REDE
ISSN:1985-5528
Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS NA ANÁLISE DA DINÂMICA COSTEIRA NA DESEMBOCADURA DO RIO PUNAÚ-RN, NORDESTE DO BRASIL

Geotechnologies applied in the analysis of coastal dynamics on the Punaú river mouth, Northeastern Brazil

Geotecnologías aplicadas en el análisis de dinámicas costeras en la desembocadura del río Punaú, Noreste de Brasil

Daniel Maciel Weiner[1]
Venerando Eustáquio Amaro[2]
Iago Queiroz de Carvalho[3]
Paulo Victor do Nascimento Araújo[4]

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica costeira de uma área do baixo curso do Rio Punaú, Rio Grande do Norte, Brasil, com o uso de geotecnologias. O trabalho utilizou imagens adquiridas através de Aeronave Remotamente Pilotadas (ARP) em dezembro de 2017, março e junho de 2019, apoiadas por pontos de controle em terreno rastreados por Sistema de Navegação por Satélite (GNSS). Com isso gerou-se produtos de alta resolução espacial analisados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). A área de estudo se apresenta como sendo de alta sensibilidade ambiental e acelerada dinâmica costeira, sendo urgente estudos em escala de detalhe que possam fornecer subsídios para embasar a tomada de decisão de gestores públicos na promoção de um melhor ordenamento do território. Os resultados mostraram a eficácia do uso das geotecnologias nos estudos costeiros que apontaram períodos alternados de erosão e deposição na área de estudo bem como de avanço e recuo da linha de costa, reforçando a necessidade de estabelecimento de políticas públicas de ordenamento do território.
Palavras-Chave: Erosão Costeira. Linha de Costa. DSAS. Aeronave Remotamente Pilotada.

ABSTRACT

The Purpose of this work was to evaluate the coastal dynamics of an area of the down course of Punaú river, state of Rio Grande do Norte, Brazil using geotechnologies The work used images acquired by a Remotely Piloted Aircraft (RPA) in December of 2017, March of 2019 and June of 2019, supported by ground control points tracked by Global Navigation Satellite System (GNSS), generating products of high resolution analyzed is a Geographic information system (GIS). The study area presents itself as being of

[1] Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); E-mail: macielweiner@gmail.com;
[2] Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); E-mail; venerandoamaro@gmail.com;
[3]Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); E-mail: iagocarvalhogeo@gmail.com;
[4] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN); E-mail: paulo.araujo@ifrn.edu.br

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

high environmental sensitivity and accelerated coastal dynamics, urging detailed scale studies that can provide subsidies to support the decision-making of public managers in promoting better spatial planning. The results showed the effectiveness of the use of geotechnologies in coastal studies that pointed to alternating periods of erosion and deposition in the study area, as well as the advance and retreat of the coastline, reinforcing the need to establish public policies for spatial planning.
Key-Words: Coastal Erosion. Coastline. DSAS. Remotely Piloted Aircraft.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la dinámica costera de un área del curso inferior del río Punaú, Rio Grande do Norte, Brasil, utilizando geotecnologías. El trabajo utilizó imágenes adquiridas a través de Aeronave Piloteada a Distancia (ARP) en diciembre de 2017, marzo y junio de 2019, respaldadas por puntos de control en tierra rastreados por Sistema de navegación por satélite (GNSS). Esto generó productos de alta resolución espacial analizados en un entorno Sistema de información geográfica (GIS). El área de estudio se presenta como de alta sensibilidad ambiental y dinámica costera acelerada, y estudios urgentes a escala detallada que pueden proporcionar subsidios para apoyar la toma de decisiones de los administradores públicos en la promoción de una mejor ordenación del territorio. Los resultados mostraron la efectividad del uso de geotecnologías en estudios costeros que apuntaban a periodos alternos de erosión y deposición en el área de estudio así como el avance y retroceso del litoral, reforzando la necesidad de establecer políticas públicas de ordenamiento territorial.
Palabras-Clave: Erosión Costera. Línea Costera. DSAS. Aeronaves Pilotadas a Distancia.

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras têm historicamente atraído populações, assentamentos humanos e suas diversas atividades devido às amenidades que provêm, seu valor estético e pelos variados serviços ecossistêmicos que oferece como a provisão de alimentos, regulação biológica (berçários naturais), regulação do clima etc. Como consequência disso, esses setores passam a ser intensamente ocupados e desenvolvidos, muitas vezes, de forma desordenada (LUIJENDIJK et al., 2018).

As áreas que compõem a paisagem costeira são comprovadamente complexas e dinâmicas devido a processos climáticos, pedológicos, geológicos, geomorfológicos e biológicos que interagem nesses ambientes. Além da intensa dinâmica de ordem natural, existe uma pressão que se exerce sobre ela representada pelos processos antrópicos com a coexistência de diversas atividades econômicas e falta de ordenamento do território adequado, que tornam essa problemática ainda mais contundente quando se percebe a possibilidade de perdas humanas e materiais que podem acontecer em sua virtude (MUEHE, 2008; MEIRELES, 2008; MELLO et al., 2010; SILVA; FARIAS FILHO, 2019).

Frente ao atual cenário de mudanças climáticas, com o aumento do nível relativo do mar e maior frequência de eventos climáticos extremos, a dinâmica costeira vem sofrendo alterações ao redor do planeta, principalmente na movimentação e balanço dos sedimentos, ou relação entre erosão e deposição nas linhas de costa. A erosão costeira aparece como uma questão de alta relevância em virtude da ocupação antrópica que aconteceu, no decorrer dos séculos, na orla marítima sobre sistemas geomorfológicos como campos de dunas, praias arenosas, estuários e deltas. As praias arenosas ocupam

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

mais de um terço da linha de costa global e têm alto valor socioeconômico relacionado à recreação, turismo e proteção, além de serviços ecossistêmicos. Tendências da dinâmica costeira de recuo da linha de costa, impulsionado pelo aumento do nível médio do mar, podem resultar na redução à metade das praias arenosas do mundo até o final do século (VOUDOUSKAS et al., 2020).

Inicialmente, os estudos analíticos da dinâmica costeira eram realizados através das técnicas clássicas de topografia, utilizando equipamentos tradicionais para mensurar as alterações do ambiente costeiro no espaço/tempo. Contudo, as geotecnologias evoluíram trazendo novas possibilidades, reduzindo equipes operacionais, provendo resultados mais rápidos, diminuindo custos e com maiores precisão e acurácia (AMARO et al., 2012)

Na perspectiva de promover uma melhor gestão das zonas costeiras, estudos científicos em diversas escalas espaço-temporais são de extrema importância e o uso de geotecnologias tem a possibilidade fornecer dados robustos e que auxiliem na promoção de um melhor ordenamento do território, sobretudo em áreas vulneráveis e de alta sensibilidade ambiental (NUNES et al., 2009; AMARO et al., 2012). Dessa forma, algumas geotecnologias têm a capacidade de avaliar a dinâmica costeira auxiliando no entendimento da sua morfodinâmica, por meio do mapeamento e avaliação das unidades de paisagem, modificação das linhas de costa, identificação de áreas de erosão/deposição, entre outras (AMARO, SANTOS e SOUTO, 2012). Na perspectiva volumétrica, a comparação entre modelos digitais de elevação (MDE) em sistemas costeiros (praias arenosas, ilhas barreiras e canais de maré), baseada no uso de geotecnologias, têm sido aplicadas com eficácia e são importantes para a conservação desses setores (SANTOS e AMARO, 2011; SANTOS et al., 2012; SANTOS et al., 2015).

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) são de baixo custo operacional e permitem o imageamento tridimensional do terreno, controlado no posicionamento por Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS, da sigla em inglês para *Global Navigation Satellite System*) admite o rastreio com alta precisão e acurácia em solo no curto, no médio a curto prazo, as movimentações sedimentares em sistemas dunas-praias arenosas, realizando a coleta de imagens aéreas e dados topográficos de alta resolução, adequados à avaliação das mudanças nos ecossistemas costeiros (SILVA et al., 2016; CAPOLUPO et al., 2015; YOO e OH, 2016).

Igualmente, o Sistema Digital de Análise da Linha de Costa (DSAS, da sigla em inglês para *Digital Shoreline Analysis System*) é um *plugin* do *software* ArcGIS 10.5 da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) criado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, na sigla em inglês para *United States Geological Survey*) para uso gratuito como ferramenta para mensurar as mudanças nas linhas de praia a partir de mapeamentos espaço-temporais, sobretudo baseados em imagens digitais orbitais e aéreas (THIELER et al., 2009). O DSAS é utilizado em estudos quantitativos sobre a evolução costeira com vantagens, sobretudo quanto ao alto desempenho e eficiência nas análises das alterações da linha de praia por meio de módulos estatísticos (PRUDÊNCIO, AMARO e SCUDELARI, 2019).

