



**Análise da Evolução Costeira entre os Anos de 1984 e 2014 de  
Trecho do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**  
Coastal Evolution Analysis Between the Years 1984  
and 2014 on a Stretch of Rio Grande do Norte Eastern Coast, Northeast Brazil

Mattheus da Cunha Prudêncio; Venerando Eustáquio Amaro & Ada Cristina Scudelari

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Laboratório de Geotecnologias Aplicadas Modelagens Costeira e Oceânica (GNOMO), Departamento de Engenharia Civil,  
Complexo Tecnológico de Engenharia, Campus Universitário Lagoa Nova, 1524, 59072-970, Natal, RN, Brasil  
Emails: mattheus.prudencio@gmail.com; venerando.amaro@gmail.com; adaufnr@gmail.com*

Recebido em: 02/05/2019 Aprovado em: 20/08/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_4\\_189\\_205](http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_189_205)

### Resumo

As zonas costeiras desempenham relevante papel no desenvolvimento socioeconômico em todos os continentes e por essa razão se observa cada vez mais o crescimento da pressão antrópica nessas áreas. Esse crescimento, gradativo e ao mesmo desordenado, causa o aumento na vulnerabilidade ambiental nessas áreas, colocando em risco tanto a preservação do meio ambiente como das atividades de interesse socioeconômico ali instaladas. Isso ocorre porque essas regiões comportam ecossistemas de alta sensibilidade ambiental que estão sujeitas a modificações significativas em curtos intervalos de tempo. Nesse âmbito, o Estado do Rio Grande do Norte (RN), que possui cidades turísticas equipadas com densa infraestrutura costeira, vem apresentando problemas com a dinâmica costeira ao longo das últimas décadas. Tendo isso em vista, o presente estudo teve como objetivo desenvolver métodos em geoprocessamento que permitiram avaliar a evolução da linha de praia arenosa em um trecho de 12 km do litoral oriental do estado, fornecendo assim algumas das informações necessárias para o gerenciamento e manutenção dessas áreas. Para isso, foram utilizadas imagens de satélite da série Landsat de quatro diferentes décadas (1984, 1994, 2004 e 2014), que por meio do emprego de técnicas automáticas, permitiram definir a evolução da linha de praia ao longo de 30 anos. Essas linhas de praia foram então utilizadas nos módulos estatísticos do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) para realização de quatro diferentes análises (1984 a 1994, 1994 a 2004, 2004 a 2014 e 1984 a 2014) que foram avaliadas quanto a taxa de variação, amplitude e mobilidade da linha de praia. As análises realizadas mostraram episódios de deposição (média de +0,7 m/ano) no período de 1994 a 2004 e episódios de erosão de 1984 a 1994 (média de -0,9 m/ano) e 2004 a 2014 (média de -0,5 m/ano). Tal sucessão de eventos deposicionais e erosionais mostram um quadro de relativa estabilidade para esse setor do Litoral Oriental; porém, ocorre uma clara tendência erosiva (média de -0,5 m/ano) que mostra que a erosão costeira, apesar de não ser tão expressiva como em outras áreas do RN, requer atenção nos setores onde há infraestrutura urbana instalada.

**Palavras chave:** DSAS; Zona costeira equatorial; Sensoriamento Remoto

### Abstract

Coastal areas plays an important role in socioeconomic development on all continents and for this reason, more and more the anthropic pressure rises in these areas. This gradual and disorderly growth causes an increase in environmental vulnerability in these areas, putting at risk both the preservation of the environment and activities of socioeconomic interest. This occurs because, in coastal zones, there are ecosystems of high environmental sensitivity that show significant changes in short intervals of time. In this context, the State of Rio Grande do Norte (RN), which has tourist cities equipped with dense coastal infrastructure have presented problems with the coastal dynamics over the last decades. In light of this, this study aimed to develop methods in Geoprocessing that allowed the evaluation of the evolution of the shoreline in a stretch of sandy beach of 12 km on the eastern coast, thus providing some of the necessary information for the management and maintenance of these areas. For this, were used satellite images of the Landsat series of four different decades (1984, 1994, 2004 and 2014), which, though uses of automatic techniques, allowed the definition of shoreline evolution over 30 years. These shorelines were used in the statistical modules of Digital Shoreline Analysis System (DSAS) to generate four different analyzes (1984 to 1994, 1994 to 2004, 2004 to 2014, and 1984 to 2014) that were evaluated about the change rate, amplitude and mobility of shoreline. The analysis showed deposition episodes (mean of +0.7 m / year) from 1994 to 2004 and episodes of erosion from 1984 to 1994 (mean of -0.9 m / year) and from 2004 to 2014 (mean of -0.5 m / year). Such succession of depositional and erosional events shows a relative stability for this sector of the eastern coast; however, there is a clear erosive trend (mean of -0.5 m / year) that shows that the coastal erosion, although not as significant as in other areas of the state, requires attention in the sectors where there is urban infrastructures built.

**Keywords:** DSAS; Equatorial coastal zone; Remote Sensing

## 1 Introdução

A zona costeira denota um espaço geográfico em que aspectos e elementos geológicos e ecológicos dos domínios continental e marinho interagem produzindo relevo e ecossistemas originais e altamente sensíveis. Igualmente é reconhecida como um setor de intenso intercâmbio de energia e matéria entre áreas de frágil equilíbrio entre as unidades geomorfológicas costeiras e estuarinas, suscetíveis às mudanças morfodinâmicas de longo prazo (décadas, por exemplo) a curto prazos (dias, meses e/ou estações sazonais), a partir da interação de fatores hidrodinâmicos como ondas, marés, correntes e ventos com os (Suguio, 2003; Bird, 2008), aliados aos aspectos morfológicos influenciados por processos tectônicos e fatores estruturais (Bezerra et al., 2001; Vital et al. 2002; Araújo, 2008; Whittaker, 2012).

Do surgimento ao desenvolvimento recente da sociedade humana, as zonas costeiras sempre desempenharam uma relevante função de suporte socioeconômico e ecossistêmico, devido às vantagens tais como a atuação como berçários responsáveis pela abundância de alimentos marinhos e terrestres, a localização privilegiada e facilitadora do transporte de bens comerciais e serviços, ao acesso privilegiado aos recursos paisagísticos e culturais, entre outros (Post & Lundin, 1996; Moraes, 2007; Neumann et al., 2015). Tais vantagens beneficiaram a concentração populacional costeira, por migração e turismo, e a conseqüente expansão urbana. Por essa razão, a densidade populacional na zona costeira atingiu quase três vezes a das zonas interiores, alcançando cerca de 2,4 bilhões de pessoas, ou cerca de 40% da população mundial, na faixa continental de até 100 km da linha de costa (Shi & Singh, 2003; Neumann et al., 2015). Atualmente, existe um aumento gradativo da população na zona costeira, com estimativas projetadas que atingem 134 pessoas por km<sup>2</sup> em 2050 (Shi & Singh, 2003) o que elevará ainda mais a pressão ocupacional nessas áreas.

Nesta faixa territorial ainda se encontra a principal rede de biodiversidade entre os ecossistemas marinho e costeiro que são basilares na produção de alimentos e de água potável no mundo. Ecossistemas caracterizados por sua grande sensibilidade às

mudanças globais atualmente já demonstram amplo esgotamento, com estudos recentes relatando a deterioração de pelo menos 38% dos manguezais mundiais (Thomas et al., 2017), de 19% dos recifes de coral (Wilkinson, 2008) e de 20% das planícies costeiras no decorrer das últimas décadas. Tal realidade resulta de alterações globais no clima em conjunção com a intensificação da atividade antrópica que sugere cada vez mais um aumento na demanda de recursos das zonas costeiras, ao passo que emprega pouco e limitados esforços para preservação desses ecossistemas (Agardy et al., 2003).

É notável que tais perspectivas e, principalmente suas conseqüências, passaram a chamar a atenção de gestores e tomadores de decisões sobre a necessidade de adequação de políticas de uso e ocupação da zona costeira baseadas em dados e informações científicas comprobatórias. Seria necessário atender a expectativa populacional, mas em uma perspectiva sustentável, considerando-se a crescente ampliação e adensamento das ocupações urbanas que são frequentemente desorganizadas. Porém, apesar de sua clara importância, só foi a partir da década de 1970 que houve um aumento significativo na procura e integração por estudos científicos de qualidade e com o intuito do aprimoramento da compreensão e das interdependências entre as diversas variáveis que governam as zonas costeiras (Davis Jr. & Fitzgerald, 2004; Souza, 2009a; Souza, 2009b).

Estudos realizados sobre a morfodinâmica de longo e curto prazos na zona costeira mostraram que essas áreas apresentam naturalmente variações na relação entre as perdas e os ganhos de sedimentos, denominada balanço sedimentar, onde quando houver mais perdas de sedimentos do que ganhos o balanço será negativo e predominará a erosão e, quando positivas, a deposição de sedimentos será dominante, resultado de mudanças naturais na dinâmica costeira mas, em muitas situações, com forte influência das intervenções antrópicas sobre esse espaço geográfico (Wright & Short, 1984; Bird, 1985; Suguio, 2003; Bird, 2008; Souza, 2009a; Souza, 2009b). Tais variações, naturais e/ou antrópicas, são a principal razão por se observarem problemas de erosão nas praias oceânicas arenosas e falésias; redução dos campos de dunas e florestas de manguezais (Defeo

*et al.*, 2008); elevação da intrusão salina nos aquíferos costeiros; aumento da frequência e amplitude de inundações provocadas por ondas, marés e eventos extremos e assoreamento de canais estuarinos (Post & Lundin, 1996; Souza, 2009a).

