodesy*, 38, n. 1, p. 1-25, 2014.
- AMARO, V.E.; SANTOS, M.S.T.; SOUTO, M.V.S. **Geotecnologias aplicadas ao monitoramento costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão**. Natal, 120 p., 2012
- BITTENCOURT, R.; ALMEIDA G.; CARPENTIERI, E. **Potencial Eólico no Litoral do Ceará e Rio Grande do Norte para Geração de Energia Elétrica**. DEFA-EO-RT, CHESF, 1996. Relatório. 002/96, rev.1.
- BUSMAN, D.V.; AMARO, V. E.; PRUDÊNCIO, M. C.; LIMA, F.G.F.; MATOS, M.F.A.; MOURA, J.E. **Shoreline Changes from 1986 to 2010 on Ponta Negra Beach, Natal / RN**. In: 6 INTERNATIONAL SHORT COURSE/CONFERENCE ON APPLIED COASTAL RESEARCH. *Anais...* Lisboa, 2013.
- CÂMARA, M.; SCUDELARI, A.C.; MATOS, M.D.F.A.D.; RABELO, T.; AMARO, V.E. 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, p. 53-79, 03/2019.
- CAMPOS, J.N.B.; STUART, 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, 2003.
- CARVALHO, A.M.D. & CLAUDINO-SALES, V.D. Instabilidade costeira em um litoral em espiral: o exemplo da praia da Lagoinha, Estado do Ceará. São Paulo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, n. 1, p. 51-64, Jan-Mar 2017.
- GRIGIO, A.M.; AMARO, V.E.; VITAL, H.; DIODATO, M.A. 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.
- HIMMELSTOSS, E.A. HENDERSON, R.E.; KRATZMANN, M.G.; FARRIS, A.S. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide**. U.S. Geological Survey Open-File Report 2018-1179. Reston, VA, p. 110. 2018. (2331-1258 (online)).
- LIRA, M.V. **Caracterização da dinâmica ambiental dos municípios de Barroquinha e Chaval, Estado do Ceará, por meio do uso de geotecnologias**. Fortaleza, 138 p. 2016. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Ceará.
- MAIA, L.P.; JIMENEZ, J.A.; SERRA, J.; MORAIS, J.O.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A. The Fortaleza (NE Brazil) waterfront: port versus coastal management. *Journal of Coastal Research*, v. 14, n. 4, p. 1284-1292, 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*, v. 17, n. 7, 1996. 1425-1432, 1996.
- MORAIS, J.O.; FREIRE, G.S.S.; PINHEIRO, L.; SOUZA, M.J.N.; CARVALHO, A.M.; PESSOA, P.R.; OLIVEIRA, S.H.M. Ceará. In: MUEHE, D. (ed). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: MMA, p. 132-134, 2006b.
- MORAIS, J.O. MORAIS, J.O.; LIMONGI, C.M.; PITOMBEIRA, E.S. The gabions for the protection of Caponga Beach, Ceará/Brazil: Hazardsand Management. *Journal of Coastal Research*, v. 39, p. 848-851, 2006a.
- 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
- MOURA, F.M.D. **Análise Geoespacial de dados multiespectrais no estudo temporal da linha de costa da Praia de Parajuru, Ceará-Nordeste do Brasil**. Fortaleza, p. 178. 2017. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará.
- MUEHE, D. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. (Ed.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 476 p.
- 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, 10/2010.
- PEREIRA, L.E.; AMORIM, G.; GRIGIO, A.M.; PARANHOS FILHO, A.C. **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, 09/2018. p. 654-662.
- PINHEIRO, D.R. **Análise do comportamento hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário do Rio Pirangi - Ceará (NE/Brasil)**. Porto Alegre. 2003. 176 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-graduação em geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PRUDÊNCIO, M.D.C. **Evolução Costeira de Praias Arenosas no Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**. Natal, p. 114. 2019. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- 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.
- 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**. Fortaleza, 146 p. 2015. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Ceará.
- SILVA, J.M. & SILVA, E. Planejamento ambiental em uma unidade de conservação no município de Beberibe – Ceará. *Geografia Ensino & Pesquisa*, v. 16, n. 2, p. 129-145, 10/2012.
- SILVA, J.M.D.O. **Monumento Natural das Falésias de Beberibe: diretrizes para o planejamento e gestão ambiental**. Fortaleza, p. 207. 2008. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Ceará.
- SOUTO, M.V.S. **Análise da evolução costeira do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, região sob**

- influência da indústria petrolífera.** Natal, 151 p. 2009. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- 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, 2009.
- SOUZA, M.J.N. **Análise geoambiental e ecodinâmica das paisagens do Estado do Ceará.** Fortaleza, 1998. 191p. monografia (Concurso de Professor Titular) - Curso de Geografia, Universidade Estadual do Ceará,
- 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.** Fortaleza. 2016. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Ceará.
- SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Monumento Natural das Falésias de Beberibe.** Superintendência Estadual do Meio Ambiente, 2010. Disp. em: <<https://www.semace.ce.gov.br/2010/12/08/monumento-natural-das-falesias-de-beberibe/>>. Acesso em: 3 Abril 2020.
- THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. **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, 2019. Disp. 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 Geometry - Ground Control Points.** U.S. Geological Survey, 2020. Disp. em: <<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/ground-control-points>>. Acesso em: 03/2020.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Landsat Mission - Landsat Level-1 Processing Details. U. S. Geological Survey, 2019. Disp. em: <<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-level-1-processing-details>>. Acesso em: Agosto 2019.

*Submetido em 17 de maio de 2021
Aceito para publicação em 30 de julho de 2021*