Assim, o uso de ferramentas baseadas em geotecnologias aplicadas ao entendimento dos fenômenos físicos, bióticos e antrópicos atuantes nas alterações da

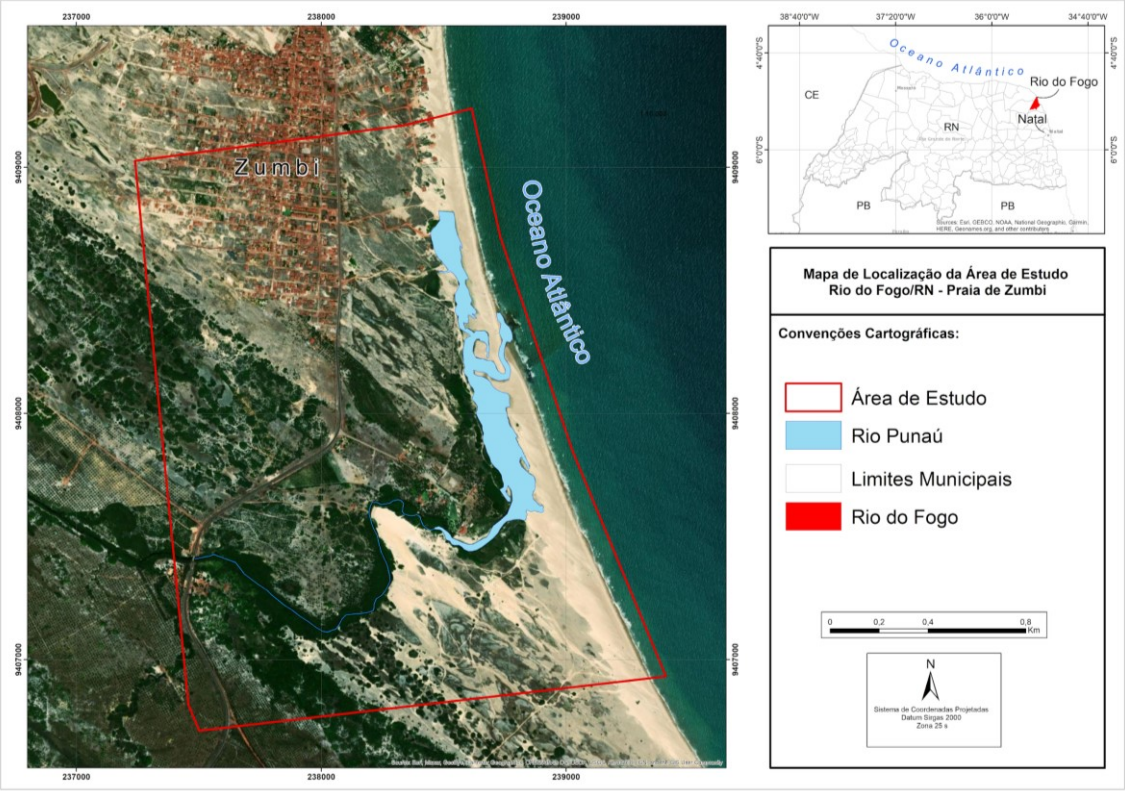
ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

paisagem costeira, torna possível a elaboração de diagnósticos e prognósticos quantitativos relevantes como subsídio às tomadas de decisão de gestores públicos no desenvolvimento adequado de políticas de ordenamento do território da zona costeira.

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica costeira da área do baixo curso do Rio Punaú, litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte (RN), com o apoio de geotecnologias como as imagens adquiridas por ARP em dezembro de 2017, março de 2019 e junho de 2019, apoiadas pelo rastreio de bases GNSS, gerando imagens e MDE de alta resolução espacial, precisão e acurácia de geoposicionamento. Posteriormente, esses dados foram processados em ambiente Sistema de Informações Geográficas (SIG) para avaliação evolutiva em perfis topográficos ao longo da faixa de praia e campo dunar da predominância de erosão ou deposição sedimentar com uso do DSAS.

Localizada no Município de Rio do Fogo, a 86 km a norte da cidade de Natal, capital do RN, a área de estudo engloba porção do baixo curso do Rio Punaú, no Distrito de Zumbi, em um trecho de aproximadamente 2,5 km que abrange a sua desembocadura. O acesso principal à região e à área de estudo se dá por meio da rodovia federal BR-101 (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de Localização do Município de Rio do Fogo e da Área de Estudo no Distrito de Zumbi



Fonte: Elaboração dos Autores, 2020.

Nesta orla marítima observa-se na última década um processo crescente de alteração da paisagem com a expansão urbana sobre as unidades da planície costeira, com

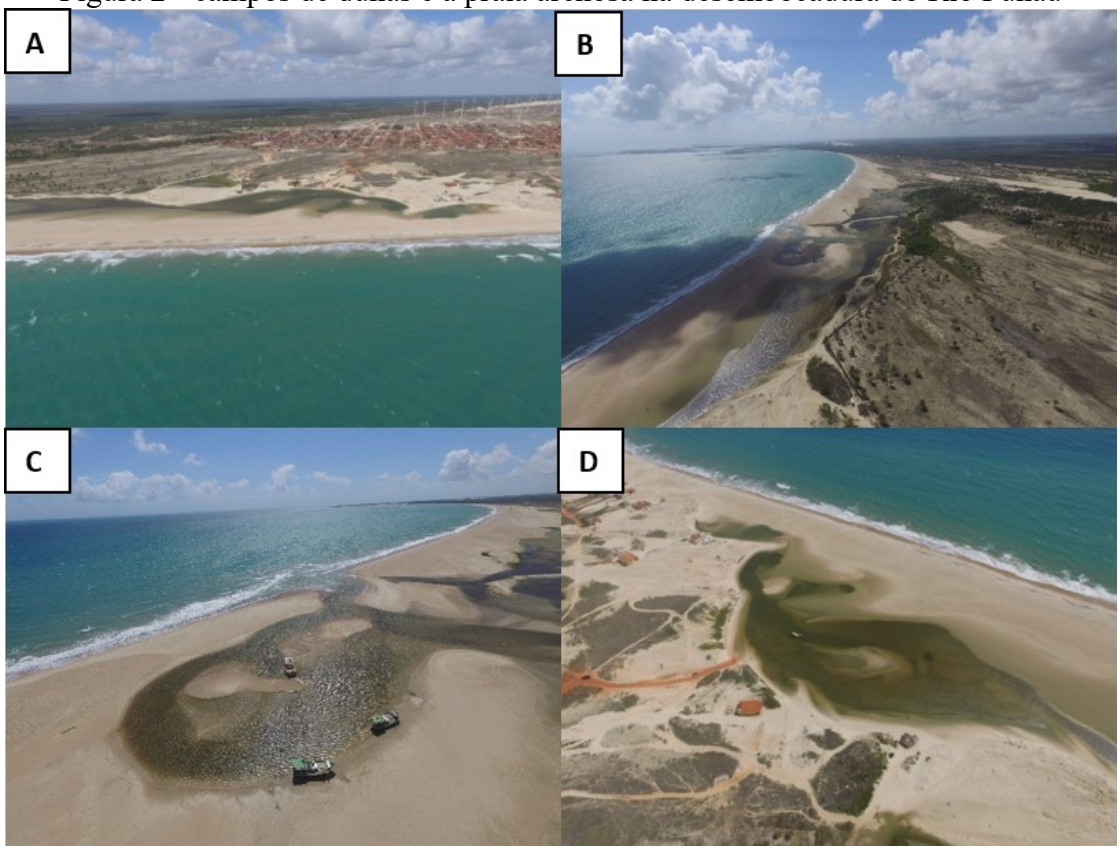
ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

aumento na exploração turística, ocupação por usinas de energia eólica, além das atividades tradicionais de subsistência como a pesca.

A desembocadura do Rio Punaú está submetida a uma intensa dinâmica sedimentar, com interações sobre o sistema formado pelos campos de dunas e a praia arenosa (Figura 2), que vem causando transtornos aos proprietários de imóveis, estabelecimentos comerciais e mesmo aos usuários da praia.

As dificuldades estão relacionadas a situações aceleradas de erosão e deposição sedimentar que causam problemas como o desabamento e soterramento de residências, a interrupção de vias de acesso, entre outros. Informações baseadas em levantamentos prévios em imagens de sensores remotos orbitais desde a década de 1970 indicam que a desembocadura do Rio Punaú tem migrado no sentido de sul para norte, acompanhando a principal corrente de deriva litorânea nesse setor litorâneo do RN, com variações na linha de costa (IDEMA, 2016).

Figura 2 - campos de dunas e a praia arenosa na desembocadura do Rio Punaú



Legenda: A) Proximidade da linha de praia e do Distrito de Zumbi; B) Desembocadura do Rio Punaú; C) Atividade pesqueira instalada; D) Acumulações arenosas na foz do Rio Punaú. Fonte: Acervo dos Autores, 2018.