As consequências socioeconômicas e ecossistêmicas dos problemas relatados na zona costeira acarretam por sua vez (Suguio, 2003; Souza, 2009a): perda do valor paisagístico da orla e áreas próximas comprometendo o potencial turístico dessa região; perda do valor imobiliário de propriedades e bens públicos e privados e em danos diretos ou indiretos às obras realizadas nessas áreas (por exemplo, casas de praia, hotéis, portos) e atividades desenvolvidas na região costeira (por exemplo, turismo, pesca, atividades industriais petrolíferas, eólicas, salicultura, carcinicultura). Além disso, ecossistemas frágeis como manguezais, recifes e lagunas, desenvolvidos apenas nessas regiões litorâneas, podem ser intensamente afetados e, inclusive, de forma irreversível (Defeo *et al.*, 2008; Souza, 2009a).

Em alguns setores do litoral brasileiro, os estudos mais detalhados sobre o balanço sedimentar foram intensificados a partir década de 1990 e os autores atribuíram as causas dos processos predominantemente erosivos aos fatores naturais e/ou antrópicos (Ângulo, 1993; El-Robrini e Souza Filho, 1994; Dominguez e Bittencourt, 1996; Souza, 1997; Albino, 1999; Tomazelli *et al.*, 1998; Manso *et al.*, 2003). Souza (2009) resumiu os principais indicadores que atestam as causas naturais e antrópicas que promovem o fenômeno erosivo nas praias brasileiras. Nesse contexto, as influências das ações antrópicas no processo erosivo referem-se, sobretudo: à urbanização da planície costeira (setores das praias, manguezais, planícies fluviais e lagunares), que causa a impermeabilização do solo, mudanças nos padrões de drenagens naturais e destruição de dunas de pós-praia; intervenções de Engenharia para suporte à ocupação da orla marítima, com a implantação inadequada de estruturas rígidas ou flexíveis para proteção ou contenção da linha de costa ou outros fins (canais de drenagens artificiais); a retirada ou mineração de areias da célula sedimentar costeira, por dragagens em rios, canais de maré e na plataforma continental, que resulta em déficit sedimentar no mesmo setor e/

ou praias vizinhas. Junta-se ao quadro, fato comum na região Nordeste do Brasil, os vários barramentos em bacias hidrográficas, que reduzem o aporte sedimentar terrígeno à plataforma continental (Vital *et al.*, 2006; Amaro e Araújo, 2008).

Tendo em vista os problemas apresentados, para gerenciar as zonas costeiras de forma sustentável, são necessários estudos que analisem dados coletados em séries temporais longas e contínuas, onde é imprescindível o reconhecimento dos aspectos fisiográficos, da evolução natural e do desenvolvimento ocupacional da orla litorânea (Wright & Short, 1984; Gruber *et al.*, 2003).

Historicamente, as primeiras ferramentas para realização dessas análises contavam com o uso de técnicas da Topografia clássica que eram capazes de mensurar as variações no decorrer do tempo. No entanto, essas técnicas demandavam, além de custos elevados, excessivo trabalho operacional. Com os avanços das Geotecnologias Aplicadas e o desenvolvimento do Sistema de Informação Geográfica (SIG), na década de 90 do século passado, houve uma revolução nos estudos costeiros até então realizados. As ferramentas para analisar a zona costeira se tornaram desde então cada vez mais rápidas, precisas e baratas tornando o estudo dessas áreas muito mais acessível (Danforth & Thieler, 1992).

Em ambiente SIG, as linhas de costa são normalmente interpretadas através de análise visual de imagens de satélite ou após utilizar técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) para serem então vetorizadas e utilizadas para análises posteriores. A análise baseada em imagens e dados vetoriais em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite então a incorporação de dados provenientes de outras fontes como levantamentos de campo, entre outros (Ford, 2013).

Uma dessas ferramentas é o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) que foi criada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (em inglês *United States Geological Survey*, USGS) para quantificar mudanças nas linhas de praia. Trata-se de ferramenta gratuita para ser utilizada no *software* ArcGIS da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI).



O DSAS é amplamente utilizado em estudos sobre a evolução costeira por possibilitar, de maneira rápida e eficiente, a análise das alterações da linha de praia por meio de módulos estatísticos. Estas ferramentas estatísticas permitem calcular desde informações simples, como a distância máxima entre diferentes linhas de praia, até elementos mais robustos como a taxa de variação e a elaboração de prognósticos de linha de praia com base no uso da regressão linear (Thieler & Danforth, 1994; Thieler *et al.*, 2009).

Considerando a relevância do estudo das zonas costeiras para o Brasil e no mundo, o presente trabalho tem como objetivo analisar a evolução costeira em trecho do Litoral Oriental do Estado do Rio Grande do Norte (RN). Para isso, o litoral do Município de Ceará Mirim foi selecionado e nesse trecho

foram utilizados os módulos estatísticos *Shoreline Change Envelope (SCE)*, *Net Shoreline Movement (NSM)*, *End Point Rate (EPR)* e *Linear Regression Rate (LRR)* presentes no DSAS que permitiram a análise qualitativa da evolução da linha de praia e da identificação dos episódios de erosão e deposição nesse segmento costeiro.

## 2 Características da Área de Estudo

A área de estudo está localizada no Litoral Oriental do RN a aproximadamente 40 km da capital Natal e corresponde a um trecho de 12 km do Município de Ceará Mirim, que engloba as praias de Jacumã e Muriú. As principais vias de acesso à área são a rodovia federal BR-101 e a rodovia estadual RN-306 (Figura 1).



Figura 1 Mapa de localização da área de estudo que abrange as praias de Muriú e Jacumã, o trecho de 12 km de praia está localizado a aproximadamente 40km de distância da capital seguindo as principais vias de acesso (BR-101 e RN-306).

Recentemente, estudos demonstraram que a erosão costeira nos diferentes setores costeiros do RN é resultante da interação local entre as características geológicas e geomorfológicas da faixa litorânea, com as forças motrizes hidrodinâmicas: vento, ondas, marés e correntes de deriva (Vital *et al.*, 2006; Amaro & Araújo 2008; Vital *et al.*, 2008; Amaro *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2015; Vital *et al.*, 2016). Entretanto, as interações atmosfera-oceano determinam as flutuações sazonais do balanço sedimentar nas zonas costeira no longo e no curto prazos, combinados com o aumento do nível médio do mar e com as intervenções antropogênicas (Souza, 2009a, Souza, 2009b; Amaro *et al.*, 2014; Amorim *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2015).

A linha de costa do Litoral Oriental do RN é marcada pela presença dominante de falésias da Formação Barreiras, com depósitos de praias oceânicas arenosas frontais e campos de dunas sobrepostos; faixas de arenitos de praia (*beachrocks*) alinhadas paralelamente à linha de costa atual; planícies flúvio-estuarinas estão restritas aos estreitos vales fluviais, onde se destacam os vales dos rios Curimataú (a sul de Natal) e o Potengi (em Natal), este último o rio de maior envergadura desse litoral (Vital *et al.*, 2006).

Os depósitos de praias oceânica são compostos por areia de granulometria fina a grossa, por vezes com níveis de cascalho. As linhas de arenitos de praia (*beachrocks*) paralelas à linha de costa são formados por arenitos e conglomerados siliciclásticos com cimento carbonático (CPRM, 2018).

As dunas, apresentam idade do Quaternário e são formadas por areias bem selecionadas, amareladas, inconsolidadas ou parcialmente consolidadas, de origem marinha. A formação dos campos de dunas está relacionada principalmente a ação dos ventos no litoral e formam cordões que podem ou não estar, atualmente, fixados por vegetação (CPRM, 2018).

O clima da região litorânea do RN é Tropical de verão seco (classe *As*), segundo os critérios utilizados por Köppen-Geiger e revistos por Alvares *et al.* (2013). A temperatura do ar média é de 25,3°C e a precipitação média é de 1.500 mm anuais, com baixa

nebulosidade, forte insolação (2700 horas anuais) e alta umidade relativa do ar (média de 79%), segundo dados obtidos pelo INMET (2018).

A partir de dados históricos (entre os anos de 1961 a 2018) da estação meteorológica automática Natal-A304 foi observado o predomínio de ventos de direção sudeste, que variam sazonalmente entre as direções leste, leste-sudeste e sul-sudeste com média de 4,3 m/s e que direcionam as dunas que se forma atualmente na região (INMET, 2018).

O regime de marés predominante é o de mesomarés semidiurnas, com amplitudes médias de marés de sizígia em torno de 2,2 m. O clima de ondas é caracterizado por alturas significativa de onda entre 0,5 a 2,8 m nas direções leste-nordeste, leste, leste-sudeste e sudeste e com períodos que variam entre 4,0 e 20,0 segundos (Amaro *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2015). Quanto as correntes oceânicas, a Subcorrente Norte do Brasil (Peterson & Stramma, 1991; Stramma & England, 1999) é a principal corrente atuante ao largo do extremo Nordeste do Brasil. Essa corrente, que tem seu núcleo entre 150 e 200 m se direciona à linha do Equador onde atinge velocidades de cerca de 0,9 m/s (Stramma *et al.*, 2005; Marin, 2009). Na plataforma continental do Litoral Oriental as correntes de deriva litorânea ocorrem predominantemente para a direção Norte, alcançando mediana de 12,8cm/s no verão, com pouca variação direcional e alta correlação com os ventos alísios e a morfologia da linha de costa (Ribeiro, 2014; Almeida *et al.*, 2015)

A atuação ininterrupta dos ventos alísios, o clima de ondas e o regime de marés, aliados à direção geral NS da linha de costa e à plataforma continental rasa e relativamente estreita, são os responsáveis pela formação das correntes de deriva costeira, que efetivamente realiza o principal transporte de sedimentos no sentido sul para norte, paralelamente à linha de costa e com velocidade média de 0,05 a 0,8m/s (Amaro *et al.*, 2014).

### 3 Procedimentos Metodológicos

Este estudo foi estruturado em três etapas de atividades distintas (Figura 2): (i) aquisição e trata-

mento de dados, que contempla desde a seleção das imagens de satélite até a aplicação das técnicas de PDI; (ii) obtenção das linhas de praia, que integra os procedimentos envolvidos na extração automática das linhas de praia a partir das imagens de satélites multitemporais em ambiente SIG; e, (iii) análise multitemporal das linhas de praia através do DSAS, que abrange o estudo sobre as variações entre as linhas de praia, realizados de forma integral (1984 a 2014) e fracionada (1984 a 1994, 1994 a 2004 e 2004 a 2014).

Nos estudos sobre as tendências de erosão/deposição de sedimentos em praias oceânicas, diferentes indicadores têm sido usados para a definição do termo *linha de praia*, sobretudo em zonas costeiras influenciadas por mesomarés e macromarés (Boak e Turner 2005). Nesse trabalho a linha de praia foi estabelecida como a linha que na face de praia separa a área seca da molhada (zona saturada), compreendida como a última posição de maré mais alta no momento do imageamento (Amaro *et al.*, 2014).

O emprego das imagens multiespectrais do Landsat 5-TM e Landsat 8-OLI justifica-se pela

abrangência da série histórica do programa Landsat – com imagens do Landsat 5-TM disponíveis entre 1984 e 2011 e do Landsat 8-OLI desde 2013 – a resolução temporal de 16 dias e a gratuidade desses produtos oferecida pela USGS. Contudo, o maior desafio no uso de imagens da série Landsat na extração das linhas de praias está na resolução espacial limitada a 30m. Porém as imagens Landsat no formato “L1T” têm sido disponibilizadas já ortoretificadas com base em pontos de controle no terreno e modelos digitais de elevação (Tucker *et al.* 2004; Roy *et al.* 2014). Para esse estudo, agregou-se à correção geométrica e o registro das imagens multitemporais as informações de geolocalização das bases geodésicas do Laboratório de Geotecnologias e Modelagens Costeira e Oceânica (GNOMO) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, instaladas nas praias de Muriú e Jacumã, reduzindo os erros a dimensões inferiores a 0,5 pixel e aumentando a acurácia das imagens (Tabela 1). O conjunto de imagens foram então projetadas no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e o datum do Sistema Geodésico Mundial - 1984 (WGS-84). Entretanto, alguma inconsistência quanto ao posicionamento pode permanecer, com relação às incertezas

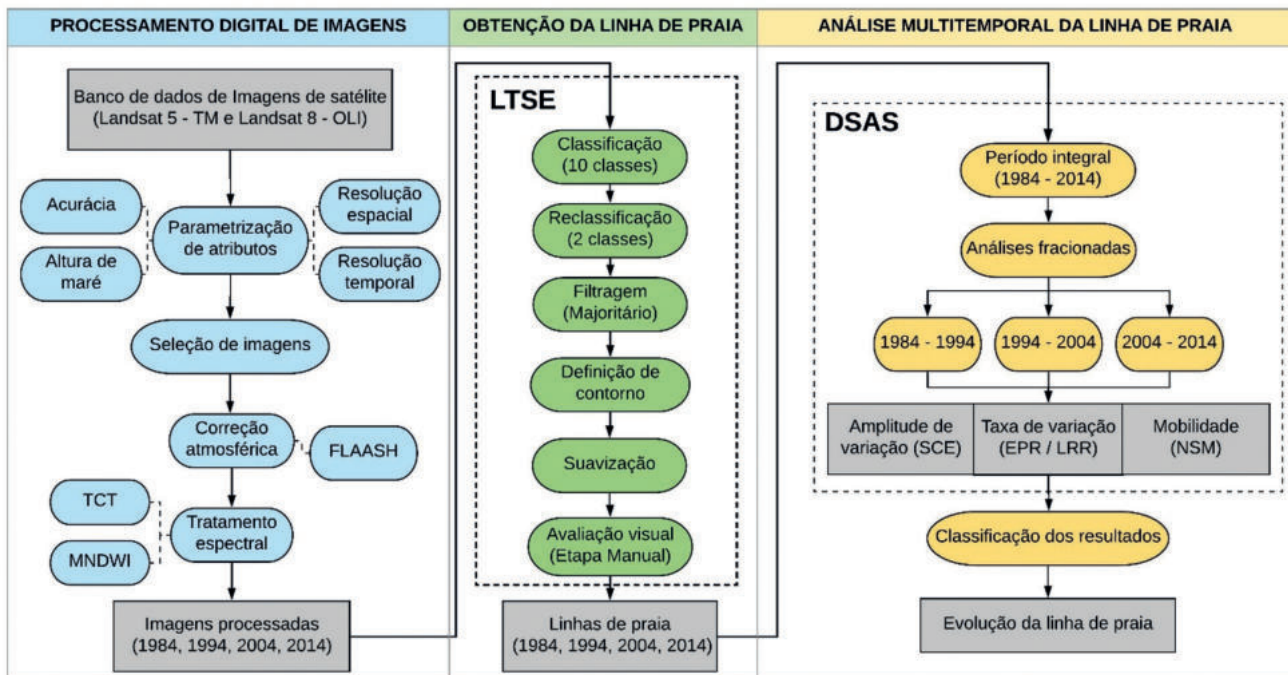


Figura 2 Fluxograma metodológico com os procedimentos adotados para análise da evolução das linhas de praia. LTSE = *Landsat Toolbox for Shoreline Extraction*; DSAS = *Digital Shoreline Analysis System*.



### 3.1 Coleta e Tratamento de Dados Multifontes

A primeira etapa do trabalho consistiu na seleção do conjunto de imagens de satélite guiada pelas mesmas resoluções espacial (30 m) e espectral (bandas espectrais do visível ao infravermelho), na abrangência da escala temporal para três décadas (1984 a 2014), na ausência de cobertura de nuvens e na manutenção de condições similares de altura de maré no momento da aquisição de cada imagem (Tabela 1). A parametrização desses atributos foi necessária tendo em vista a análise integrada de múltiplas linhas de praias, em correlação a outros estudos realizados nos últimos anos (Busman *et al.*, 2013b; Amaro *et al.*, 2014; Scudelari *et al.*, 2016). A coleta das imagens se deu a partir do *Earth Explorer*, plataforma gratuita de acessibilidade de diversos produtos de sensoriamento remoto do USGS.

Satélite	Landsat 5	Landsat 5	Landsat 5	Landsat 8
Sensor	TM*	TM*	TM*	OLI#
Data de imageamento	17/11/1984	29/01/1994	09/01/2004	03/10/2014
Hora da coleta Brasília)	08h58m32s	08h49m54s	9h08m20s	9h28m51s
Resolução espacial	30m	30m	30m	30m
Resolução radiométrica	8 bits	8 bits	8 bits	16 bits
Altura de maré	1,45m	1,01m	1,10m	1,2m
Datum	WGS - 84	WGS - 84	WGS - 84	WGS - 84
Projeção	UTM	UTM	UTM	UTM
Zona	25 Sul	25 Sul	25 Sul	25 Sul
Ponto/Órbita	214/064	214/064	214/064	214/064
Acurácia	7,5m	5m	4,7m	10,9m
Pontos de controle	70	32	87	58
*TM = Thematic Mapper; #OLI = Operational Land Imager				

Tabela 1 Informações das imagens de satélite selecionadas do *Earth Explorer*, empregadas para obtenção das linhas de praia multitemporais.

Após a seleção das imagens foi realizada a aplicação da correção atmosférica para minimizar quaisquer interferências na detecção das linhas de praia. Essa correção foi aplicada tendo em vista que os sinais de radiação eletromagnética, coletados pe-

los satélites, são modificados pelo espalhamento e absorção de gases e aerossóis em sua passagem pela atmosfera (Song *et al.*, 2001). A correção atmosférica foi aquela do método *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH) disponível no *software* ENVI. O FLAASH é um algoritmo baseado no MODTRAN e foi desenvolvido para análises da faixa espectral do visível ao infravermelho em imagens provenientes de sensores multiespectrais até os hiperespectrais. Esse algoritmo prove eficiente derivação baseada na física de propriedades atmosféricas albedo, coluna de vapor d'água e aerossol (Cooley *et al.*, 2002; França *et al.*, 2015; Jorge *et al.*, 2015).

Após a utilização da correção pelo método FLAASH, as imagens definidas como matrizes de pixels com *Digital Number* (DN) foram transformadas para que os pixels representassem os valores de refletância dos objetos na superfície. O uso da refletância permite uma aproximação maior entre as imagens de Sensoriamento Remoto e os dados de campo (Crist, 1985), sendo tido como adequado para a análise multitemporal de linhas de praia (Young *et al.*, 2017).

Em seguida, as imagens foram submetidas às técnicas matemáticas de Processamento Digital de Imagem (PDI) focadas na ampliação de contrastes entre os pixels para melhoria no destaque das linhas de praia. Os métodos de transformação aplicados foram o *Tasseled Cap Transformation* (TCT) de Kauth & Thomas (1976) e o *Modification of Normalized Difference Water Index* (MNDWI) de Xu (2005), que foram então combinados para posterior vetorização da linha de praia em ambiente SIG.

O uso do TCT se deu por se tratar de procedimento que condensa a informação de múltiplas bandas espectrais em três bandas principais: brilho (*brightness*), intensidade de verde (*greenness*) e umidade (*wetness*) que destacam respostas diferenciadas para o solo exposto, a vegetação verde, a umidade do solo e os corpos d'água, principais elementos do terreno que são usados como referência para a definição da linha de praia.