A área de estudo está no domínio de clima tropical chuvoso quente de verão seco ou clima As na classificação de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013). No período de inverno chuvoso as médias mensais excedem os 100 mm, enquanto nos meses mais secos do ano a precipitação média é inferior a 50 mm. Na região ocorre baixa variação no sentido dos ventos alísios no decorrer do ano, basicamente, de sudeste (64,6%) e leste

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

(34,3%), esporadicamente de sul (1,1%), acompanhando a movimentação da Zona de Convergência Intertropical também responsável pelo aporte de maior umidade no inverno.

O contexto geológico dominante é do Quaternário composto por depósitos de praias arenosas, dunas frontais fixas e sedimentos eólicos, depositados atrás do cordão de dunas, frequentemente sobrepostas às rochas da Formação Barreiras. Os depósitos de praia correspondem às areias quartzosas de granulometria fina a média, bem selecionadas e que formam uma faixa de praia de baixa declividade e largura média que varia de cerca de 3m nas marés altas a 30m nas marés baixas (Figura 3) (MOREIRA, 1994). Assim, quanto aos sistemas geomorfológicos se distingue como planície costeira recoberta por material arenoso eólico, com feições menores em que se destacam campos de dunas móveis e fixadas por vegetação, planícies de deflação, praias com dunas frontais e ambientes interdunares (AGUIAR, 2013).

Figura 3 - faixa de praia próximo a desembocadura do rio Punaú

Legenda: A) Zona de estirâncio; B) Pós-praia. Fonte: Acervo dos Autores, 2018.

Na determinação do ambiente praial, conforme a classificação de Muehe (2007), distinguem-se a área submersa ou antepraia com inclinação baixa a moderada, alguma disponibilidade de areia fina a média e profundidades entre 1 m e 2 m. A inclinação da zona de estirâncio varia de acordo com o período do ano entre moderada a baixa e com largura média de 20 m, variando em exposição segundo as marés altas e baixas. O pós-praia está submetido às intensas modificações na morfologia, tanto pelas ações naturais como antropogênicas, onde são recorrentes as dunas frontais cuja função ambiental basilar é a de manter o equilíbrio sedimentar costeiro, protegendo a orla marítima dos efeitos danosos da erosão costeira.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho foi estabelecido em etapas de campo e escritório, combinados com o processamento de dados espaciais obtidos nos levantamentos como ARP e instalação de uma rede geodésica baseada em GNSS, tendo como base metodológica os trabalhos de Amaro et al. (2012), Silva et al. (2016) e Aguiar et al. (2019), na perspectiva do uso das ferramentas geotecnológicas como ARP com alta precisão e acurácia. A análise

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

multitemporal das linhas de praia obtidos nos imageamentos seguiu a estratégia sugerida por Prudêncio, Amaro e Scudelari (2019) no uso da ferramenta DSAS.

Na etapa de escritório foi realizada a pesquisa bibliográfica e cartográfica prévias sobre os aspectos da temática da dinâmica costeira e caracterização da área de estudo, quanto à distribuição e evolução das unidades temáticas costeiras, com intuito de identificação dos fenômenos envolvidos nas alterações ambientais. Nesta etapa também foram estabelecidos os planejamentos dos voos de ARP, utilizando a plataforma *online Drone Deploy*, além da estratégia de distribuição dos pontos de controle no terreno (GCP, da sigla em inglês para *Ground Control Points*). Igualmente foi estabelecida a estratégia de pós-processamento dos GCP, em conformidade com a plataforma *online* de Posicionamento por Ponto Preciso do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PPP-IBGE). No tratamento das fotografias aéreas adquiridas com ARP utilizou-se o *software* russo *Agisoft Photoscan* que favoreceu a geração de ortofotomosaicos e dos MDE para cada levantamento realizado em campo.

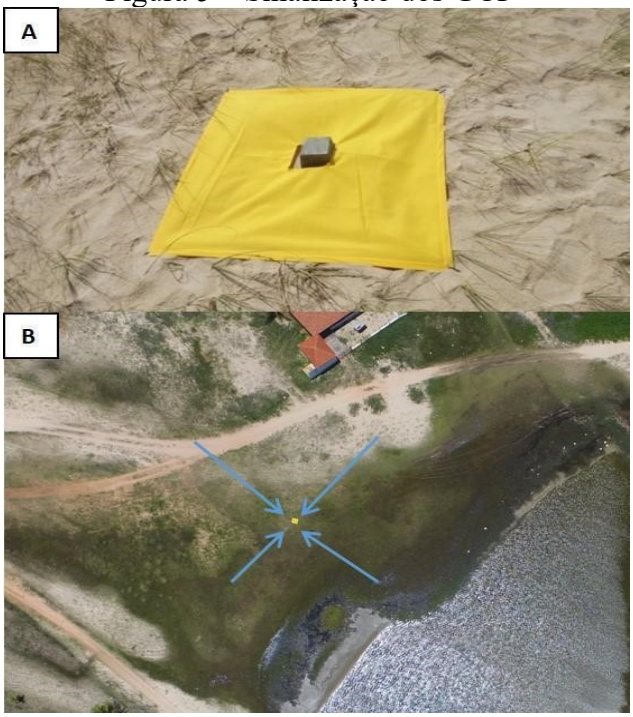
Em campo foi realizada a distribuídos homogênea dos GCP e a instalação de marcos de concreto da rede geodésica na área de estudo, para posterior rastreio de coordenadas com o GNSS L1/L2 Trimble 5700 definido por um aparelho com antena de base e uma antena *rover* (Figuras 4 A e B). Os GCP são sinalizados para que fiquem visíveis nas imagens, com recortes coloridos de 1 metro por 1 metro (Figura 5 A e B). Em seguida à identificação dos GCP foram realizados os voos com ARP que para este estudo foi do modelo *Phanton 3 Professional* da DJI de baixo custo, ocorridos em três datas: 3 de dezembro de 2017, 9 de março de 2019 e 1 de junho de 2019. As datas selecionadas marcam aproximadamente o início e fim do verão e o início do inverno na região.

Figura 4 - Instalação de marcos de concreto da rede geodésica na área de estudo

Legenda: (A) Marco Geodésico Implantado (B) Rastreio do Marco Geodésico com Antena *Rover* do GNSS. Fonte: Acervo dos Autores, 2018.

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

Figura 5 – Sinalização dos GCP



Legenda: (A)Marco Geodésico sinalizado; (B) Marco Geodésico Visível na imagem Aérea Fonte: Acervo dos Autores, 2018.

Na adequação da metodologia de uso do DSAS à área de estudo, conforme a proposição de Prudêncio, Amaro e Scudelari (2019), foram consideradas na classificação dos módulos LRR (*Linear Regression Rate)* e EPR (*End Point Rate)* variações de até 1,0 m foram como áreas de baixa erosão ou deposição, de 1,0 m a 3,0 m de variação como de erosão ou deposição moderada e valores superiores a 3,0 m de variação como áreas de alta erosão ou deposição. No método SCE (*Shoreline Change Envelope)*apreciaram-se valores de até 3,0 m de variação como amplitude de variação baixa. Valores entre 3,0 m e 6,0 m como variação moderada e valores acima de 6 m como alta variação. No NSM (*Net Shoreline Movement)* consideraram-se valores de até 1,0 m como sendo de baixa erosão ou deposição, de 1,0 m a 5,0 m como erosão ou deposição moderada e valores acima de 5,0 m como erosão ou deposição alta. Na Tabela 1 estão resumidos os valores utilizados na classificação das alterações na linha de praia com uso do DSAS.