A decisão sobre o uso do MNDWI se deu a partir da análise de estudos prévios (Maglione *et al.*,

2014; Szabó *et al.*, 2016; Sarp & Ozcelik, 2017) que compararam os índices *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI) (Gao, 1996) *Modification of Normalized Difference Water Index* (MNDWI) (Xu, 2005) e *Automated Water Extraction Index* (AWEI) para delimitação de corpos de água (Feyisa *et al.*, 2014).

### 3.2 Detecção das Linhas de Praia

Nesta etapa foi utilizada a ferramenta *Land-sat Toolbox for Shoreline Extraction* (LTSE) que permitiu a obtenção da linha de praia de maneira automática a partir das imagens multitemporais tratadas na etapa anterior. A utilização dessa ferramenta permitiu que a coleta das linhas de praias ocorresse de forma mais rápida e segura do que a vetorização manual normalmente utilizada (Daniels, 2012).

Inicialmente, o LTSE foi utilizado para realizar a classificação das imagens de satélite em 10 classes utilizando as bandas resultantes da combinação do TCT e do MNDWI. Essa primeira classificação criou agrupamentos de pixels de mesma refletância que simplificaram a visualização e manuseio dos dados nas etapas posteriores. Em seguida foi feita a reclassificação da imagem para duas classes criando assim dois grandes agrupamentos de pixels, representando a parte continental e a parte marinha.

Após as etapas de classificação e reclassificação das imagens, foi realizada a filtragem dos pixels através do uso de um filtro do tipo majoritário, para reduzir o número de pixels isolados, que poderiam causar distorções na detecção da linha de praia. Em seguida, foram submetidas às ferramentas de contorno e suavização.

Como atividade final foi realizada a avaliação visual da linha de praia, com objetivo de corrigir possíveis erros e ajustar ambiguidades causadas pela eventual presença de nuvens ou de artefatos gerados devido ao método empregado. Ainda nessa etapa, todo o processo empregado foi analisado quanto a sua correspondência com a realidade de terreno, de acordo com reconhecimento *in loco*.

### 3.3 Análise Multitemporal das Linhas de Praia

Nessa etapa foram utilizadas as ferramentas disponíveis na ferramenta DSAS que é constituído

por três elementos básicos: as linhas de praia (ou costa) em si; as linhas de base como referência da forma geral da praia em estudo; e, os transectos lançados perpendiculares à linha de base (Thieler *et al.*, 2009).

As linhas de praia (ou costa) necessitam conter informações relacionadas às datas de sua obtenção, associadas às incertezas. Linhas de praia de diferentes fontes (por exemplo, imagens de satélites, levantamentos geodésicos, fotografias aéreas, *laser scanner* terrestre) podem ser utilizadas de maneira integrada, mas caso sejam utilizados dados de diferentes resoluções espaciais, ou onde se pretenda priorizar uma data específica, é necessário atribuir uma determinada incerteza para cada linha (Busman *et al.*, 2014). No presente estudo, quatro linhas de praia foram utilizadas, cada uma delas referente a uma imagem de satélite multitemporais (anos de 1984, 1994, 2004 e 2014).

As linhas de base do DSAS estão dispostas paralelamente as linhas de costa para que não sejam geradas falsas análises espaciais, em desacordo com a verdade do terreno, ao se utilizarem os cálculos nos módulos estatísticos. A criação das linhas de base também deve considerar a direção média de todas as linhas de costas envolvidas e podem ser criadas tanto de forma manual como de forma automática, caso todas as linhas de costas tenham forma e direção similares (Franco *et al.*, 2012).

Os transectos, linhas perpendiculares às linhas de base, foram espaçados com 100m de espaçamento, e conseqüentemente gerando 121 transectos, determinados a partir da precisão que se pretende obter com tais dados e da escala espacial de trabalho adotada. Esse elemento é gerado automaticamente pelo DSAS após a criação da linha de base, mas uma avaliação manual dessa disposição se faz necessária, para que não ocorram erros de especialização.

Após a organização de todos os elementos necessários ao funcionamento do DSAS foram então calculados os módulos *Shoreline Change Envelope* (SCE), o *Net Shoreline Movement* (NSM), *End Point Rate* (EPR) e *Linear Regression Rate* (LRR) para qualificar e quantificar a variação da linha de praia.



O SCE consiste no cálculo da distância entre a linha de praia mais próxima e mais distante da linha de base. Este módulo foi utilizado para observar a amplitude da variação da linha de praia em um determinado período, mas também pode ser entendido como um indicador de área de risco já que o mesmo considera as variações de linha de praia máximas que aconteceram ao longo de um transecto.

O NSM calcula a distância entre a linha de praia mais antiga e a mais recente no período de estudo. Esse módulo torna possível observar a mobilidade da linha de praia ao longo dos anos. O NSM também pode ser comparado com o SCE para determinar se houve predomínio, ou não, de episódios de erosão ou deposição durante a série temporal estudada.

O EPR fornece uma taxa média de variação da linha de praia ao longo de um intervalo de tempo. Esse módulo fornece uma visualização simplificada da evolução da linha de praia já que considera apenas duas linhas de costa.

O LRR consiste na taxa de variação de linha de praia determinada a partir do emprego da regressão linear simples. Em cada transecto são utilizadas todas as linhas de costa disponíveis e por isso há uma visualização mais realista da evolução da linha de praia. No módulo LRR os valores estimados de  $y$  são calculados para cada linha de praia usando os valores de  $x$  a partir de uma equação da reta (Equação 1):

$$y = mx + b \quad (1)$$

Onde,  $x$  é a data de coleta da linha de praia,  $y$  é a distância estimada a partir da linha de base,  $m$  é a taxa de variação da linha de praia e  $b$  é uma constante (Thieler *et al.*, 2009).

#### 4 Resultados e Discussões

A análise da evolução costeira na área de estudo ocorreu a partir da taxa de variação de linha de praia (LRR/EPR), amplitude de variação da linha de praia (SCE) e mobilidade da linha de praia (NSM) em quatro diferentes períodos: de 1984 a 1994; de 1994 a 2004; de 2004 a 2014 e de 1984 a 2014. Cada

um desses parâmetros foi então classificado, avaliado e correlacionado com estudos prévios sempre que possível (Busman *et al.*, 2013b; Amaro *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2015; Scudelari *et al.*, 2016).

A classificação utilizada para o LRR e EPR considerou variações de até 2,0 m como áreas de estabilidade, de 2,0 m a 5,0 m de variação como áreas de erosão ou deposição baixas, de 5,0 m a 10m de variação como áreas de moderada erosão ou deposição e áreas com mais de 10m de variação como áreas de alta erosão ou deposição. A classificação do SCE, considerou até 5,0 m de variação como amplitude de variação baixa, 5,0 m a 25,0 m como amplitude de variação moderada e acima de 25,0 m como amplitude de variação alta. Semelhante ao SCE, o NSM utilizou os intervalos de 0 a 5,0 m, 5,0 m a 25,0 m e acima de 25,0 m que mediram a mobilidade da linha de praia, seja ela positiva (ganho) ou negativa (perda). Contudo, em decorrência das incertezas de geolocalização das linhas de praia, em relação aos procedimentos metodológicos empregados sobre imagens com resolução espacial de 30 m, mesmo após melhorias no georreferenciamento e na classificação automática, as classes devem ser consideradas apenas como referências qualitativas. Ou seja, deve-se considerar, sobretudo os setores de praia onde se destacam amplitude de variação moderadas e acima de 25,0m.

#### 4.1 Evolução da Linha de Praia entre 1984 e 1994

No período de 1984 a 1994 (Figura 3), observou-se uma média na taxa de variação de -2,1 m/ano onde 60 transectos (50% do total) da área apresentaram relativa estabilidade, 56 transectos (46% do total) apresentaram erosão baixa (-2,0 a -5,0 m/ano), dois transectos (2% do total) mostraram erosão moderada e que em dois transectos (2% do total) constatou-se erosão forte (< -10 m/ano).

Quanto ao SCE, 15 transectos (12% do total) apresentaram amplitude de variação baixa (0 a 5,0 m), 75 transectos (62% do total) apresentaram entre 5,0 e 25,0 m de variação e 31 transectos (26% do total) apresentaram alta amplitude de variação (> 25 m), novamente mostrando que a área é instável (média de 20,2 m).

Quanto ao NSM, com média de -19,5 m, constatou-se que 31 transectos (26% do total) apresentaram alta mobilidade negativa, 72 transectos (60% do total) exibiram entre -5,0 e -25,0 m de mobilidade, 15 transectos (12% do total) têm baixa mobilidade negativa e três transectos (2% do total) apresentam moderada mobilidade positiva.

Portanto, no período constatou-se a presença de processos erosivos que levaram ao avanço da linha de praia em direção ao continente. Aproximadamente 50% da área mostrou uma taxa de variação da

linha de praia com valores inferiores a -2,0 m/ano enquanto que os outros 50% mostraram uma média de -0,9 m/ano.