Tabela 1 - Valores da Classificação dos Módulos Estatísticos do DSAS

	EPR	**NSM**	**LRR**
Baixa Erosão	-0,1 a -1,0 m	-0,1 a -1,0 m	-0,1 a -1,0 m
Baixa Deposição	0,1 a 1 m	0,1 a 1 m	0,1 a 1 m
Erosão Moderada	-1,0 a -3,0 m	-1,0 a -5,0 m	-1,0 a -3,0 m
Deposição Moderada	1,0 a 3,0 m	1,0 a 5,0 m	1,0 a 3,0 m

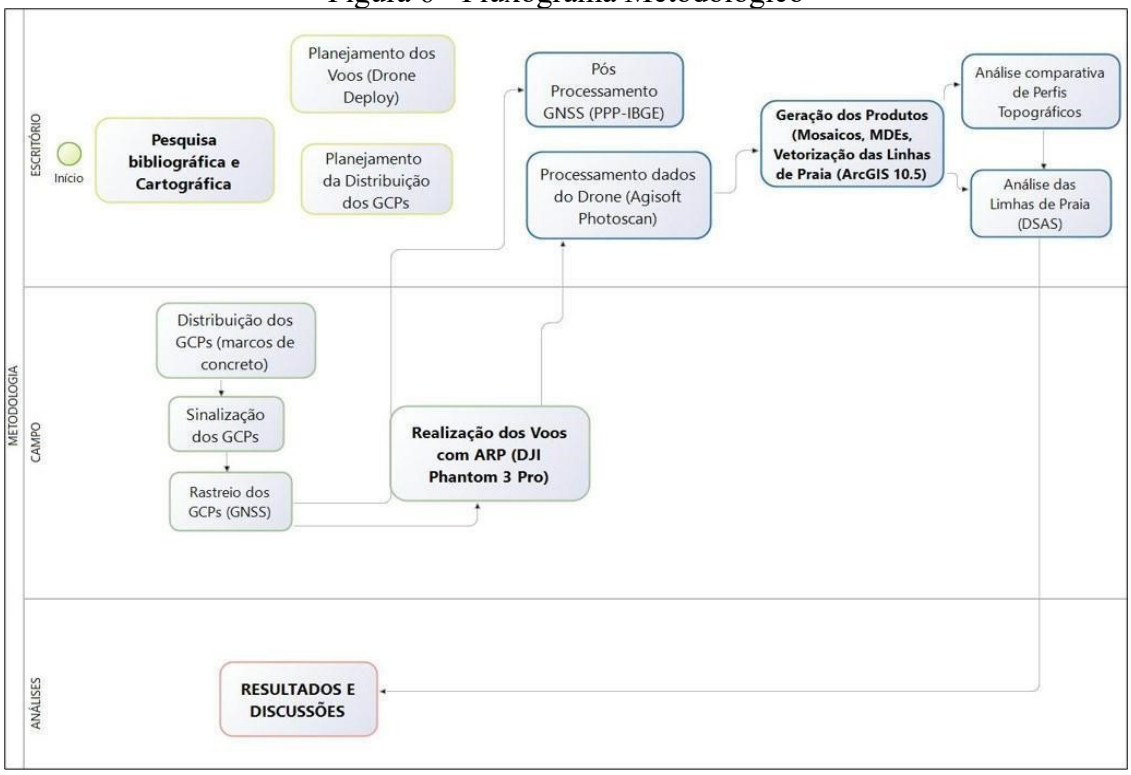
ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

Alta Erosão	> -3,0 m	> -5,0 m	> -3,0 m
Alta Deposição	> 3,0 m	> 5,0 m	> 3,0 m
SCE			
Baixa Amplitude	< 3,0 m		
Amplitude Moderada	3,0 a 6,0 m		
Alta Amplitude	> 6,0 m		

Fonte: Adaptado de Prudêncio, Amaro e Scudelari, 2019.

A Figura 6, a seguir, resume todos os procedimentos realizados desde a fase de escritório até as estratégias utilizadas na fase de campo e geração dos produtos necessários para as análises e discussões.

Figura 6 - Fluxograma Metodológico



Fonte: Elaboração dos Autores, 2020.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos dados espaciais gerados a partir dos imageamentos com ARP foram realizadas comparações de curto e curtíssimo prazo (intervalos de tempo de 3 meses, 15 meses e 18 meses), conforme os períodos sazonais na região. O espaçamento entre os levantamentos buscou o entendimento da velocidade e amplitude da dinâmica costeira no baixo curso do Rio Punaú, sobretudo da desembocadura e a sua influência na erosão/deposição nas praias adjacentes, que se mostraram de alta dinâmica em análises

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

prévias (IDEMA, 2016). Os imageamentos com ARP foram corrigidos com o rastreamento em solo dos GCP baseados em GNSS de alta precisão.

Para cada um dos levantamentos foram gerados os ortofotomosaicos, MDE e linhas de praia, através de vetorização, para posteriores análises estatísticas no DSAS. Ainda foram traçados perfis topográficos transversais à linha de costa, na face de praia e duna principal, para comparação multitemporal do volume de sedimentos presentes no momento de cada levantamento, que permitisse a análise da tendência de erosão ou deposição no setor. Os ortofotomosaicos gerados nos levantamentos tiveram resolução espacial de 10 cm.

3.1 Análise Multitemporal das Linha de Praia

As linhas de praia foram vetorizadas manualmente em ambiente SIG, concebida como sendo a linha que na face de praia separa a área seca da molhada, que é entendida como o alcance da última posição de maré mais alta previamente ao imageamento (AMARO et al., 2014). Dessa forma, foi possível maior detalhamento com as imagens ARP com o uso dessa ferramenta, frequentemente usada em comparações em se utilizam imagens de sensores orbitais como os satélites da série LANDSAT, de resolução moderada (entre 15m e 30m) e com metodologias automáticas de detecção da linha de praia, gerando incertezas sobre o seu real posicionamento.

A análise qualitativa da evolução da linha de praia e da identificação dos três diferentes intervalos de erosão e deposição baseados nos voos com ARP - entre dezembro de 2017 e março de 2019 (entre os Levantamentos 1 e 2); entre março de 2019 e junho de 2019 (entre os Levantamentos 2 e 3) e entre dezembro de 2017 e junho de 2019 (entre os Levantamentos 1 e 3) - foi realizada a partir dos módulos estatísticos do DSAS: *Linear Regression Rate* (LRR), *End Point Rate* (EPR) para a taxa de variação de linha de praia; *Shoreline Change Envelope* (SCE), *Net Shoreline Movement* (NSM). No SCE foi medido o cálculo da distância entre a linha de praia mais próxima e mais distante da linha de base, estabelecida no continente. O NSM foi usado no cálculo da distância entre a linha de praia mais antiga e a mais recente para cada período de estudo. No EPR foi feita a medida da taxa média de variação da linha de praia ao longo do intervalo de tempo avaliado e no LRR a medida da taxa de variação de linha de praia a partir da regressão linear simples.

3.2 Evolução da Linha de Praia entre dezembro de 2017 e março de 2019

No período de dezembro de 2017 e março de 2019 (15 meses), observou- se uma média na taxa de variação (EPR) de -0,3 m/mês em que 9 transectos (18% do total) da área apresentaram erosão baixa, 20 transectos (40% do total) apresentaram erosão moderada e em 21 transectos ou 42% do total estiveram acima de 3 m de erosão, ou seja, com intensidade alta.

No SCE, 10 transectos (20% do total) apresentaram amplitude de variação baixa (até 3 m), 19 transectos (38% do total) apresentaram entre 3,0 e 6,0 m de variação e 21

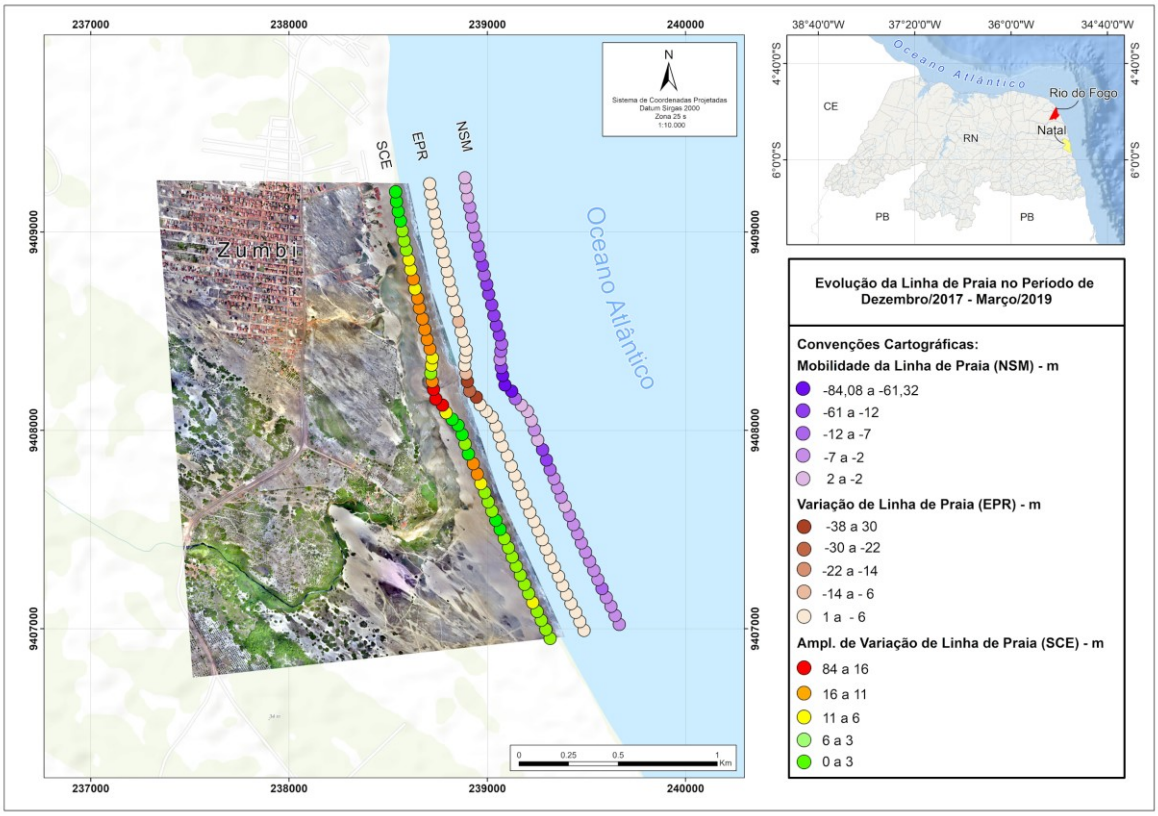
ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

transectos (24% do total) apresentaram alta amplitude de variação (> 6,0 m), comprovando a instabilidade do setor estudado (média de 10,8 m).

Em relação ao NSM, obteve-se a média de -10,6 m, constataram-se que 29 transectos (58% do total) apresentaram alta mobilidade negativa, 14 transectos (28% do total) exibiram entre -1,0 e -5,0 m de mobilidade (moderada) e os 7 transectos restantes apresentaram valores entre -1,0 e 1,0 m de variação.

Portanto, no período constatou-se a predominância de processos erosivos que induziram a um avanço da linha de praia em direção ao continente, com deposição sedimentar restrita ao pós-praia, sobretudo nos transectos posicionados mais próximos à desembocadura do Rio Punaú, confirmando o aporte sedimentar fluvial na dinâmica costeira no setor (Figura 7).

Figura 7 - Análise da Evolução da Linha de Praia no período entre dezembro de 2017 e março de 2019



Fonte: Elaboração dos Autores, 2020.

3.3 Evolução da Linha de Praia entre o março de 2019 e junho de 2019

No período entre março de 2019 e junho de 2019 (15 meses), observou- se uma média na taxa de variação (EPR) de 0,3 m/mês mostrando uma tendência deposicional no setor estudado onde 2 transectos (4% do total) da área apresentaram erosão baixa, 8 transectos (16% do total) apresentaram erosão moderada (valores entre 1 m e 3 m de erosão), 11 transectos ou 22% do total estiveram acima de 3 m de erosão, ou seja, considerados de intensidade alta. Os demais transectos apresentaram valores positivos,

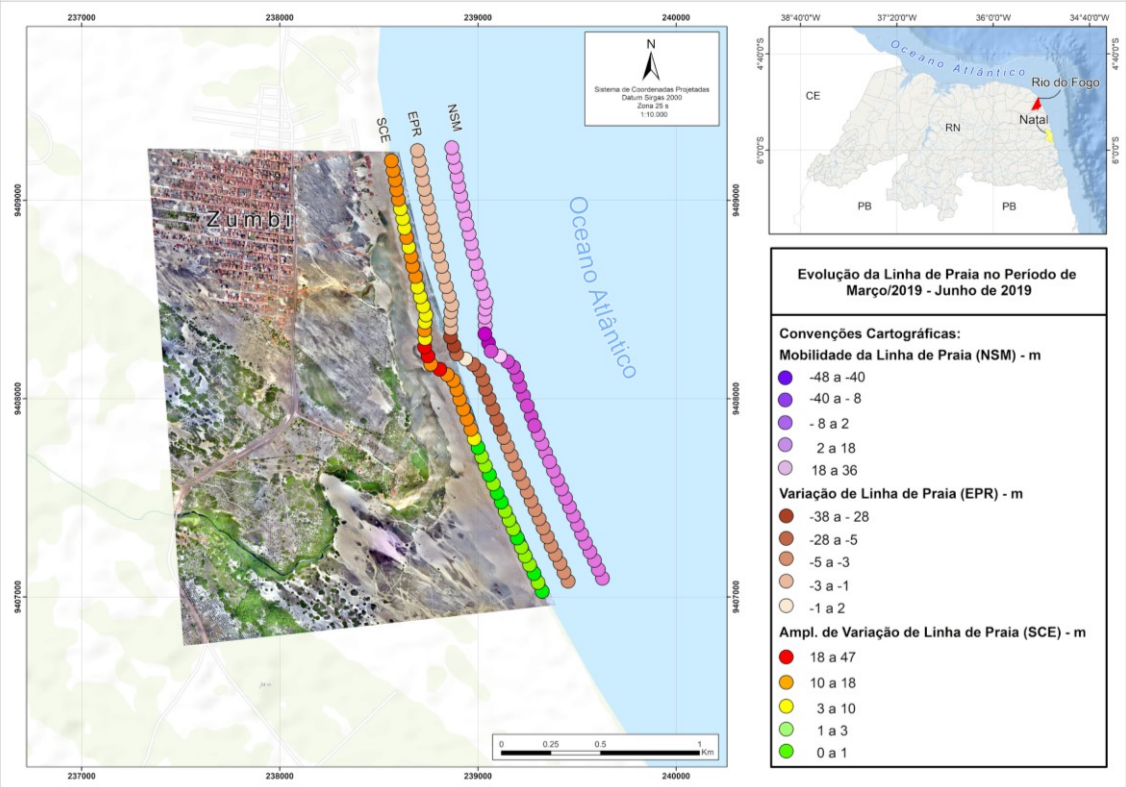
ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

ou seja, de deposição, 4 transectos (8% do total) tendem a uma baixa deposição, 3 transectos (6% do total) deposição moderada e 21 transectos (42% do total) apresentaram alta deposição.

Quanto ao SCE, 18 transectos (36% do total) apresentaram amplitude de variação baixa (até 3 m) e os 32 transectos restantes (64% do total) apresentaram alta amplitude de variação (> 6 m), mais uma vez evidenciando o comportamento instável do setor estudado, mesmo que num período reduzido apresentando média de 9,8 m nos 3 meses de intervalo entre o levantamento 2 e levantamento 3.

Quanto ao NSM, obteve-se a média de 0,9 m, constatou-se que 11 transectos (22% do total) apresentaram alta mobilidade negativa, 8 transectos (28% do total) exibiram entre -1 e -5 m de mobilidade (moderada), 5 transectos apresentaram valores entre -1 e 1 metro de variação denotando erosão e deposição baixas. Já os 21 transectos restantes apresentaram valores acima de 6,0 m enquadrando-se como de alta deposição. Portanto, nos 3 meses de intervalo entre os levantamentos constatou-se a predominância de processos deposicionais (Figura 8).

Figura 8 - Análise da Evolução da Linha de Costa no período entre março de 2019 e junho de 2019



Fonte: Elaboração dos Autores, 2020.

3.4 Evolução da Linha de Praia entre o dezembro de 2017 e junho de 2019

No período entre dezembro de 2017 e junho de 2019 (18 meses), o LRR indicou taxa de variação de 0,3 m/mês, ou tendência deposicional. Do total de 50 transectos, 3 transectos (6% do total) apresentaram erosão baixa, 3 transectos (6% do total) exibiram

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

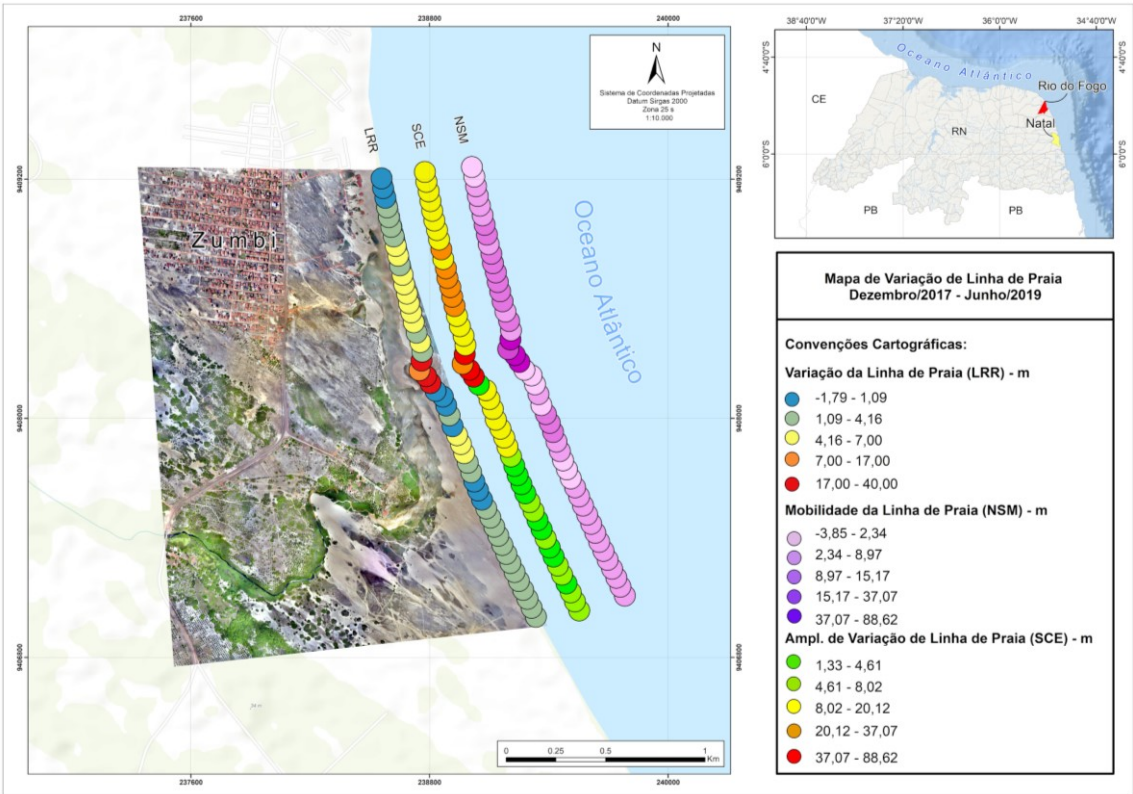
erosão moderada, entre valores de 1 m e 3 m de erosão, enquanto os demais 23 transectos (46% do total) apresentaram valores acima de 3 m, enquadrando-se como de alta deposição.