#### 4.2 Evolução da Linha de Praia entre 1994 e 2004

No período de 1994 a 2004 (Figura 4), o EPR apresentou média de 1,4 m/ano. Ao longo da área dois transectos (2% do total) apresentaram alta deposição (>10 m/ano), um transecto mostrou deposição moderada (1% do total), 26 transectos exibiram

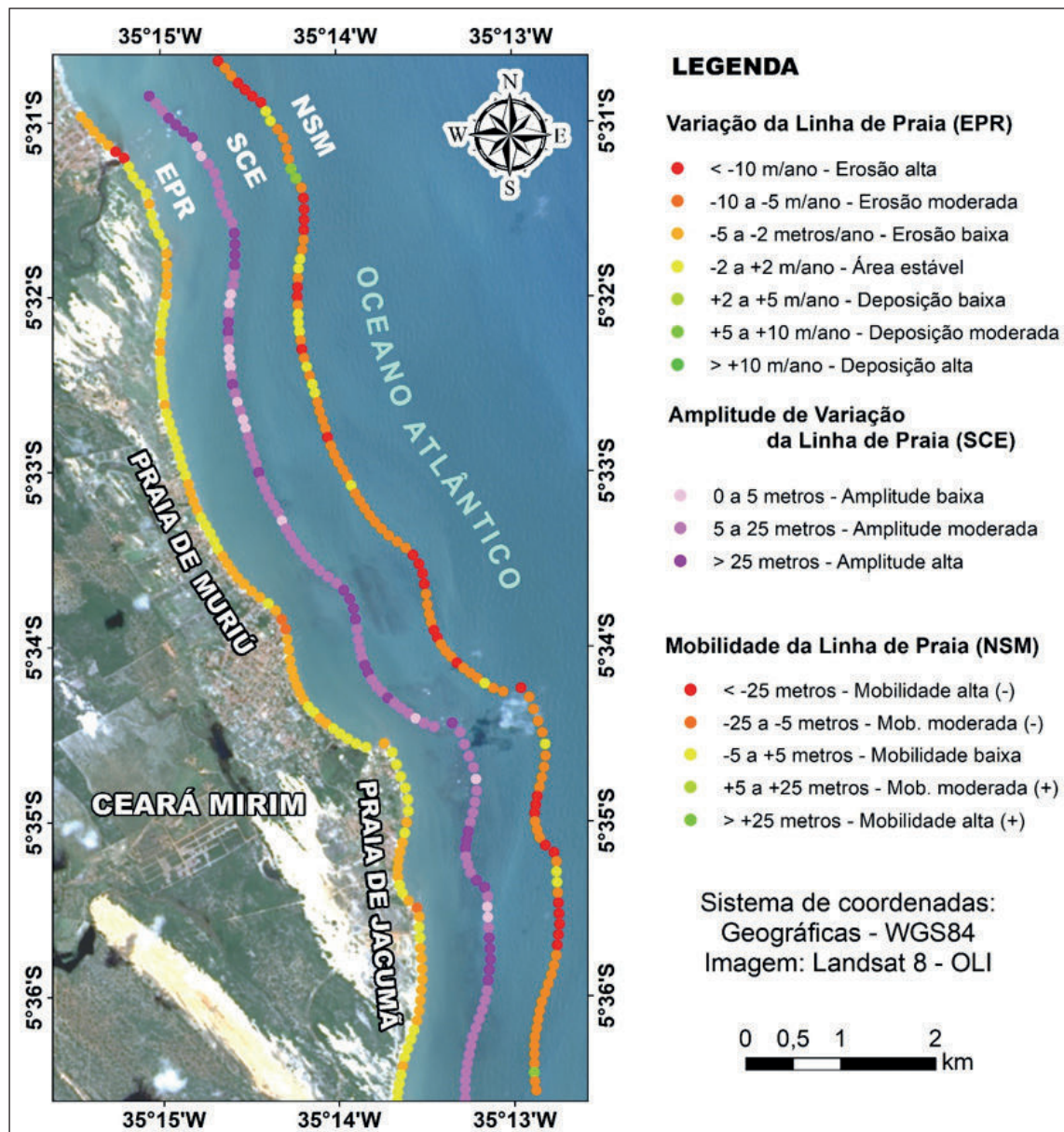


Figura 3  
 Análise da evolução da linha de praia no período de 1984 a 1994.



baixa deposição (21% do total), 90 transectos (74% do total) apresentaram-se estáveis, um transecto (1% do total) exibiu baixa erosão e um transecto (1% do total) exibiu moderada erosão.

Quanto ao SCE, com média de 17,8 m, 30 transectos (25% do total) mostraram baixa amplitude de variação, 69 transectos (57% do total) apresentaram amplitude entre 5,0 e 25,0 m e 22 transectos (18% do total) apresentaram alta amplitude de variação.

Em relação ao NSM, que apresentou média de 14,4 m, foram observados dois transectos (2% do

total) com mobilidade entre -25,0 e -5,0 m, 9 transectos (7% do total) com mobilidade moderada, 30 transectos (25% do total) com mobilidade baixa, 60 transectos (50% do total) com mobilidade moderada positiva e 20 transectos (17% do total) dos transectos com alta mobilidade positiva (>25 m).

Portanto, o período de 1994 a 2004 teve como característica principal a estabilidade de algumas áreas (média de +0,7 m/ano) e deposição de sedimentos que juntas totalizaram aproximadamente 92% do total dos transectos.

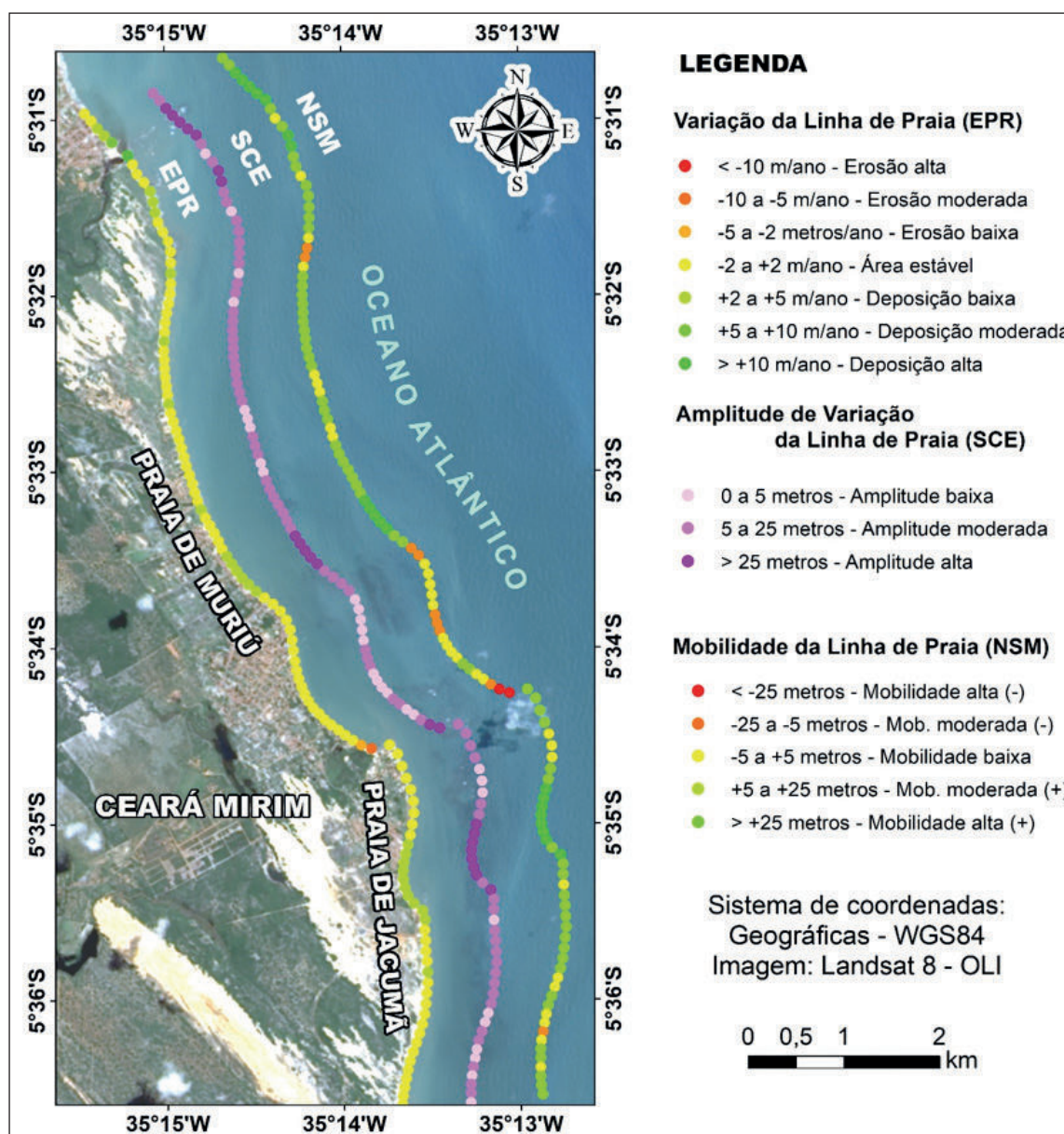


Figura 4  
 Análise da evolução da linha de praia no período de 1994 a 2004.



### 4.3 Evolução da Linha de Praia entre 2004 e 2014

No período de 2004 a 2014 (Figura 5), foi observada uma taxa de variação da linha de praia de média de -1,4 m/ano, nesse intervalo 82 dos transectos (68% do total) mostraram relativa estabilidade, 35 dos transectos (29% do total) mostraram variação entre -5,0 e -2,0 m/ano e quatro dos transectos (3% do total) mostraram moderada erosão (-10,0 a -5,0 m/ano).

Quanto ao SCE observou-se 31 dos transectos (26% do total) com amplitude de variação de até 5,0 m, 54 dos transectos (45% do total) com amplitude de variação moderada e 36 dos transectos (30% do total) dos transectos com alta amplitude de variação, valores mais próximos ao período anterior. Nesse

período o SCE apresentou em média de 17,3m de amplitude de variação.

Em relação ao NSM, observou maior mobilidade negativa (média de -14,7 m). Dos 121 transectos, 36 (30% do total) exibiram valores inferiores a -25,0 m de mobilidade, 42 (26% do total) mostraram mobilidade entre -25,0 e -5,0 m, 31 (36%) apresentaram baixa mobilidade e 12 (10%) exibiram entre 5,0 e 25,0 m de mobilidade.

No período entre 2004 e 2014 houve maior incidência de processos erosivos no trecho estudado. Apesar disso, diversamente do período entre 1984 e 1994, observou-se uma menor intensidade desses processos refletidos em valores menores de amplitude de variação e mobilidade da linha de praia.

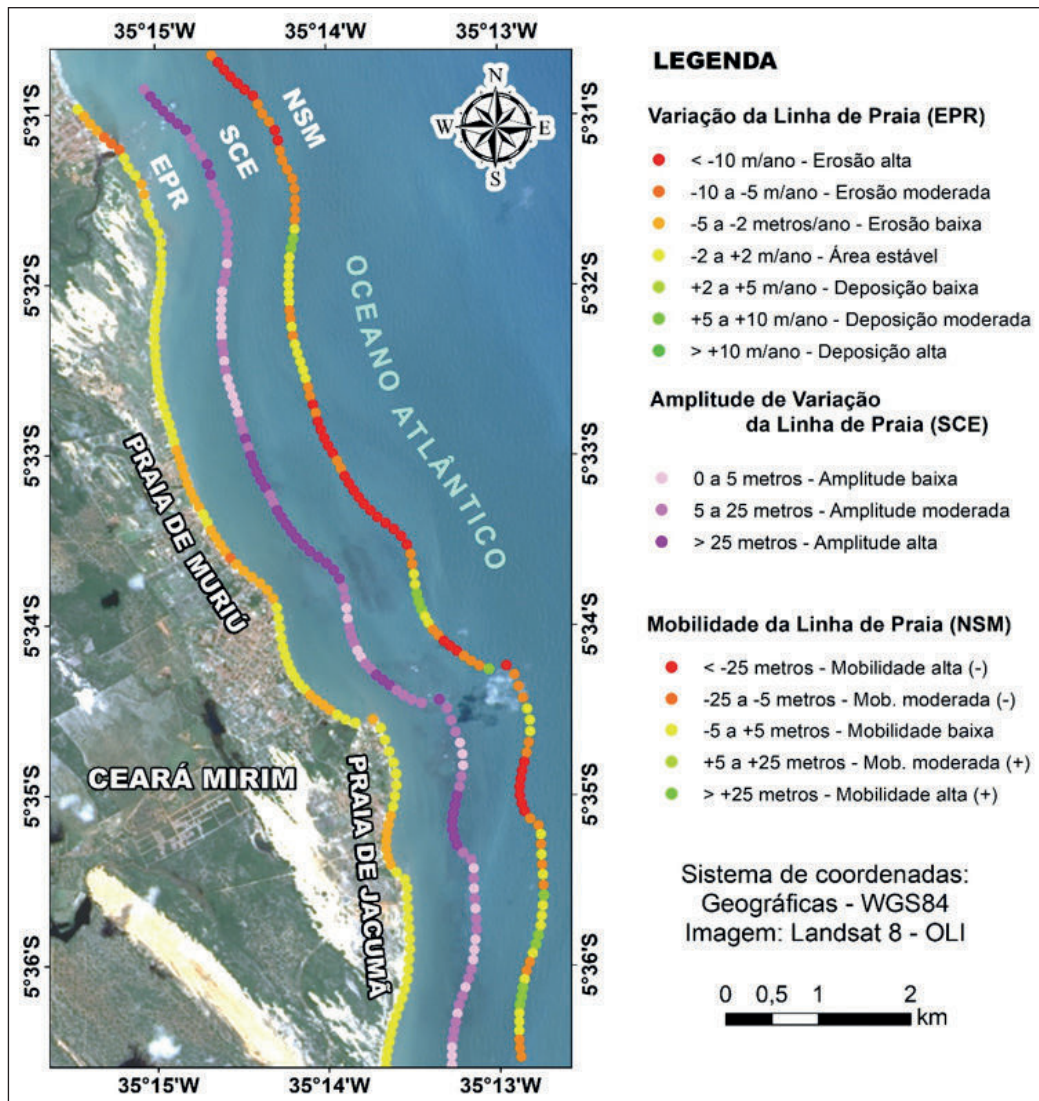


Figura 5 Análise da evolução da linha de praia no período de 2004 a 2014.

#### 4.4 Evolução da Linha de Praia entre 1984 e 2014

A análise multitemporal completa entre os anos de 1984 a 2014 foi apresentada na Figura 6 e descreveu a variação da linha de praia (LRR) com média de -0,5 m/ano, na qual 116 transectos (96% do total) indicaram estabilidade (-2,0 a 2,0 m/ano), quatro transectos (3% do total) apresentaram erosão baixa (-5,0 a -2,0 m/ano) e um transecto (1% do total) apresentou deposição baixa (2,0 a 5,0 m/ano).

Em contraste ao LRR, os valores de SCE para todo o período mostraram grande variação (média de 31,9 m), 67 transectos (55% do total) apresentaram amplitude de variação superior a 25,0 m, característica pertinente em áreas instáveis, 51 transectos apresentaram entre 5,0 e 25,0 m de amplitude de variação (42% do total) e apenas três transectos (3% do

total) apresentaram variação entre 0 e 5,0 m durante o período analisado.

Quanto ao NSM, que apresentou média de -19,8 m de mobilidade, foi constatado que 43 transectos (36% do total) apresentaram mobilidade inferiores a -25,0 m, 46 transectos (38% do total) apresentaram mobilidade entre -5,0 e -25,0 m, 26 transectos (21% do total) mostraram mobilidade entre 5,0 e -5,0 m, cinco transectos (4% do total) mostraram mobilidade entre 5,0 e 25,0 m e um transecto (1% do total) apresentou valores superiores a 25,0 m de mobilidade.

Assim, a partir da leitura do LRR foi observado a estabilidade na linha de praia com variações entre -2,0 e 2,0 m por ano. No entanto, os resultados de NSM e SCE mostram que a área apresenta alta instabilidade, com eventos alternados de erosão e deposição.

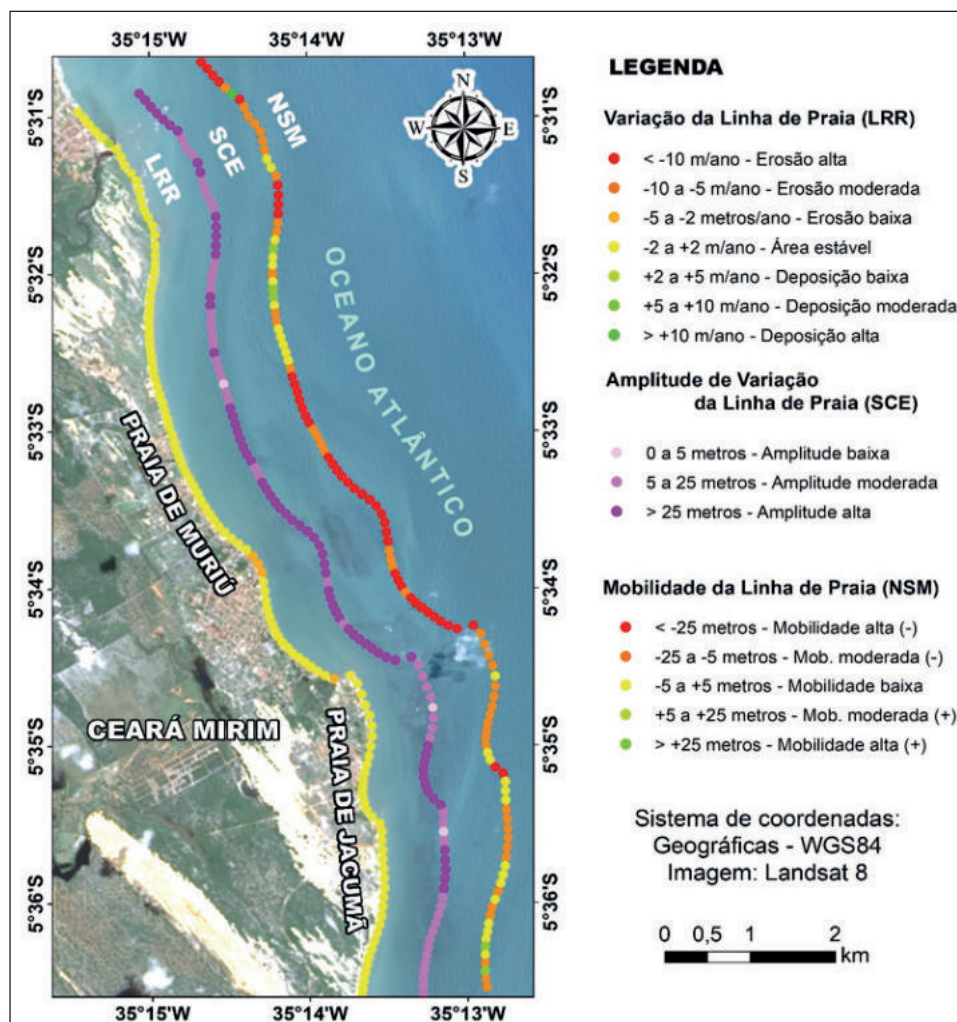


Figura 6 Análise da evolução da linha de praia no período completo entre os anos de 1984 a 2014.

Os resultados obtidos foram comparados aos estudos previamente realizados na praia de Ponta Negra, localizada ao sul da área na capital do estado Natal (Busman *et al.*, 2013b; Amaro *et al.*, 2014; Scudelari *et al.*, 2016).