Quanto ao NSM, obteve-se a média mensal de 0,62 m e constatou-se que 2 transectos ou 4% do total apresentou baixa erosão, 4 transectos (8% do total) apresentaram erosão moderada e todos os 33 transectos restantes apresentaram valores positivos, ou seja, de deposição. A deposição moderada ocorreu em 13 transectos (26% do total) e 30 transectos (60% do total) apresentaram alta deposição, com valores acima de 5 m.

No SCE 5 transectos (10% do total) apresentaram amplitude de variação baixa (até 3 m), 11 transectos (22% do total) apresentaram amplitude de variação moderada e os 34 transectos restantes (68% do total) apresentaram amplitude de variação alta (> 6 m), demonstrando a instabilidade deste setor do litoral oriental, marcado por dinâmica costeira elevada.

Portanto, no período de 18 meses de intervalo dos levantamentos constatou-se a predominância de processos de deposição sedimentar que induziram ganhos na faixa de praia. Os setores onde foram obtidos os maiores valores de deposição e amplitude de ganho na linha de praia foram aqueles próximos à desembocadura do Rio Punaú, evidenciando função determinante do rio na contribuição com aporte sedimentar para as praias adjacentes, sobretudo a norte, na direção predominante da deriva litorânea (Figura 9).

Figura 9 - Análise da Evolução da Linha de Costa no período entre dezembro de 2017 e junho de 2019



Fonte: Elaboração dos Autores, 2020.

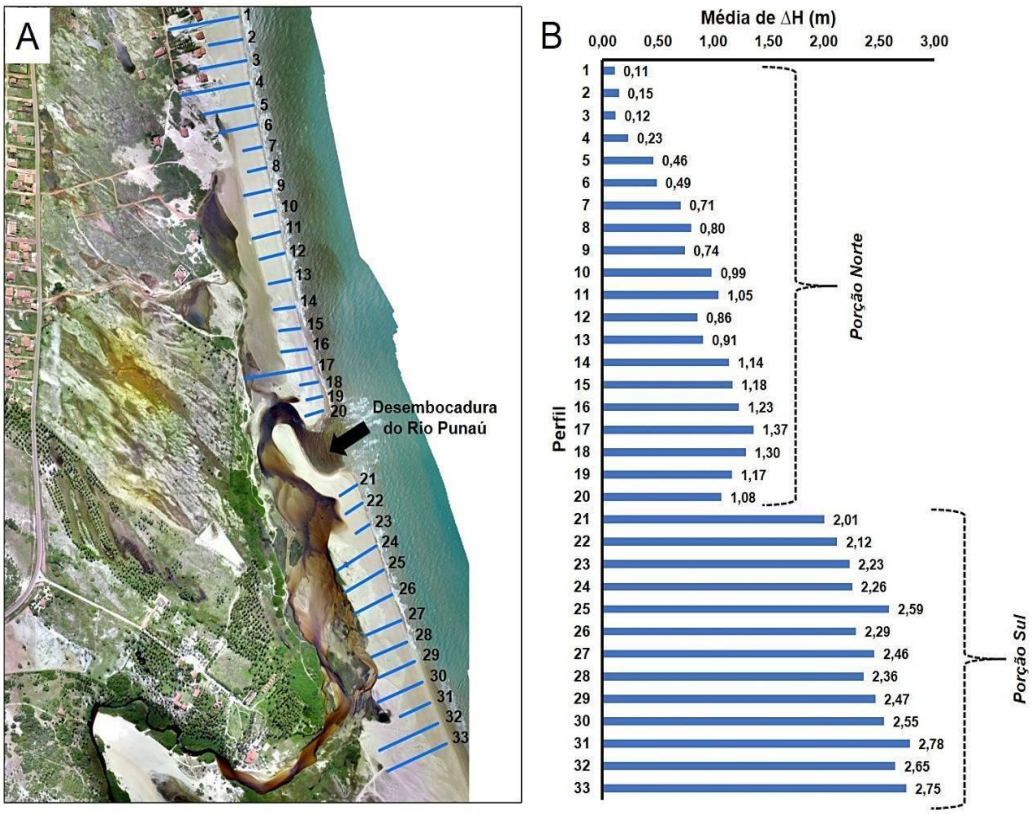
ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

Entretanto, a alternância observada nas linhas de praias nos demais setores indica períodos alternados de erosão e deposição marcados pela intensa dinâmica dos forçantes marinhas, sobretudo ondas e ventos que contribuem com a retirada e o transporte de sedimentos da face de praia para outros setores da praia e para o continente, contribuindo com o avanço dos campos de dunas sobre obras de infraestruturas instaladas mais distantes da linha de praia, como a rodovia e ruas, além de residências e obras públicas.

3.5 Perfis Topográficos na Linha de Costa

Perfis topográficos ao longo da linha de costa foram avaliados a partir dos transectos elaborados no DSAS e posicionados sempre a partir de posicionamento mais avançado em direção ao continente. A extensão dos perfis evitou construções, áreas alagadas e trechos com vegetação de maior porte, com o objetivo estrito de analisar a movimentação da linha de praia. O espaçamento entre os perfis foi de 50 m e a sua extensão variou entre 30 m e 160 m. A evolução dos perfis topográficos foi avaliada para todo o período de dezembro de 2017 a junho de 2019. A faixa de pós-praia foi subdividida nas porções norte e sul a partir da desembocadura do Rio Punaú e, portanto, do total de 33 perfis topográficos 20 estão na porção norte e 13 na porção sul a partir da desembocadura (Figura 10).

Figura 10 - Distribuição dos perfis ao longo do pós-praia e suas respectivas variações de altura (ΔH)



Fonte: Elaboração dos Autores, 2020.

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

Em todos os perfis ocorreu tendência deposicional, ou seja, mostrando aumento no volume sedimentar na faixa de praia, com maior deposição sendo no setor sul (média de 2 m) em relação ao setor norte (média de 0,8 m).

O processo de movimentação da desembocadura do Rio Punaú indica aporte sedimentar da porção sul para a porção norte, forçando a movimentação da foz para norte, demonstração de que a vazão do rio tem sido reduzida, insuficiente para romper os depósitos de sedimentos que migram de sul para norte. Desse modo, o canal principal do rio é forçado a avançar sobre os setores continentais, como sobre o campo de dunas onde ocorreu de modo equivocado a ocupação com residências e infraestruturas urbanas, provocando danos a essas instalações.