Tais estudos, que abordaram o período compreendido entre os anos de 1976 e 2012, apresentam similaridades na metodologia empregada, utilizando imagens de satélite com parâmetros semelhantes ao do presente estudo. Além disso, a praia de Ponta Negra apresenta características compatíveis com as praias de Jacumã e Muriú, com aspectos geológicos, ecológicos e padrão ocupacional que podem ser correlacionados aos observados na área de estudo desse trabalho.

Para uma comparação de maior acurácia, os períodos comparados em ambas as praias foram o período entre 1984 e 2014 nas praias de Jacumã e Muriú e o período de 1986 e 2012 na praia de Ponta Negra, constituindo assim 30 anos de evolução da linha de praia com informações de quatro diferentes décadas.

Ambas as áreas mostraram semelhanças nas taxas de variação, amplitude e mobilidade da linha de praia com Ponta Negra mostrando uma maior tendência erosiva que foi melhor evidenciada nas análises fracionadas. Ponta Negra se apresentou estável no período de 1986 a 1994 e posteriormente passou a apresentar um aumento crescente nos processos erosivos evidenciados entre 1994 e 2004 e 2004 e 2012. As praias de Jacumã e Muriú, em contrapartida, mostraram uma alternância de episódios erosivos e de deposição a cada dez anos, apresentando um período erosivo entre 1984 e 1994, um período de deposição entre 1994 e 2004 e outro período de erosão entre 2004 e 2014.

Quanto as causas dos processos de erosão e deposição em ambas as áreas e os diferentes ciclos sedimentares apresentados, essas devem ser atribuídas, obviamente, as forças motrizes da dinâmica costeira (ondas, ventos, correntes e marés), aliadas às questões referentes ao aumento do nível do mar e intensificadas pela interferência antropogênica na ocupação da orla marítima, possível em função de gestões desordenadas da orla marítima (Souza,

2009a; Amaro *et al.* 2014; Scudelari *et al.* 2016). Notoriamente, as praias de Jacumã e Muriú, constituído originalmente por vilas de pescadores e em seguida por residências de veraneio ocupando setores do pós-praia, além da retirada natural dos sedimentos da face de praia para os campos de dunas, pela ação dos ventos alísios, pode ser uma das razões para as variações detectadas nas amplitudes dos processos erosivos.

## 5 Conclusões

A análise da evolução da linha de praia a partir do LRR no período de 1984 a 2014 apresentou uma área relativamente estável (-0,5 m/ano), exibindo na maioria dos transectos variação da linha de praia de até dois metros por ano. No entanto, a partir da observação dos módulos SCE (média de 31,9 m) e NSM (média de -19,8 m) foi possível observar que apesar de sua aparente estabilidade, essa área apresentou grande mobilidade e amplitude de variação da linha de praia nesse período. Por esse motivo foram necessárias análises década a década para então se constatar que na área ocorreram tanto eventos de erosão como eventos de deposição que alternaram entre si ao longo do tempo.

Na análise realizada para o período entre 1984 e 1994 constatou-se a perda significativa de sedimentos na área. Nesse período foram observados valores de EPR negativos (média de -2,1 m) em 50% dos transectos, valores de SCE elevados (média de 20,2 m) em 88% da área estudada e valores de NSM negativos (média de -19,5 m) em 98% dos transectos.

Já o período entre 1994 e 2004 foi marcado por relativa estabilidade (média de +1,4 m/ano) com uma significativa área apresentando deposição de sedimentos (24% dos transectos). A partir desse resultado percebeu que esse período foi mais estável que o período anterior, explicando assim parte do resultado observado na análise realizada entre 1984 e 2014. Nesse período o NSM mostrou variações positivas significativas (média de 14,4 m) em relação ao período anterior, caracterizando assim a presença de eventos deposicionais que forneceram sedimentos para as praias de Jacumã e Muriú.



O período compreendido entre 2004 e 2014 mostrou a presença de processos erosivos (média de -1,4 m/ano) com uma significativa área apresentando erosão de sedimentos (32% dos transectos). Porém, diferentemente do período entre 1984 e 1994, a intensidade desses processos foi menor, apresentando valores de SCE e NSM mais baixos, com médias de 17,3 m e -14,7 m respectivamente.

Após analisar a evolução da linha de praia entre 1984 e 2014 e, de forma individualizada, os períodos de 1984 a 1994, 1994 a 2004 e 2004 a 2014 foi possível concluir que, apesar da área ter mostrado inicialmente um quadro de relativa estabilidade, trata-se de uma área com tendência moderada a erosão, mostrando uma média de taxa de variação de linha de praia de -0,5 m/ano. A área também apresentou uma intensa dinâmica sedimentar marcada pela incidência tanto de episódios de deposição como erosão de diferentes intensidades identificadas a partir do uso dos módulos NSM e SCE.

Além disso, a partir da comparação com estudos prévios realizados para a praia de Ponta Negra, para períodos temporais similares (1984 a 2014 e 1986 a 2012), foram observadas analogias no comportamento da linha de praia, com destaque para mais intensa erosão na praia de Ponta Negra, provavelmente causada por maior déficit nas células sedimentares naquele setor, com maior urbanização e transformações decorrentes do uso da orla marítima.

Por fim, levando essas informações em consideração e à luz do crescente aumento da ocupação dessa área, o presente estudo forneceu informações fundamentais sobre a evolução da linha de praia em Jacumã e Muriú, praias do Litoral Oriental do RN, no período de 1984 e 2014, que podem ser utilizadas como subsídios técnicos qualitativos ao gerenciamento costeiro da orla marítima, seja na etapa de implantação, ou na etapa de manutenção de obras e atividades turísticas ou de ocupação nesse setor costeiro.

## 6 Referências

- Agardy, T.; Bridgewater, P.; Crosby, M.P.; Day, J.; Dayton, P.K.; Kenchington, R. & Peau, L. 2003. Dangerous targets? Unresolved issues and ideological clashes around marine protected areas. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 13(4): 353-367.
- Albino, J. 1999. Morfodinâmica e processo de sedimentação atual das praias de Bicanca à Povoação, ES. Tese de doutoramento. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP). 178p.
- Almeida, L.R.D.; Amaro, V.E.; Marcelino, A.M.T. & Scudelari, A.C. 2015. Avaliação do clima de ondas da praia de Ponta Negra (RN, Brasil) através do uso do SMC-Brasil e sua contribuição à gestão costeira. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 15(2): 135-151.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Moraes, G.; Leonardo, J. & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Amaro, V.E. & Araújo, A.B. 2008. Análise multitemporal da morfodinâmica da região costeira setentrional do Nordeste do Brasil entre os municípios de Grossos e Tibau, Estado do Rio Grande do Norte. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8(2): 77-100.
- Amaro, V.E.; Gomes, L.R.S.; Lima, F.G.F.; Scudelari, A.C.; Neves, C.F.; Busman, D.V. & Santos, A.L.S. 2014. Multitemporal analysis of coastal erosion based on multi-source satellite images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil. *Marine Geodesy*, 38(1): 1-25.
- Amorim, A.C.B.; Chaves, R.R. & Silva, C.M.S. 2014. Influence of the tropical Atlantic Ocean's sea surface temperature in the eastern northeast Brazil precipitation. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4: 874-883.
- Araújo, M. da A. 2008. Climate, tectonics and beach erosion: the case of Espinho (NW Portuguese Coast). *Estudos do Quaternário*, 5:39-50.
- Araújo, D.J.C.; Scudelari A.C. & Amaro V.E. 2015. Evolução decadal da taxa de transporte longitudinal de sedimento em praias urbanas da zona costeira de Natal/RN. In: CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 8, Aveiro, 2015. Anais, Aveiro, APRH, p. 1-15.
- Ângulo, R.J. 1993. A ocupação urbana no litoral paranaense e as variações da linha de costa. *Bol. Paranaense Geociências*, v. 41:73-81.
- Bezerra, F.H.R.; Amaro, V.E.; Vita-Finzi, C. & Saadi, A. 2001. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 14:61-75.
- Bird, E.C.F. 1985. *Coastline Changes: A Global Review*. Chichester, John Wiley & Sons, 219p.
- Bird, E.C.F. 2008. *Coastal geomorphology: an introduction, 2nd Edition*. Chichester, John Wiley & Sons, 411p.
- Busman, D.V.; Amaro, V.E.; Prudêncio, M.C.; Lima, F.G.F.; Matos, M.F.A. & Moura, J.E. 2013b. Shoreline changes from 1986 to 2010 on Ponta Negra beach, Natal / RN, Northeast Brazil. In: INTERNATIONAL SHORT COURSE/CONFERENCE ON APPLIED COASTAL RESEARCH, Lisboa, 2013. Resumo, Lisboa, SCA-CR, p. 1-2.
- Busman, D.V.; Amaro, V.E. & Prudencio, M.C. 2014. Comparison of prognostic models in different scenarios of shoreline position on Ponta Negra beach in Northeast, Brazil. *World Academy of Science, Engineering and*

- Technology*, 8: 17-21.
- Cooley, T.; Anderson, G.P.; Felde, G.W.; Hoke, M.L.; Ratkowski, A.J.; Chetwynd, J.H.; Gardner, J.A.; Adlergolden, S.M.; Matthew, M.W.; Berk, A.; Bernstein, L.S.; Acharya, P.K.; Miller, D. & Lewis, P. 2002. FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation. *In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM*, 3, Toronto, 2002. Resumo, Toronto, IEEE, p.1414-1418.
- CPRM. 2018. Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 05 nov. 2018.
- Crist, E.P.A. 1985. TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data. *Remote Sensing of Environment*, 17(3): 301-306.
- Danforth, W.W. & Thieler, E.R. 1992. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) user's guide: version 1.0. *In: Open-File Report 92-355*, Wood Holes, U.S. Geological Survey, p.1-41. (USGS Numbered Series).
- Daniels, R.C. Using ArcMap to extract shorelines from LANDSAT TM & ETM+ data. 2012. *In: ESRI INTERNATIONAL USERS CONFERENCE*, 32, San Diego, 2012. Anais, San Diego, ESRI, p. 1-23.
- Davis Jr., R.A. & Fitzgerald, D.M. 2009. *Beaches and Coasts*. Oxford, Blackwell Science Ltd., 419p.
- Defeo, O.; McLachlan, A.; Schoeman, D.S.; Schlacher, T.A.; Dugan, J.; Jones, A.; Lastra, M. & Scapini, F. 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81: 1-12.
- Dominguez J. M. L.; Bittencourt A.C.S.P. 1996. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion in northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68:355-371.
- El-Robrini, M.; Souza Filho, P.W.M. 1994. A Plataforma Continental do Amazonas e as Evidências das Oscilações do Nível do Mar durante o Quaternário Superior Terminal. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 38. Camboriú, Anais, SBG, 1: 417-419.
- Feyisa, G.L.; Meilby, H.; Fensholt, R. & Proud, S.R. 2014. Automated Water Extraction Index: a new technique for surface water mapping using LANDSAT imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140: 23-35.
- Ford, M. 2013. Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images: Wotje Atoll, Marshall Islands. *Remote Sensing of Environment*, 135: 130-140.
- França, D.G.M.; Siani, S.M.O. & Moraes, E.C. 2015. Avaliação da correção atmosférica por FLAASH sobre cenas OLI LANDSAT-8. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 17, João Pessoa, 2015. Anais, João Pessoa, INPE, p. 6526-6533.
- Franco, C.G.M.; Amaro, V.E. & Souto, M.V.S. 2012. Prognóstico da erosão costeira no litoral setentrional no Rio Grande do Norte para os anos de 2020, 2030 e 2040. *Revista de Geologia (Fortaleza)*, 25(2): 37-55.
- Gao, B.C. 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58: 257-266.
- Gruber, N.L.S.; Barboza, E.G. & Nicolodi, J.L. 2003. Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: subsídios para gestão integrada da zona costeira. *Gravel*, 1: 81-89.
- INMET. 2018. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 05 nov. 2018.
- Kauth, R.J. & Thomas, G.S. 1976. The Tasseled Cap - A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT. *In: PROCEEDINGS, SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA*, 159, Indiana, 1976. Anais, Indiana, Laboratory for Applications of Remote Sensing, p. 41-51.
- Jorge, D.S.F.; Amore, D.J. & Barbosa, C.F. 2015. Efficiency estimation of four different atmospheric correction algorithms in a sediment-loaded tropic lake for LANDSAT 8 OLI sensor. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 17, João Pessoa, 2015. Anais, João Pessoa, INPE, p. 4428-4435.
- Maglione, P.; Parente, C. & Vallario, A. 2014. Coastline extraction using high-resolution WorldView-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1): 685-699.
- Manso, V.A.V.; Corrêa, I.C.S.; Guerra, N.C. 2003. Morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna entre as praias Porto de Galinhas e Campos - Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 30(2):17-25.
- Marin, F.D.O. 2009. *A Subcorrente Norte do Brasil ao largo da Costa do Nordeste*. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 140p.
- Moraes, A.C.R. 2007. *Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro*. São Paulo, Editora Annablume, 232p.
- Neumann, B.; Vafeidis, A.T.; Zimmermann, J. & Nicholls, R.J. 2015. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment. *PLoS ONE* 10(3): 1-34.
- Peterson, R.G. & Stramma, L. 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in oceanography*, 26(1): 1-73.
- Post, J.C. & Lundin, C.G. 1996. *Guidelines for integrated coastal zone management*. Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series. Washington, World Bank, 28p.
- Ribeiro, F. 2014. Caracterização das correntes da plataforma continental interna da Praia de Ponta Negra. Dissertação de Doutorado, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, 54p.
- Roy, D.P.; Wulder, M.A.; Loveland, T.R.; Woodcock, C.E.; Allen, R.G.; Anderson, M.C.; Helder, D.; Irons, J.R.; Johnson, M.D.; Kennedy, R.; Scambos, T.A.; Schaaf, C.B.; Schott, J.R.; Sheng, Y.; Vermote, E.F.; Belward, A.S.; Bindschadler, R.; Cohen, W.B.; Gao, F.; Hipple, J.D.; Hostert, P.; Huntington, J.; Justice, C.O.; Kilic, A.; Kovalsky, V.; Lee, Z.P.; Lyburner, L.; Masek, J.G.; McCorkel, J.; Shuai, Y.; Trezza, R.; Vogelmann, J.; Wynne, R.H.; Zhu, Z. 2014. Landsat-8: Science and Product Vision for Terrestrial Global Change Research. *Remote Sensing Environment*, 145, p. 154-172.
- Sarp, G. & Ozelik, M. 2017. Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*, 11(3): 381-391.
- Scudelari, A.C.; Neves, C.F.; Amaro, V.E. & Santos, O.F. 2016.

- Ponta Negra Beach, Natal, Brazil: A Roll and Rock Story. *Journal of Coastal Research: Special Issue*, 75: 815-819.
- Shi, H. & Singh, A. 2003. Status and interconnections of selected environmental issues in the global coastal zones. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32(2): 145-152.
- Song, C.; Woodcock, C.E.; Seto, K.C.; Lenney, M.P. & Macomber, S.A. 2001. Classification and Change Detection Using LANDSAT TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? *Remote Sensing of Environment*, 75(2): 230-244.
- Souza, C.R. de G. 1997. As Células de Deriva Litorânea e a Erosão nas Praias do Estado de São Paulo. Dissertação de Doutorado, 2 volumes, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Souza, C.R.G. 2009a. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 9(1): 17-37.
- Souza, C.R. de G. 2009b. A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Conseqüências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: Bononi, V.L.R., Santos Junior, N.A. (Org.), Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado, pp.48-69, Instituto de Botânica – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- Suguio, K. 2003. *Geologia Sedimentar*. São Paulo, Editora Edgard Blucher, 400p.
- Stramma, L. & England, M. 1991. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(9): 20863-20883.
- Stramma, L.; Fischer, J. & Reppin, J. 1995. The North Brazil Undercurrent. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 42(5): 773-795.
- Szabó, S.; Gácsi, Z. & Balázs, B. 2016. Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. *Acta Geographica Debrecina Landscape & Environment Series*, 10(3-4): 194-202.
- Thieler, E.R. & Danforth, W.W. 1994. Historical shoreline mapping (II): application of the Digital Shoreline Mapping and Analysis Systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. *Journal of Coastal Research*, 10(3): 600-620.
- Thieler, E.R.; Himmelstoss, E.A.; Zichichi, J.L. & Ergul, A. 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change. In: Open-File Report 2008-1278, Reston, U.S. Geological Survey, p.1-79. (USGS Numbered Series).
- Thomas, N.; Lucas, R.; Bunting, P.; Hardy, A.; Rosenqvist, A. & Simard, M. 2017. Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996–2010. *PLoS ONE*, 12(6): 1-14.
- Tomazelli, L.J.; Villwock, J.A.; Dillenburg, S.R.; Bachi, F.A.; Dehnhardt, B.A. 1998. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.70(2):221-229.
- Tucker, C.; Grant, D.M.; Dykstra, J.D. 2004. NASA's global orthorectified Landsat Data Set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(3): 313-322.
- Vital, H.; Amaro, V.E.; Statterger, K.; Schwarzer, K.; Tabosa, W.F.; Frazão, E.P.; Silveira, I.M.; Caldas, L.H.O. 2002. Interactions of sea level and tectonics on large scale bedforms preserved on a tropical shelf: The Rio Grande do Norte Shelf, NE Brazil. *Continental Shelves during the last glacial cycle*. 2nd Conference. IGCP 464. São Paulo. Abstracts. P.99-100.
- Vital, H.; Silveira, I.M.; Amaro, V.E.; Melo, F.T.L.; Souza, F.E.S.; Chaves, M.S.; Lima, Z.M. C.; Frazão, E.P.; Tabosa, W.F.; Araújo, A.B. & Souto, M.V.S. 2006. Rio Grande do Norte. In: MUEHE, D. (ed.) *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Ministério do Meio Ambiente, p.155-172.
- Vital, H.; Statterger, K.; Amaro, V.E.; Schwarzer, K.; Frazão, E.P.; Tabosa, W.F. & Silveira, I.M. 2008. A modern high-energy siliciclastic-carbonate platform: Continental shelf adjacent to northern Rio Grande do Norte State, northeastern Brazil. *Journal of Sedimentary Research*, 90: 175-188.
- Vital, H.; Silveira, I.M.; Tabosa, W.F.; Lima, Z.M.C.; Lima-Filho, F.P.; Souza, F.E.S.; Chaves, M.S.; Pimenta, F.M. & Gomes, M.P. 2016. Beaches of Rio Grande do Norte. In: SHORT A.D. & KLEIN, A.H.F. (eds.) *Brazilian Beach Systems*. Coastal Research Library, p. 201-229.
- Wilkinson, C. 2008. *Status of coral reefs of the world: 2008*. Townsville, Reef and Rain Forest Research Centre, 298 p.
- Whittaker, A. C. 2012. How do landscapes record tectonics and climate? *LITHOSPHERE*; v. 4; no. 2; p. 160–164.
- Wright, L.D. & Short, A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine geology*, 56(1-4): 93-118.
- Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14): 3025–3033.
- Young, N.E.; Anderson, R.S.; Chignell, S.M.; Vorster, A.G.; Lawrence, R. & Evangelista, P.H. 2017. A survival guide to LANDSAT preprocessing. *Ecology*, 98(4): 920-932.