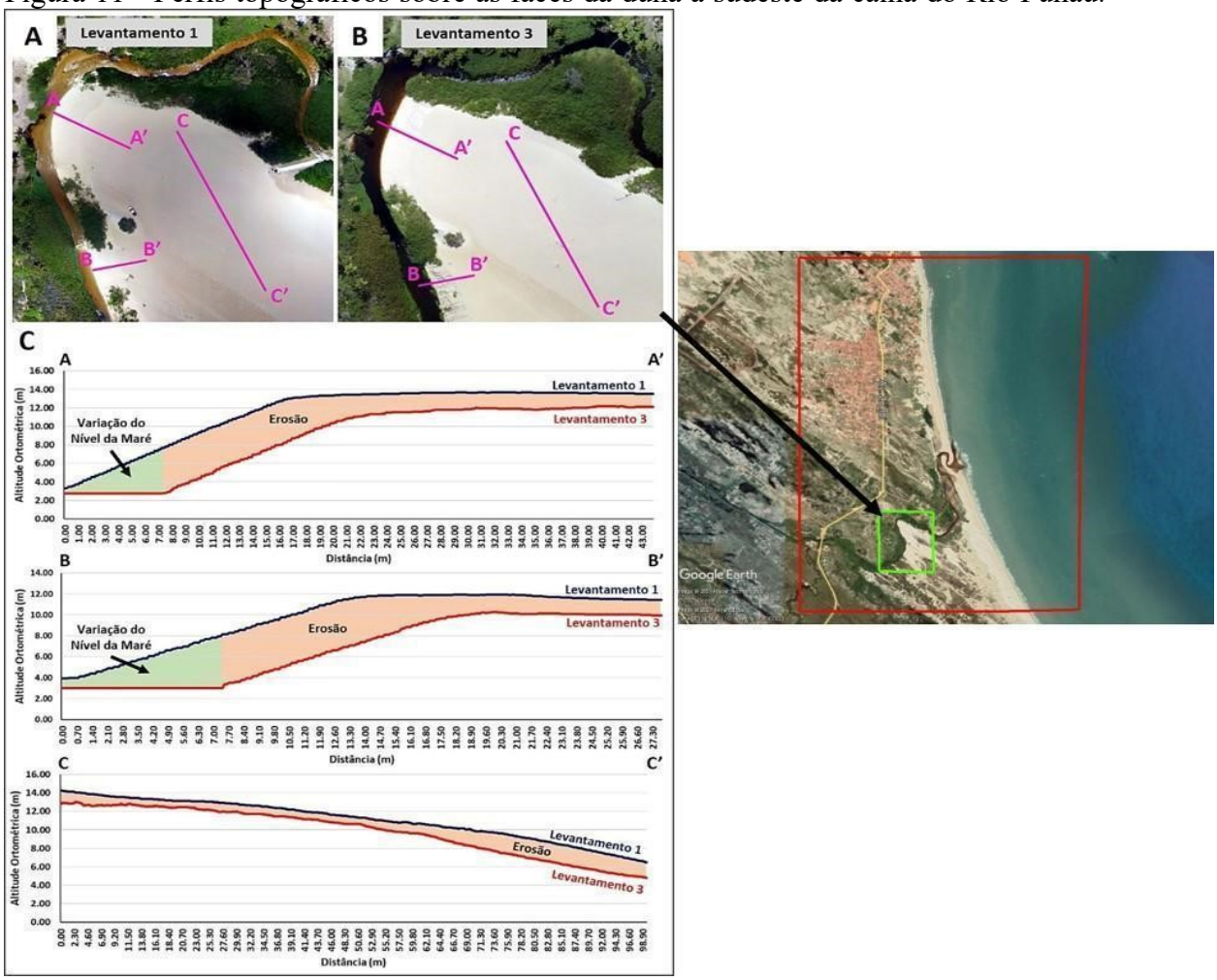
3.6 Perfis Topográficos no Campo de Dunas

A análise de 3 perfis posicionados na principal faixa de dunas que interage com a deposição sedimentar na calha principal do Rio Punaú, por estar na direção dos ventos alísios dominantes, tem-se tendência de erosão. Na Figura 11 estão os perfis posicionados estrategicamente sobre a duna, para compreensão do processo de movimentação sedimentar e a sua relação com a deposição na calha do rio e no pós-praia, mostrando a tendência de erosão no período total entre os levantamentos 1 e 3. O perfil A localizado, sobretudo para marcar a face de sotavento da duna, o perfil B em uma face lateral e o perfil C em barlavento até a crista da duna, de acordo com os ventos alísios dominantes de sudeste na região. Nos perfis A e B ocorreram as maiores reduções em perfil, de -2,76m e -2,88m, respectivamente, e no perfil C a redução média foi de -1,27 m.

Portanto, no período total estudado, entre dezembro de 2017 e junho de 2019, houve redução de sedimentos na duna (Figura 11), marcadamente pela retirada eólica intensa, contribuindo para assoreamento na calha principal do Rio Punaú, que demonstra no tempo redução relevante na capacidade de vazão e, igualmente, da capacidade de transporte dos sedimentos depositados pela duna em direção à linha de praia. Os sedimentos se depositaram na calha do Rio Punaú e, são mais efetivamente transportados até a linha de praia nos períodos mais chuvosos, como o caso do ano de 2019, em que foram mais intensamente pelo rio em direção às faixas de pós-praia, causando expressivo meandramento, com deposição próxima à linha de costa. Nesse setor foram posicionados os 33 perfis na face de praia, em que foram detectadas tendências deposicionais, formando acumulações arenosas e alimentando as dunas frontais.

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

Figura 11 - Perfis topográficos sobre as faces da duna a sudeste da calha do Rio Punaú.



Fonte: Elaboração do Autor, 2020.

Apesar de evidências geométricas da direção preferencial dos ventos alísios e o posicionamento da calha do Rio Punaú frontal à duna, que indicam a atuação predominante dos processos naturais de transporte, erosão e deposição de sedimentos nesse setor costeiro, foram constatadas atividades antrópicas sobre as dunas, tais como passeios de quadriciclos, descida contínua de pessoas pela face de sotavento até o canal do rio, redução de vegetação rasteira em trechos laterais e superiores da duna e da mata ciliar na margem do canal, entre outros fatores que promovem a aceleração da movimentação de sedimentos entre essas feições, promovendo a erosão da duna e o assoreamento da calha do rio. Outro fator relevante de ação antrópica foram os barramentos a montante no Rio Punaú para fins de agricultura, que reduziram consideravelmente a vazão hídrica no setor do baixo curso, reduzindo a capacidade do rio em transportar os sedimentos até a linha de praia, que é mais efetivo apenas nos anos mais chuvosos na região. Assim, a interação entre os fatores naturais e antrópicos sobre o contexto geral da bacia do Rio Punaú mostra que atualmente há maior tendência da influência da hidrodinâmica costeira (ondas, correntes e marés) no transporte de sedimentos que migram na célula sedimentar costeira e influenciando a movimentação da desembocadura sobre os trechos de dunas e pós-praia, intensificando os danos sobre as

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

infraestruturas de residências, condomínios horizontais, vias públicas e estabelecimentos comerciais, que foram ocupando essa faixa de modo desordenada, desconsideração a interação entre o conjunto de variáveis que interagem na dinâmica costeira. Tais observações reforçam com veemência a necessidade de implementação de políticas públicas sobre a orla marítima que incluam o caráter multifatores e multiescalar das variáveis costeiras e, igualmente dos problemas ambientais, implicando na execução combinada e cooperada de múltiplos agentes das esferas governamentais, como já destacado por diversos autores (POLLETE et al. 2004; NICOLODI, ZAMBONI e BARROSO, 2009; NEVES, 2012; ROBBINSON e MAZUCATTO, 2018;).

CONCLUSÃO

Durante o período de 18 meses avaliados com o suporte de geotecnologias pôde-se observar que se trata de uma área em constante processo de alteração na sua paisagem costeira principalmente pela intensa atuação dos ventos alísios. A alternância entre períodos de erosão e deposição sedimentar representa um quadro de manutenção das alterações ambientais neste setor que causa transtornos e danos

A utilização de ARP de baixo custo, associados ao uso de bases GNSS tem a capacidade de prover dados confiáveis para a avaliação da dinâmica costeira e morfodinâmica praial e mensurando alterações espaço-temporais na paisagem costeira. Os ortofotomosaicos gerados com alta resolução espacial (10cm) foram úteis para avaliar as modificações ambientais da orla marítima e permitiram precisão na vetorização das linhas de praia nas datas de cada um dos levantamentos com ARP para análise estatística na ferramenta DSAS. Os resultados mostraram períodos alternados de erosão e deposição. Entre o primeiro e o segundo levantamentos houve uma predominância de erosão, enquanto entre o segundo e o terceiro levantamentos os valores denotam situação de deposição. Para o tempo total de estudo, intervalo entre o primeiro e o terceiro levantamentos, houve indicação de baixa tendência deposicional. O módulo de cálculo de regressão linear simples (LRR) apresentou média mensal de 0,3 m. O módulo NSM que calcula a distância entre a linha de praia mais antiga e a mais recente, indicando a mobilidade da linha de praia ao longo dos anos avaliados, mostrou média mensal de cerca de 0,6 m. O SCE mostrou grande variação nesta feição para o período estudado com valores de até 47 m de mudança no posicionamento da linha de costa.

Com a geração dos MDE, teve-se um panorama da altimetria realizado com base na análise comparativa entre perfis topográficos de setores da área de estudo, como ao longo do pós-praia e campo de dunas próximo à calha principal do Rio Punaú. No período estudado observou-se tendência de deposição sedimentar ao longo dos perfis topográficos no pós-praia, com média de 0,8 m na porção norte e de 2 m na porção sul, com predominância de erosão na principal duna que compõe o sistema, com média de -2,3 m nos três perfis analisados neste setor. Os sedimentos da duna são carreados para a calha do rio que só consegue efetivo transporte em direção à linha de praia em períodos mais chuvosos. Assim, com a diminuição da competência da vazão do rio, por várias condicionantes naturais e antrópicas na bacia do Rio Punaú, em suas margens e nas praias

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

adjacentes à desembocadura, o baixo curso e a foz intensificam o meandramento e a desembocadura invade os setores de pós-praia e dunas. Esse fato explica o comportamento observado na análise comparativa dos perfis no pós-praia que, para o período total do estudo (dezembro de 2017 a junho de 2019) teve tendência de deposição em virtude do comportamento do rio, bem como pela perda sedimentar na linha de praia, comprovados pela análise multitemporal com o DSAS.

Contudo, para melhor mensurar tais alterações na paisagem costeira do baixo curso do Rio Punaú é necessário r estudos de monitoramento da migração dos sedimentos por via hidrodinâmica, estudos batimétricos e que levem em consideração mais fatores componentes da dinâmica costeira como a ação das mesomarés semidiurnas, ondas oceânicas e da deriva litorânea. Sugere-se ainda estudos em diferentes escalas temporais, principalmente de longo prazo, integrando mais dados meteorológicos, de modo a avaliar a influência de eventos climáticos em diversas escalas e a interferência na evolução da geomorfologia costeira local.

Portanto, a ocupação desordenada da zona costeira se apresenta como o maior problema neste setor. Residências e estabelecimentos comerciais localizados com grande proximidade da linha de praia estão suscetíveis a erosão e deposição de sedimentos, levando a perdas materiais. Além disso, as tentativas de barramento e alteração do curso do rio contribuem em alguma medida no processo de movimentação sedimentar, tornando o seu entendimento mais difícil.

Para tanto, recomenda-se fortemente um trabalho de ordenamento territorial por parte dos gestores públicos do município, no qual sejam levados em consideração os aspectos que compõem a dinâmica costeira da região. Também se recomenda que não sejam permitidas ocupações próximas à linha de costa, principalmente na faixa que compreende as dunas frontais da região que, através das análises feitas com o DSAS bem como dos perfis topográficos, que se mostram altamente transitórios, alternando períodos de erosão e acreção que podem causar soterramento e/ou colapso dessas construções e causar perdas materiais.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. S.: **Dinâmica ambiental da planície de deflação do litoral de Extremoz / RN e influência das normativas legais no processo de organização territorial**. 2013. 148 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmica e Reestruturação do Território) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

AGUIAR, L. S.; AMARO, V. E.; ARAÚJO, P. V. N.; SANTOS, A. L. S.: **Low Cost Geotechnology Applied to Flood Risk Assessment in Coastal Urban Areas in Climate Change Scenarios.** Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, v. 42, p. 267-290, 2019. Disponível em: https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/30423. Acesso em: 25 nov. 2020. https://doi.org/10.11137/2019_1_267_290

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G.: **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, Sttutgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <http://www.ingentaconnect.com/content/schweiz/mz/2013/00000022/00000006/art000

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

08?token=004f1a11bab2a729bc7e41225f40382d2c2b46527674466245505 76b34272c5f7b3d6d3f4e4b34a > DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

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, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 1-25, 19 jun. 2014. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01490419.2014.904257. Acesso em: 25 set. 2020. http://dx.doi.org/10.1080/01490419.2014.904257.

AMARO, V.E.; SANTOS, M.S. T.; SOUTO, M.V.S.: **Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão**. 1ª Ed. Natal, Edição dos Autores, 2012. 118p.

CAPOLUPO, A.; PINDOZZI, S.; OKELLO, C.; FIORENTINO, N.; BOCCIA, L.: Photogrammetry for environmental monitoring: the use of drones and hydrological models for detection of soil contaminated by copper. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 514, p. 298-306, maio 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.109.

IDEMA: Instituto de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio Grande do Norte (IDEMA) - Informação Técnica - Processo: 2016-098813/TEC/AE-0026 - **Desembocadura do Rio Punaú, Município Rio do Fogo/RN,** 2016.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S.: The State of the World's Beaches. **Scientific Reports**, [S.L.] Delft, v. 8, n. 1, p. 1-11, 27 abr. 2018. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6.

MEIRELES, A. J. A.: Impactos ambientais decorrentes da ocupação de áreas reguladoras do aporte de areia: a planície costeira da Caponga, município de Cascavel, litoral leste cearense. **Confins**, [S.L.] Cascavel, n. 2, p. 1-25, 4 jan. 2008. OpenEdition. http://dx.doi.org/10.4000/confins.2423.

MELLO, A.Y.I.; D'ANTONA, A.O.; ALVES, H.P.F. E CARMO, R.L. **Análise da vulnerabilidade socioambiental nas áreas urbanas do Litoral Norte de São Paulo**. V Annpas. Anais...Florianópolis-SC, 2010.

MOREIRA, M.Q., 1994. **Geodinâmica das sequencias sedimentares cenozóicas e neotectônica da região litorânea do Município de Touros - RN**. Relatório de Graduação (UFRN), Natal.

MUEHE, D., **Geomorfologia Costeira**. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MUEHE, D. **Aspectos Gerais Da Erosão Costeira No Brasil** (general aspects of coastal erosion in Brazil). Mercator, Fortaleza, v. 4, n. 7, nov. 2008. ISSN 1984-2201. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/113>. Acessado em: 26 de maio de 2019. DOI 10.4215/RM0000.0000.0000

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

NEVES, E. M. S. C.: **Política ambiental, municípios e cooperação intergovernamental no Brasil. Estudos Avançados**, vol.26, no.74, São Paulo, 2012.
NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A. e BARROSO, G.: **Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e Zonas Costeiras no Brasil: Implicações para a Região Hidrográfica Amazônica**. Revista da Gestão Costeira Integrada n.9 v.2. p.9-32, 2009.

NUNES, L. S. **Monitoramento Geoambiental da Praia de Areia Preta, Natal/RN**. 2009. 132p. Monografia – (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

POLETTE, M e SILVA, L. P. **GESAMP, ICAM e PNGC - Análise comparativa entre as metodologias de gerenciamento costeiro integrado**. Cienc. Cult. [online]. 2003, vol.55, n.4, pp.27-31.

ROBINSON, D. K.R.; MAZZUCATO, M.: The evolution of mission-oriented policies: exploring changing market creating policies in the us and european space sector. **Research Policy**, [S.L.], v. 48, n. 4, p. 936-948, maio 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.005.

SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E. SANTOS, M. S. T.: Evaluation of Data Acquisition Methodology Representing Morphological Features of Sandy Beach Thro. **Mercator**, [S.L.] Fortaleza, v. 14, n. 02, p. 137-155, 20 jul. 2015. Mercator - Revista de Geografia da UFC. http://dx.doi.org/10.4215/rm2015.1402.0009.

SANTOS, A. L. S.; AMARO, V.E.; SANTOS, M.S.T.; FERREIRA, A.T.S. **Variação da Linha de Costa no Litoral Setentrional do RN através de levantamentos GNSS e análise multitemporal**. In: SIMPOSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9° SINAGEO, Rio de Janeiro. 2012a

SILVA, C.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E.; BICHO, C. P.; SABADIA, J A. B.. Avaliação da Acurácia do Cálculo de Volume de Pilhas de Rejeito Utilizando VANT, GNSS e LiDAR. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 73-94, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1982-21702016000100005.

SILVA, J. S.; FARIAS FILHO, M. S.: Instrumentos legais de prevenção de impactos ambientais na zona costeira: estratégias integradas de gestão territorial
Legal instruments for prevention of environmental impacts on coastal zone. **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, *[S. l.]*, v. 32, n. 2, p. 7–25, 2015. DOI: 10.14295/remea.v32i2.4722

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. **Open-File Report**, [S.L.] Reston, U. S., v. 5, n. 2, p. 1-79, maio 2009. US Geological Survey. http://dx.doi.org/10.3133/ofr20081278.

VOUSDOUKAS, M. I.; RANASINGHE, R.; MENTASCHI, L.; PLOMARITIS, T. A.; ATHANASIOU, P.; LUIJENDIJK, A.; FEYEN, L.: Sandy coastlines under threat of erosion. **Nature Climate Change**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 260-263, mar. 2020. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0.

ISSN: 1982-5528
DOI: 1022411/rede2021.1501.02

YOO, C. I.; OH, T. S.: Beach Volume Change Using Uav Photogrammetry Songjung Beach, Korea. **Isprs - International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [S.L.], v. -8, n. 8, p. 1201-1205, 24 jun. 2016. Copernicus GmbH. http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-xli-b8-1201-2016

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO) do Departamento de Geologia da UFRN e do Laboratório de Geotecnologias Aplicadas, Modelagens Costeira e Oceânica (GNOMO) do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFRN.