


AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA EM PRAIAS ARENOSAS DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA, PERNAMBUCO, BRASIL, UTILIZANDO-SE VEÍCULO AÉREO NÃO-TRIPULADO (VANT)

EVALUATION OF SHORELINE VARIATION ON SANDY BEACHES ON FERNANDO DE NORONHA ISLAND, PERNAMBUCO, BRAZIL, USING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)


EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA COSTA EN PLAYAS ARENOSAS DE LA ISLA FERNANDO DE NORONHA, PERNAMBUCO, BRASIL, UTILIZANDO UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV)

Roberto Lúcio Belo de Souza Júnior¹

 0000-0003-1928-785X


robertogeologo1@gmail.com

Maria das Neves Gregório²

 0000-0003-2981-6719

nevesgregorio@hotmail.com

Marcia Cristina de Souza Matos Carneiro³

 0000-0003-2981-6719

carmarciaibge@gmail.com

Ano XXVIII - Vol. XXVIII - (1): Janeiro/Dezembro - 2024

CIÊNCIA
Geográfica

ISSN Online: 2675-5122 • ISSN-L: 1413-7461

www.agbauru.org.br

1 Graduado em Geologia, Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Pesquisador do Laboratório de Geoinformação e Visualização Avançada (VizLab)-UNISINOS/PETROBRAS, São Leopoldo-RS, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1928-785X>. E-mail: robertogeologo1@gmail.com.

2 Doutora em Geociências, Professora e Pesquisadora, Departamento de Engenharia Cartográfica Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife-PE, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2981-6719>. E-mail: nevesgregorio@hotmail.com.

3 Doutora em Cartografia, Pesquisadora do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2981-6719>. E-mail: carmarciaibge@gmail.com.

Artigo recebido em julho de 2023 e aceito para publicação em fevereiro de 2024.



Este artigo está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

RESUMO: As praias arenosas da Ilha principal do Arquipélago de Fernando de Noronha, que leva o seu homônimo, distrito do Estado de Pernambuco, situada no Nordeste do Brasil, no Oceano Atlântico Sul Equatorial, apresentam uma alta frequência turística, se destacam pelas belezas naturais. Tal arquipélago encontra-se como um dos principais destinos turísticos do Brasil. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a vulnerabilidade costeira nas praias da Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha e Cacimba do Padre. A estratégia de metodologia consistiu na geração e análise da variação das Linhas de costa (LC) entre 2019 e 2021. Os dados foram obtidos a partir de ortomosaicos processados de aerolevanteamento com VANT (Veículo aéreo não tripulado), incluindo a fase de processamento fotogramétrico, pontos de controle medidos com pares de receptores GNSS (RTK), mapeamento das áreas estudadas, medições da linha de costa e registro fotográficos in loco. Os resultados permitiram a identificação das causas e consequências da erosão costeira, taxas da variação das Linhas de Costas (LC) nessas praias arenosas. Os resultados e análises obtidos nesta pesquisa foram armazenados em uma base de dados espaciais SIG) para avaliações das ações antrópicas e a dinâmica da natureza e fornecidos como subsídios para Gestão Costeira Integrada da Ilha de Fernando de Noronha.

Palavras-chave: Erosão costeira. Linha de costa. RPA. VANT.

ABSTRACT: The sandy beaches of the main island of the Fernando de Noronha Archipelago, same name, district of the State of Pernambuco, located in the northeast of Brazil, in the South Equatorial Atlantic Ocean, have a high tourist frequency, stand out for their natural beauties and find as one of the main tourist destinations in Brazil. This research aimed to evaluate the coastal vulnerability on the beaches of Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha and Cacimba do Padre. The methodology strategy consisted of generating and analyzing the variation of Coastlines (CL) between 2019 and 2021. Data were obtained from processed orthomosaics of aerial surveying with UAV (Unmanned Aerial Vehicle), including the photogrammetric processing phase, control points measured with pairs of GNSS receivers (RTK), mapping of the studied areas, measurements of the coastline and photographic record in loco. The results allowed the identification of the causes and consequences of coastal erosion, rates of variation of Coastlines (LC) on these sandy beaches. The results and analyzes obtained in this research were stored in a GIS spatial database for evaluations of anthropic actions and the dynamics of nature and provided as subsidies for Integrated Coastal Management of Fernando de Noronha Island.

Keywords: Coastal erosion. Coastline. RPA. UAV.

RESUMEN: Las playas de arena de la isla principal del Archipiélago Fernando de Noronha, del mismo nombre, distrito del Estado de Pernambuco, ubicada en el noreste de Brasil, en el Océano Atlántico Sur Ecuatorial, tienen una alta frecuencia turística, se destacan por sus bellezas naturales. y encontrar como uno de los principales destinos turísticos de Brasil. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad costera en las playas de

Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha y Cacimba do Padre. La estrategia metodológica consistió en generar y analizar la variación de Líneas de Costa (CL) entre 2019 y 2021. Los datos se obtuvieron a partir de ortomosaicos procesados de levantamientos aéreos con UAV (Vehículo Aéreo No Tripulado), incluyendo la fase de procesamiento fotogramétrico, puntos de control medidos con pares de GNSS. receptores (RTK), cartografía de las zonas estudiadas, mediciones del litoral y registro fotográfico in loco. Los resultados permitieron identificar las causas y consecuencias de la erosión costera, tasas de variación de las Líneas de Costa (LC) en estas playas arenosas. Los resultados y análisis obtenidos en esta investigación fueron almacenados en una base de datos espacial SIG para evaluaciones de las acciones antropogénicas y la dinámica de la naturaleza y proporcionados como subsidios para la Gestión Costera Integrada de la Isla Fernando de Noronha.

Palabras clave: Erosión costera. Línea costera. RPA. UAV.

INTRODUÇÃO

Segundo Bird (1985) a costa é a zona entre a borda da água oceânica na maré baixa e o limite superior da ação efetiva das ondas. Essa inclui a área exposta durante a maré baixa e a área submersa durante a maré alta, mais a região que se estende em direção à terra (*onshore*), a partir do limite normal da maré alta, mas inundada por marés excepcionalmente altas ou por ondas durante as tempestades. As zonas costeiras e as ilhas são áreas de ecossistemas complexos, como estuários, praias, recifes de corais e a vida marinha, além disso, essas áreas apoiam atividades econômicas, que incluem pescados, aquicultura, turismo, recreação e transportes. Nas últimas décadas, as áreas costeiras foram fortemente modificadas, o que alterou a sua vulnerabilidade à dinâmica costeira natural e também em relação aos impactos previstos na mudança climática global (Bijlsma, L., Elher, 1995). Atualmente, grande parte da população mundial vive em regiões costeiras, e há uma tendência constante no aumento da concentração demográfica nessas regiões. A saúde, o bem-estar e, em alguns casos a própria sobrevivência das populações costeiras dependem das condições dos sistemas costeiros. Nessas regiões a economia local tem uma dinâmica na busca de atividades que são a fonte de renda dos residentes e da exploração dos seus recursos. A praia é definida por Bird (1985) como um acúmulo de sedimentos inconsolidados, de areia, cascalho, e às vezes confinados a costa, ou podem se estender até o nível da maré baixa. Ainda assim Friedman (1967) define a praia como um depósito sedimentar formado por sedimentos inconsolidados ao longo de uma costa sujeito a ação das ondas. A parte superior da praia, acima do nível médio do alcance das marés, foi denominado neste trabalho de pós-praia e o local passivo da ação constante do espraiamento das ondas foi denominado de face de praia ou estirâncio, ambiente praiado ou estirâncio. As praias arenosas são classificadas como produtos da interação das ondas e os depósitos de areia na costa. Sua extensão e morfologia dependem da energia das ondas, que controlam a profundidade e o tamanho dos sedimentos nestes locais (Short, 1983). São nesses ambientes terrestres e marinhos, onde ocorrem uma

maior dinâmica das atividades turísticas, de balneabilidade, navegação e pesca, onde se observam as mudanças físicas. As intervenções humanas têm contribuído para a degradação dos recursos naturais da costa, como a retirada de sedimentos para a construção, remoção da cobertura vegetal para a instalação de casas e empreendimentos. As ilhas oceânicas são particularmente sensíveis a perturbações e os seus ecossistemas e espécies devem ser geridos de forma a evitar sua destruição ou extinção irreversível (Borges *et al.*, 2009).

Objetivo Geral

O presente pesquisa teve por objetivo analisar e avaliar a vulnerabilidade costeira em ambientes de praias arenosas através da identificação dos agentes naturais e antrópicos que afetam o meio ambiente das praias setentrionais da ilha principal do arquipélago de Fernando de Noronha, Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha e a praia da Cacimba do Padre, afim de identificar a vulnerabilidade da ilha de Fernando de Noronha as ações antrópicas e a dinâmica da natureza à erosão costeira, através da construção de uma base de dados.

Objetivos específicos

- Utilizar imagens aéreas adquiridas por veículo aéreo não tripulado (VANT) para o registro e avaliação das mudanças ocorridas na área de estudo;
- Analisar o deslocamento da linha de costa entre o período de 2019 e 2021;
- Fornecer dados científicos para subsidiar Planos de Gestão Costeira Integrada da Ilha de Fernando de Noronha.

Aerolevantamento com aeronave não tripulada (VANT)

Nos últimos anos, o uso de veículos aéreos não tripulados tem feito parte da vida civil para uso recreativo e posteriormente para uso na agricultura, levantamentos topográficos, eventos esportivos, jornalismo. A sigla VANT significa Veículo Aéreo Não Tripulado, é a terminologia oficial prevista no Brasil, entretanto quando o piloto controla a aeronave remotamente através de uma interface de qualquer (computador, tablet através de transmissão de rádio) este é chamado de RPA (Remoted-Pilot Aircraft ou na língua portuguesa, Aeronave Remotamente Pilotada) ou aeronave não tripulada (Unmanned Aircraft - UA). Grande parte das aeronaves não tripuladas possui um sistema de comunicação através de frequência de rádio entre o operador de solo e a aeronave (Ferreira, 2014).

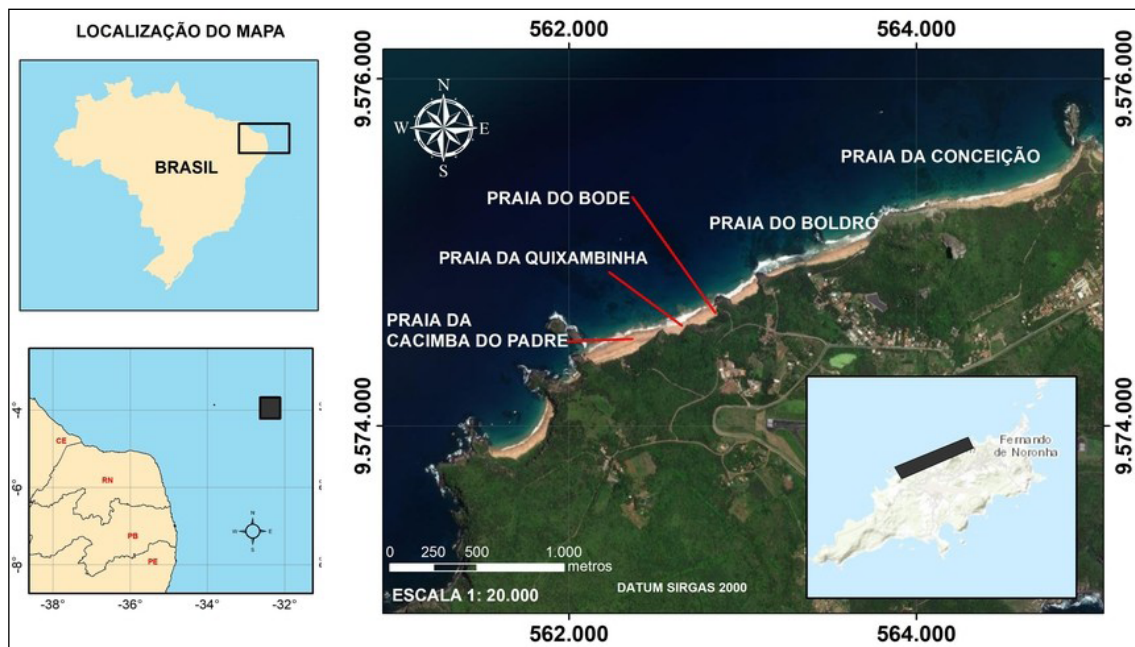
Através desses equipamentos é possível obter imagens aéreas de alta resolução através de câmeras transportadas que podem ter as seguintes características: câmera modelo FC 6310; resolução de 5472 x 3078, distância focal de 8.8 mm e tamanho do pixel 2.53 x 2.53 registradas durante a execução do voo. O processamento dessas imagens consiste na produção de modelos da elevação digital do terreno (MDE) a partir do mosaico obtido pela superposição das imagens todas georreferenciadas e ajustadas por GNSS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Localização

A área de estudo corresponde à faixa litorânea setentrional da ilha principal que leva seu homônimo arquipélago de Fernando Noronha (Figura 1) e corresponde as praias: e Praia da Conceição, Boldró, Praia do Bode, Praia da Quixambinha e Cacimba do Padre. O arquipélago é formado por 21 ilhas, ilhotas e rochedos de origem vulcânica, ocupa uma área de 26 km², desses, 17 km² são da ilha principal “Fernando de Noronha”. Situada no Oceano Atlântico Sul equatorial, localizada entre as coordenadas UTM 25 S, 562.000 E e 9.574.000 S e 964.946 E e 9.957.132 S distando 545 quilômetros na direção NE da cidade do Recife-PE, 360 quilômetros da cidade de Natal-RN, 710 Km de Fortaleza-CE (CPRM, 2019).

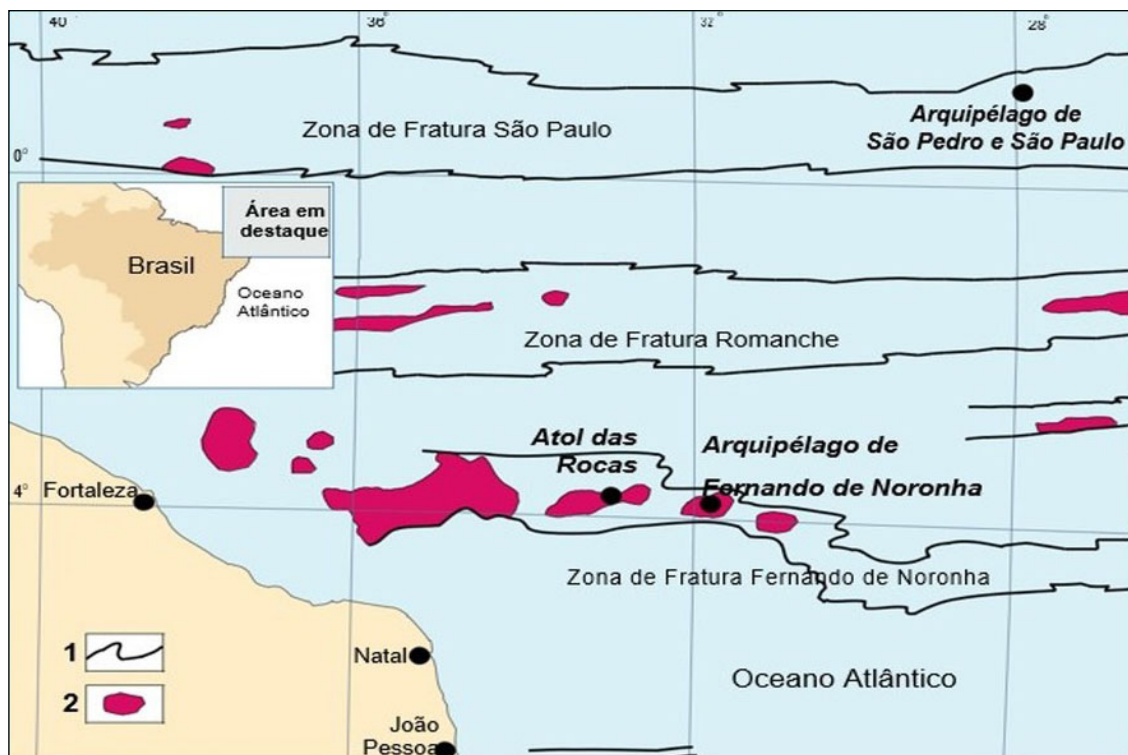


Fonte: Base cartográfica: IBGE 2005, SUDENE 2010. Adaptada pelo autor.

Figura 1. Mapa de localização da Ilha de Fernando de Noronha e localização da área de estudo.

Geologia

O Arquipélago de Fernando de Noronha (Figura 2) é composto por 21 ilhas de origem vulcânica situadas sobre as Zona de Fratura de mesmo nome. Essas fraturas podem construir relevos importantes e representam faixas de fraqueza da litosfera oceânica e se nessa passa por um hotspot a pluma mantélica pode atuar como duto vulcânico que emersos se apresentam como ilhas (Almeida, 2006).



Fonte: Extraído de Almeida (2006).

Figura 2. Região oceânica próxima ao Nordeste brasileiro: situação do Arquipélago de São Pedro e São Paulo na Zona de Fratura São Paulo; Atol das Rocas e Arquipélago de Fernando de Noronha, na extremidade da Zona de Fratura Fernando de Noronha. 1 – Limite de zonas de fratura; 2 – Rochas magmáticas.

O arquipélago está localizado a nordeste da cidade Natal-RN, na extremidade oriental de cadeias de montes submarinos orientadas a leste-oeste. Outros montes e elevações do embasamento magmático, apresentam-se nessa zona de fratura da crosta oceânica compondo o conjunto da Cadeia Fernando de Noronha (Gorini, Bryan, 1974). A ilha principal é a maior do Arquipélago homônimo tem aproximadamente 16,4 Km² e constitui uma pequena parte emersa de uma montanha vulcânica submarina com aproximadamente 75 Km de diâmetro na base alongada (E-W) sobre o fundo oceânico com cerca de 4.000 metros de profundidade (Almeida, 2006).

O morro do Pico é a mais alta cota registrada com 321 metros de altura. A litologia dessas ilhas é vulcânica e subvulcânicas saturadas sódico-alcálicas. Cordani (1970), realizou datação dessas rochas como +/- 12Ma, sendo constituído de piroclastos, cortados por diques e domos de fonólito, basaltos alcalinos.

A geologia (Figura 3) é destacada pelos autores: Almeida (1955), Cordani (1970) e Almeida (2006) como pertencentes a Formação Remédios que são litologias erosionadas e recobertas por derrames de lavas ankaraníticas e piroclastos da Formação Quixaba. Outras rochas descritas pelos autores supra citados lista-se adiante nas pequenas ilhas próximo a ilha principal como Formação São José, derrame de nefelina basanita, álcali-basalto, alcali-traquitos (Morro do Branco e Praia da Biboca).



Fonte: Almeida (1977).

Figura 3. Mapa Geológico de Fernando de Noronha,

Clima e vegetação

O clima do Arquipélago de Fernando de Noronha se caracteriza como tropical quente, com duas estações bem definidas: a seca, que compreende os meses de setembro a fevereiro e estação chuvosa, com precipitações ocasionais, de março a agosto (Figura 4). A temperatura tem pouca variação, apresentando uma média de 28° C.

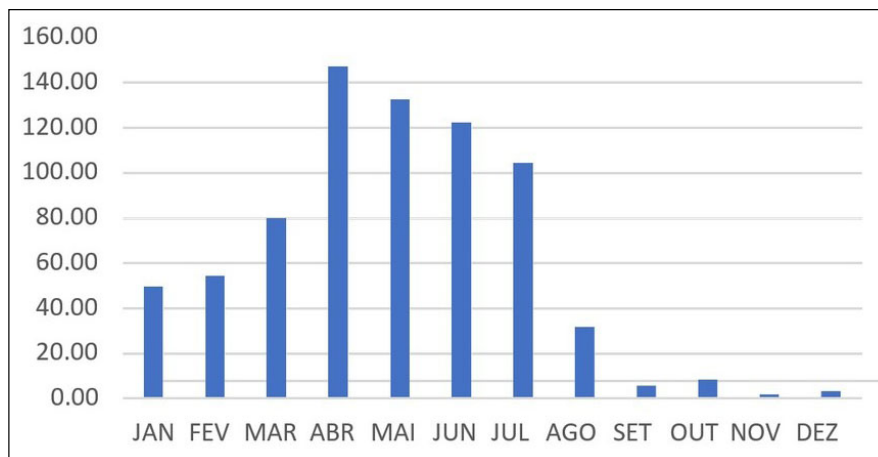


Figura 4. Monitoramento pluviométrico APAC-PE (2010-2018).

A direção dos ventos estudada por Espíndola *et al.* (2012) varia entre 70° SE Az e 10° SE com velocidades para alturas entre 10 e 50 metros em relação ao nível do mar estariam dentro dos intervalos de 7-8 m/s e 8-9 m/s, respectivamente.

A área do Arquipélago de Fernando de Noronha sofre ação da Corrente Sul Equatorial, que exerce uma influência na distribuição de isoterms dessa massa d'água, com a indução de ressurgências nas áreas dos bancos mais profundos (Travassos *et al.*, 1999). Esses mesmos autores mostraram evidências de uma interação entre a topografia submarina e o fluxo em estruturas termohalinas no entorno das cadeias de montanhas submarinas de Fernando de Noronha.

A Corrente Sul Equatorial é a corrente de ar superficial, de direção leste-oeste, no sentido da África para a costa brasileira, paralela ao Equador geográfico, bifurca-se entre 5°e 10°S, na altura do Cabo Calcanhar (RN), originando a Corrente Norte do Brasil e a Corrente do Brasil de direção sul (Bezerra Jr., 1999). Conforme esse autor, a evaporação é geralmente maior do que a precipitação pluviométrica, o que proporciona valores elevados de temperatura e salinidade superficiais, em média 28°C e salinidade acima de 36 ‰, inibindo a convecção na coluna d'água.

Assunção (2017) destaca ainda que o arquipélago de Fernando de Noronha é marcado pela constante presença das ondas do tipo wind sea de NE-E e NW-N e as ondas do tipo swell, com direções semelhantes as ondas locais, no entanto concentradas entre outubro de 2013 a janeiro de 2014. As maiores alturas de ondas foram observadas entre janeiro e março, relacionados a chegada dos *swells* de norte.

A flora natural do Arquipélago de Fernando de Noronha é muito pouco em relação ao que encontraram os primeiros navegadores, que ali chegaram, no começo do século XVI. A vegetação hoje encontrada é predominantemente arbustiva e herbácea, com várias espécies invasoras, que foram trazidas do continente (Wildner *et al.*, 2010).

METODOLOGIA

Materiais

Os materiais utilizados para o levantamento dos dados foram: Drone Dji Phantom IV Pro, Tablet Galaxy Tab S6 Lite SM-P615 dotada de câmera fotográfica traseira (8 megapixel, resolução 3266 x 2449 pixel e tamanho do sensor de 1/4”) , Bússola de Geólogo dotada de clinômetro, Software ArcGis 10.5, Extensão do programa Arc Gis DSAS 5.0, Intel Core i5, HD 1 Terabyte, RAM 8 GB, GPS Etrex Garmin.

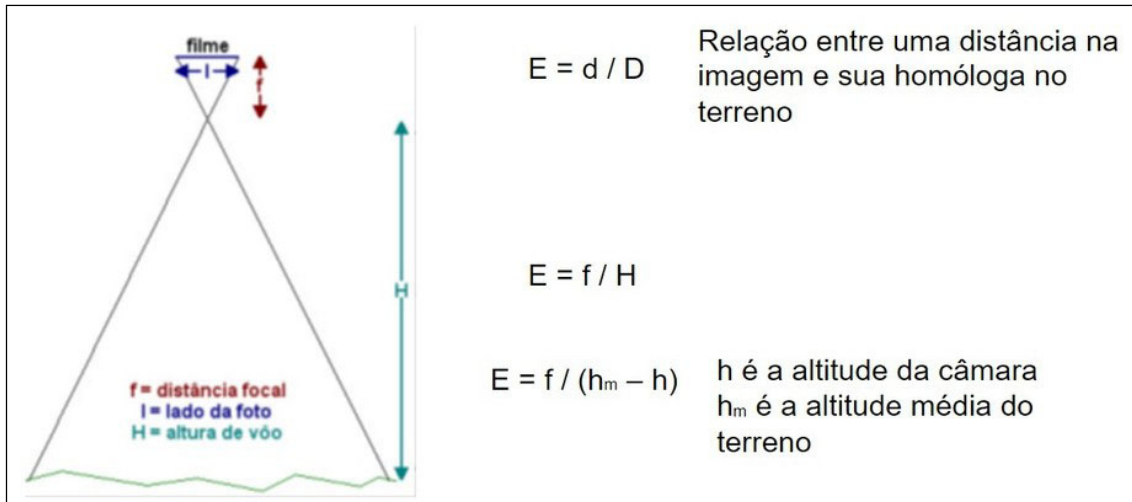
Métodos

O trabalho foi realizado com base em material produzido através de coleta de informações in loco, aerolevantamento com veículo aéreo não-tripulado (vant) e utilização de imagens aéreas obtidas por vôo sobre a área de estudo, todas as informações espaciais

foram extraídas no software Agisoft Metashape 1.5 e exibidas e tratadas no software Arc Map 10.5. Foi utilizado o aerolevante realizado por Salim (2019), sendo realizado um levantamento com VANT (veículo aéreo não tripulado) com as seguintes características: quadricóptero de asas rotativas, fabricante DJI, modelo Phantom 4 Pro). Para precisão do aerolevante, sobretudo para manter a taxa de sobreposição das imagens, altura e velocidade e o plano de vôo criado por Salim (2019) através do programa Drone Deploy com os seguintes parâmetros de voo: altitude de voo: 120-200 metros, sobreposição lateral das faixas: 65%, sobreposição frontal das fotos: 75%: área aerolevante 2.200,00 hectares (sendo utilizados nessa pesquisa uma área de 26,17 hectares que compreende as praias estudadas) , resolução espacial: 3,27 cm/pixel. Medição dos pontos de controle do terreno: Par de Receptores Zenith no modo positional 10 RTK (Salim, 2019).

Processamento Fotogramétrico

Para o processamento dessas imagens foi necessário a entrada dos dados de calibração da câmera, do arquivo de coordenadas do centro de cada imagem e inclinações ω , ϕ , κ (Yaw, Pitch e Roll) e das próprias imagens. Foi utilizado o programa Metashape 1.5, desenvolvido pela Agisoft. Esse software permite a criação de ortomosaicos com alta resolução espacial, por intermédio de técnica de mosaicagem com base nas semelhanças entre as imagens. Esse processo consiste em projetar o ortomosaico em um plano definido pelo usuário. Entretanto para obter uma melhor precisão é necessário o uso de pontos de controle no terreno como forma de se assegurar acurácia. Apesar dessas imagens terem as coordenadas geográficas registradas da sua localização, foram corrigidas através de georreferenciamento com 241 pontos materializados no terreno, de forma a aumentar a precisão do ortomosaico. Foram utilizados um par de receptores RTK (sendo um com base fixa e outro móvel, Geomax Zenith 10). Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de aquisição de informações confiáveis sobre objetos, meio ambiente a partir do uso de processos de registro, medições e interpretações fotogramétricas. A fotografia aérea pode ser executada a partir de uma direção oblíqua ou vertical. Na perspectiva vertical (Figura 5), a fotografia é executada com a câmera apontada para baixo, ponto nadir: extremamente inferior de uma direção que coincide com direção da força gravitacional.

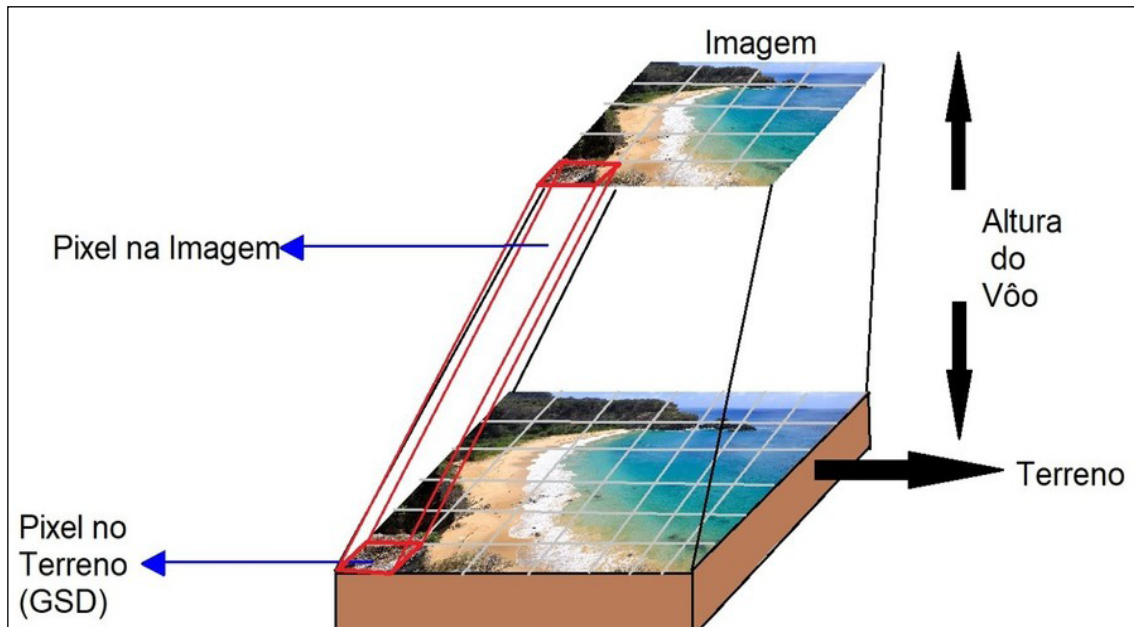


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5. Distância focal. Desenho esquemático da obtenção da escala.

A escala da fotografia aérea é decorrente da relação entre a distância focal da câmera e a altura do voo da aeronave. Quando a distância focal aumenta a escala das fotografias torna-se maior. O intervalo de tempo das exposições feitas na câmera fotográfica aerotransportada é ajustado de forma que cada ponto da superfície é fotografado mais de uma vez de diferentes posições (superposição).

No software de tratamento dos dados produzidos no aerolevanteamento GSD ou “Ground Sample Distance” e em tradução livre significa “Distância da amostra do solo” é a representação do pixel da imagem em unidades do terreno (Figura 6). Esse valor (GSD) significa a quantidade de medida representada em cada pixel na imagem da representação do mundo real. Por exemplo, em um vôo com 15 cm/pixel, cada pixel representará 15 centímetros de distância no mundo real.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6. Representação ilustrativa do GSD ou “Ground Sample Distance”.

Variação do deslocamento da linha de costa

A linha de costa de 2019 foi digitalizada/espacializada a partir das imagens aéreas obtidas no aerolevanteamento por VANT executado por Salim (2019) e a linha de costa atual de 2021 foi digitalizada/espacializada a partir do caminhamento realizado no mês de outubro de 2021. O cálculo das taxas de variação da linha de costa (m/ano) considerou o deslocamento da linha de costa, de progradação (avanço) e retrogradação (reco). Nessa etapa do trabalho foi utilizado o software DSAS (Digital Shoreline Analysis System) um programa livremente disponível, sendo executado juntamente com o programa ArcGis da Esri Geographic Information System. A versão que foi usada neste trabalho foi DSAS 5.0. A taxa de variação do deslocamento da linha de costa foi calculada utilizando-se as distâncias entre a linha base (baseline) e cada intersecção ao longo das linhas transversais de 2019 e 2021, com uma equidistância de 4 metros (Figura 8).

Os dados estatísticos são exibidos em unidade de metro de variação pelo período entre as linhas de costas medidos ao longo das linhas transversais (“transectors”). Para avaliação dos cálculos estatísticos foi utilizado os dados do campo chamado EPR (End Point Rate), que corresponde a distância entre a linha de costa mais antiga e a linha de costa mais recente para cada linha de transectos, dividindo-se a distância medida pelo tempo decorrido entre as duas posições da linha de costa, o resultado é a taxa da variação do ponto final.

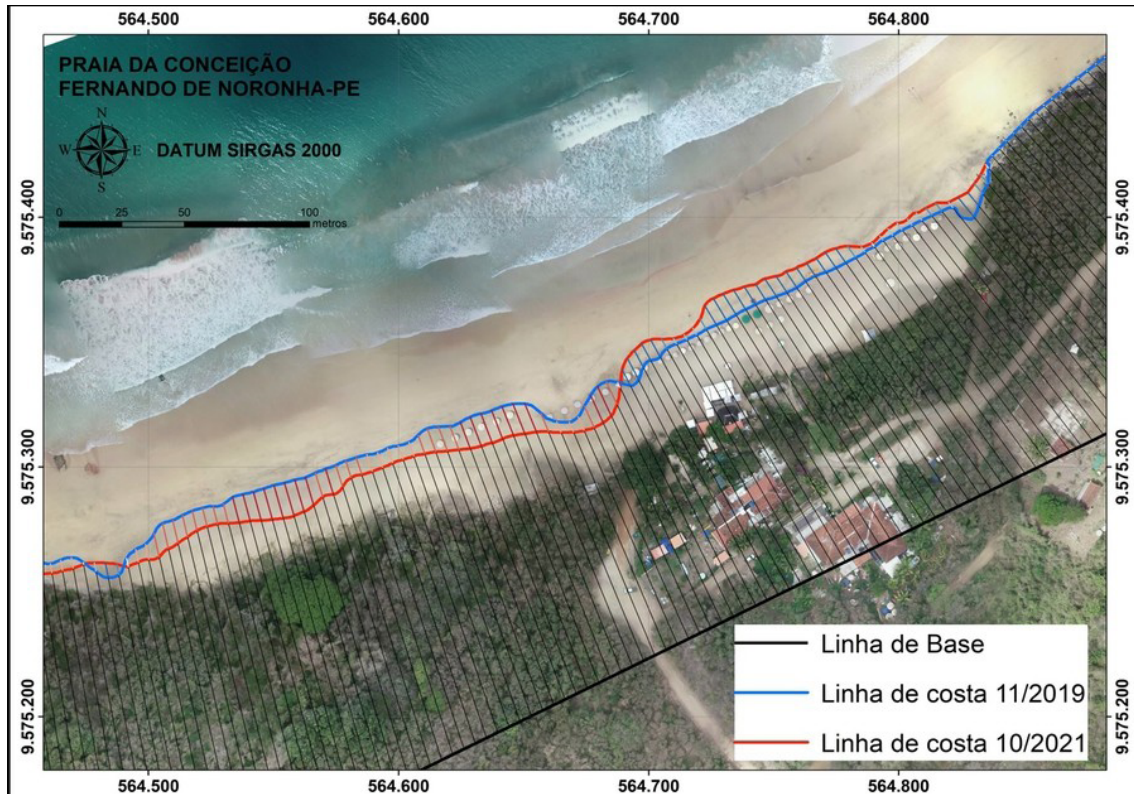
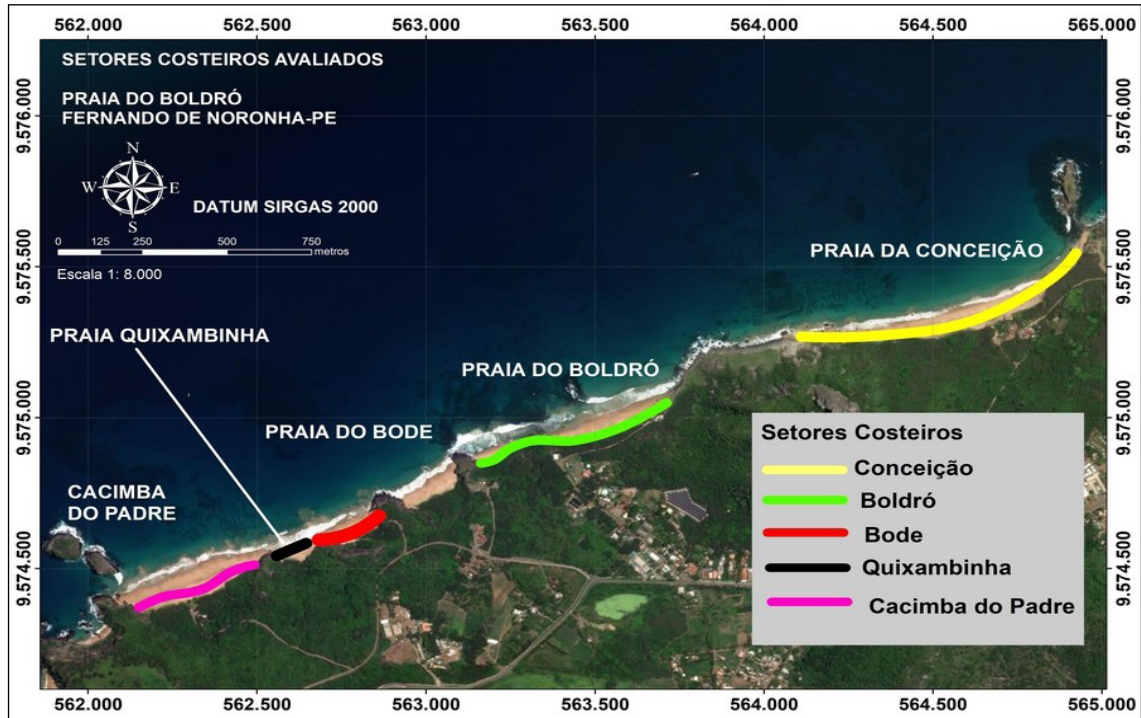


Figura 8. Mapa exemplificando linhas de costa e representação do traço das seções transversais (“transectors”). Local: Praia da Conceição, Fernando de Noronha-PE.

RESULTADOS

Praias estudadas

Para o estudo da vulnerabilidade do ambiente de praias arenosas da ilha principal do arquipélago de Fernando de Noronha foram avaliadas as praias setentrionais: Praia da Conceição, Praia do Boldró, Praia do Bode, Praia da Quixambinha e a Praia da Cacimba do Padre (Figura 9).

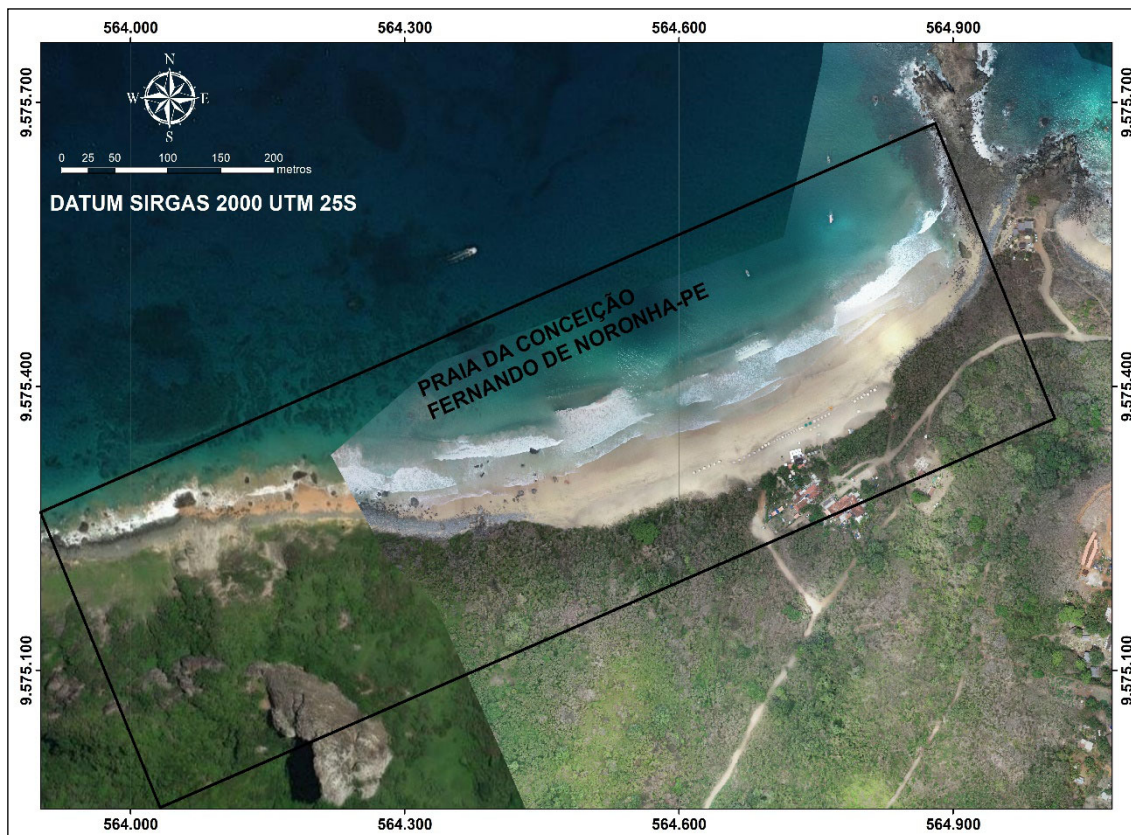


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 9. Mapa de setores Costeiros Avaliados para o cálculo do deslocamento da linha de costa.

Praia da Conceição

A praia da Conceição está localizada entre a Praia do Meio e a Praia do Boldró próximas à Vila dos Remédios, está situada no sopé do morro do Pico. Essa praia apresentou uma morfologia parabólica, com aproximadamente 900 metros de extensão e uma orientação SW-NE, é delimitada por um promontório rochoso a nordeste e por matações a sudoeste (Figura 10).

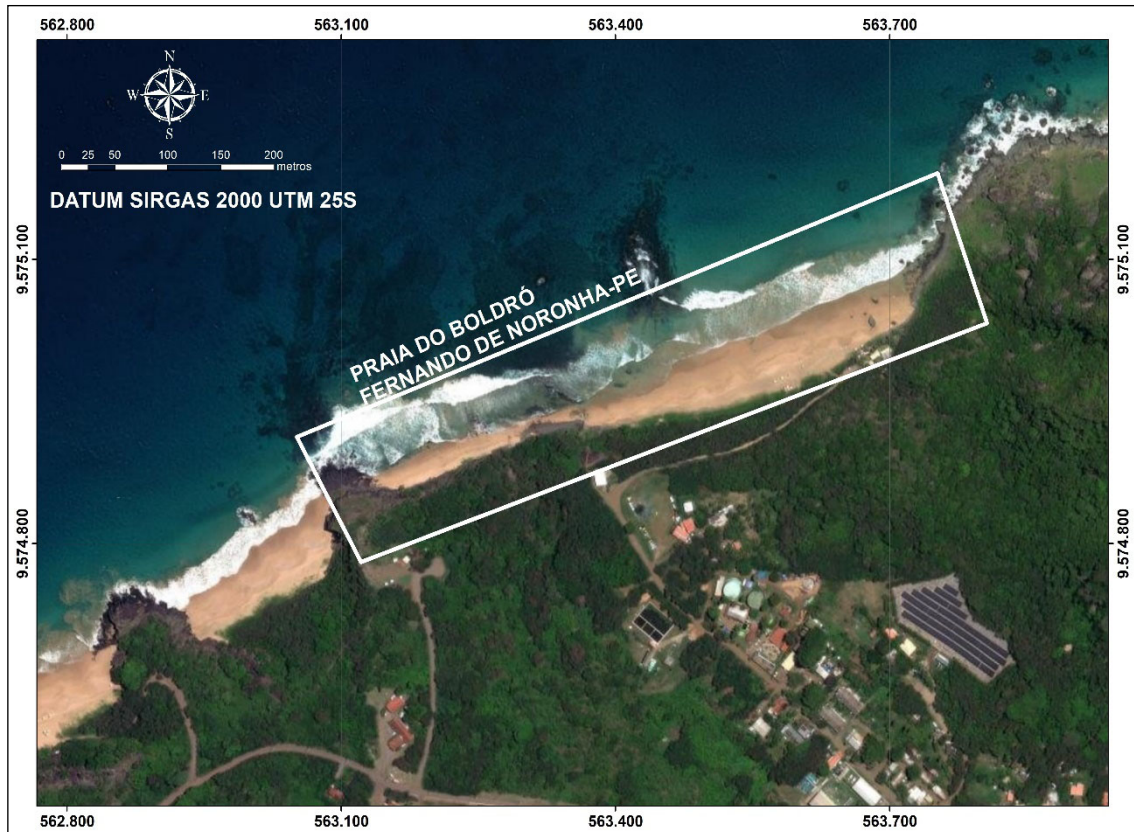


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 10. Mapa de localização da Praia da Conceição.

Praia do Boldró

A praia do Boldró está localizada a sudoeste da Vila dos Remédios, situada entre a Praia da Conceição e a Praia do Americano, no entorno do morro do Pico. A praia do Boldró possui uma extensão de aproximadamente 600 metros com a direção nordeste-sudoeste, como o prolongamento da Praia da Conceição e uma largura do pós-praia de 24 metros até a vegetação. Está delimitada por dois promontórios rochosos (rochas de basalto) a oeste e matacões de rochas basálticas a leste, em direção à praia da Conceição (Figura 11).

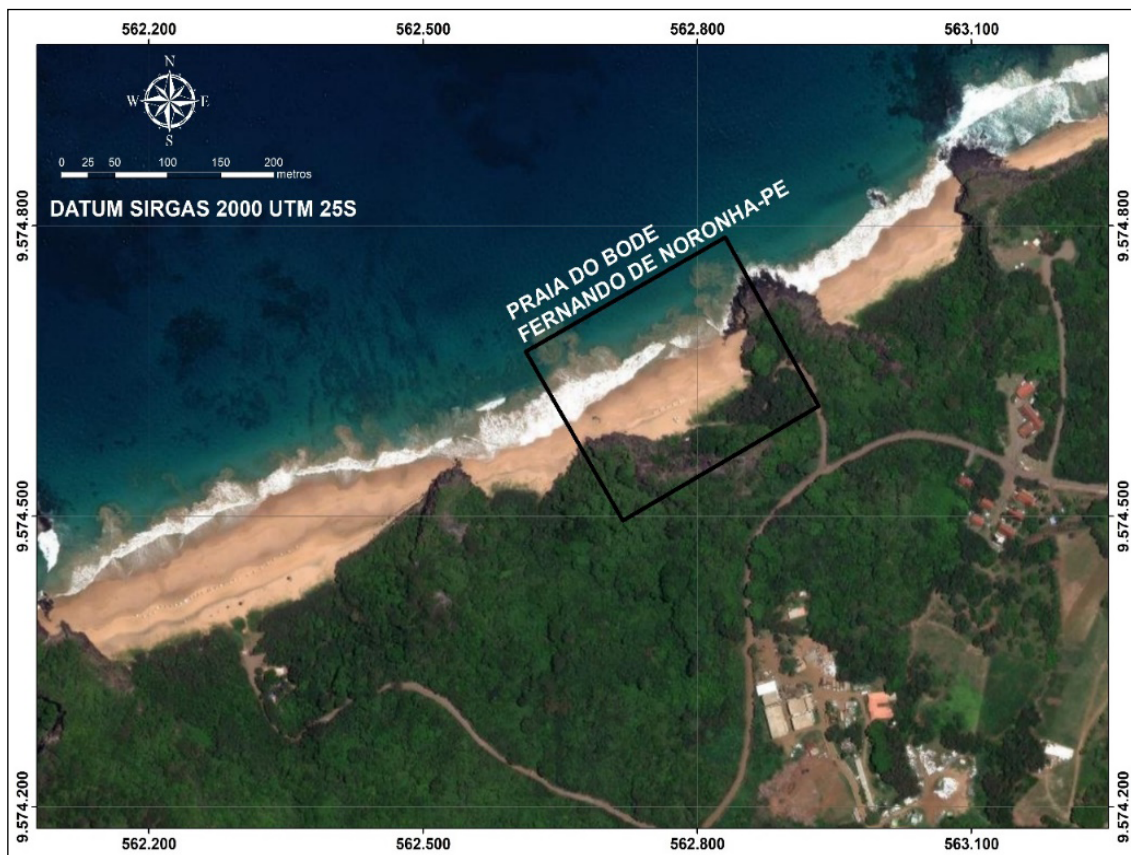


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 11. Mapa de localização da Praia do Boldró.

Praia do Bode

A Praia do Bode apresentou uma extensão de aproximadamente 165 metros, com a direção SW-NE, sendo o prolongamento da Praia do Boldró. Essa Praia está entre dois promontórios rochosos a leste e a oeste, respectivamente (Figura 12).

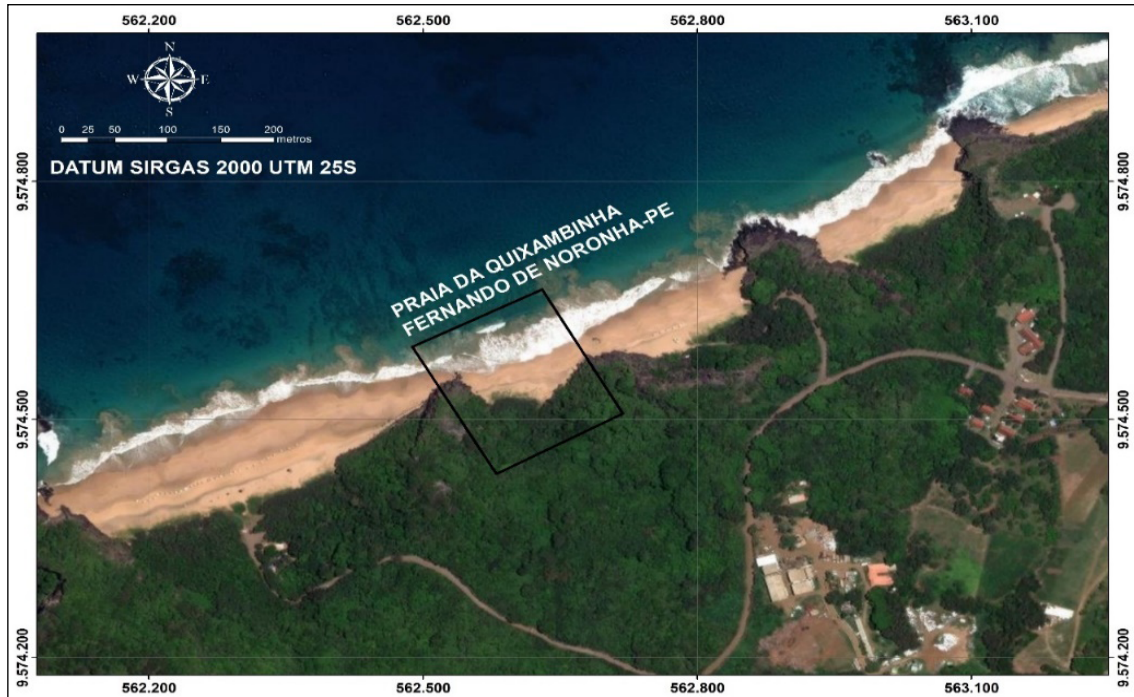


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 12. Mapa de localização da Praia do Bode.

Praia da Quixambinha

A Praia da Quixambinha (Figura 13) possui uma extensão aproximada de 140 metros na direção ENE, sendo o prolongamento da praia do Bode. Seus limites são as rochas da Formação Quixaba à oeste e a leste a praia do Bode.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 13. Mapa de localização da Praia da Quixambinha.

Praia Cacimba do Padre

A praia da Cacimba do Padre (Figura 14) tem uma extensão aproximada de 390 metros na direção ENE e está limitada a oeste por um promontório rochoso que se estende até a linha d'água, próximo das Ilhas Dois Irmãos e a leste limita-se com a praia da Quixambinha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 14. Mapa de localização da Praia da Cacimba do Padre.

Vegetação

A vegetação é inexistente nos ambientes de pós-praia estudados. A Praia da Conceição (Figura 15), Praia do Boldró (Figura 16), Praia do Bode (Figura 17), Praia Quixambinha (Figura 18) e Praia Cacimba do Padre (Figura 19).



Fonte: Autor (2021).

Figura 15. Pós-praia da Conceição: Fotografia mostrando a vegetação gramínea entre o final do ambiente pós praia e a linha de vegetação.



Fonte: Autor (2021).

Figura 16. Pós-praia do Boldró: Vegetação rasteira entre o final do ambiente pós-praia e a linha de vegetação.



Fonte: Autor 2021.

Figura 17. Pós-praia do Bode: Vegetação rasteira entre o final do ambiente pós-praia e a linha de vegetação.



Fonte: Autor 2021.

Figura 18. Praia Quixambinha: Vegetação rasteira e vegetação arbórea em contato com o ambiente pós-praia.



Fonte: Autor (2021).

Figura 19. Praia Cacimba do Padre: Vegetação rasteira e vegetação arbórea em contato com o ambiente pós-praia.

Cálculo do deslocamento da linha de costa

Os resultados dos cálculos da variação da linha de costa de 2019 e 2021 estão representados na tabela 01. O mapa contendo o deslocamento da linha de costa da Praia da Conceição apresenta dois setores que representam comportamentos peculiares. No setor localizado a oeste, destacado na cor vermelha (Figura 20) apresentou uma taxa média de recuo de -3,95 metros/ano na direção onshore (indicando erosão) sobre o domínio arenoso do ambiente da pós-praia. Esse segmento apresentou um deslocamento máximo de -13,57 metros/ano e o valor mínimo de 5,96 metros/ano (Figura 21). No setor localizado a leste da Praia da Conceição, destacado na cor azul (Figura 21), apresentou um deslocamento máximo de 10,35 metros/ano (deposição de sedimentos ou progradação) e o deslocamento mínimo de -2,17 metros/ano (A taxa média de deslocamento nesse setor foi de 2,82 metros/ano, com um valor máximo de 5,63 e o valor mínimo de -1,09 metros/ano (Figura 22).

Tabela 1. Resultados estatísticos das taxas de variação da linha de costa em metros/ano (EPR) das praias estudadas.

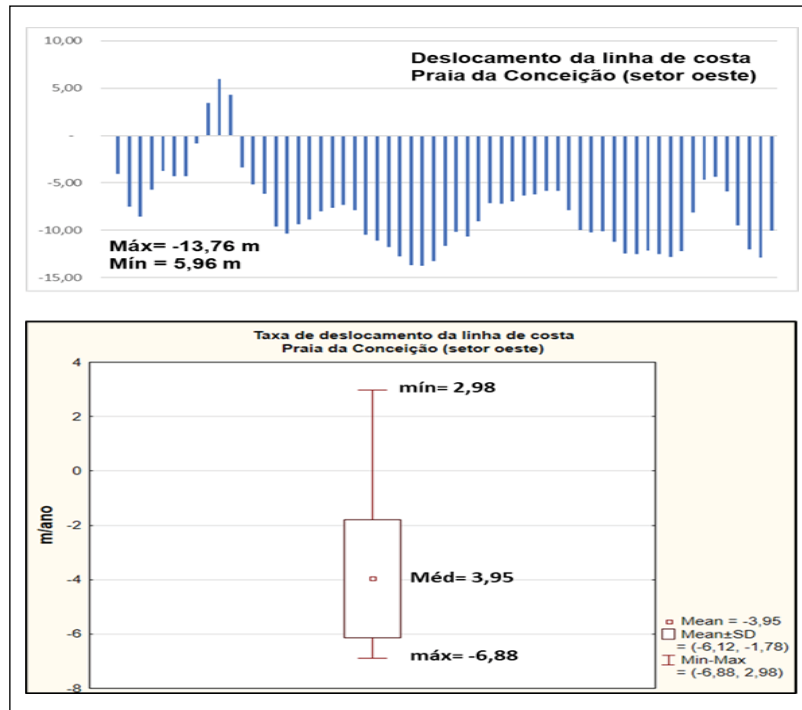
PRAIAS	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	VARIÂNCIA	DESVIO PADRÃO
CONCEIÇÃO	-1,20	-2,26	5,18	-6,88	14,84	3,85
BOLDRÓ	-4,04	-3,06	-0,58	-12,40	7,49	2,74
BODE	-8,41	-9,48	0,00	-10,78	5,72	2,39
QUIXAMBINHA	-14,05	-12,93	-0,04	-24,68	38,97	6,24
CACIMBA	-0,18	-0,50	3,66	-2,84	3,85	1,51

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).



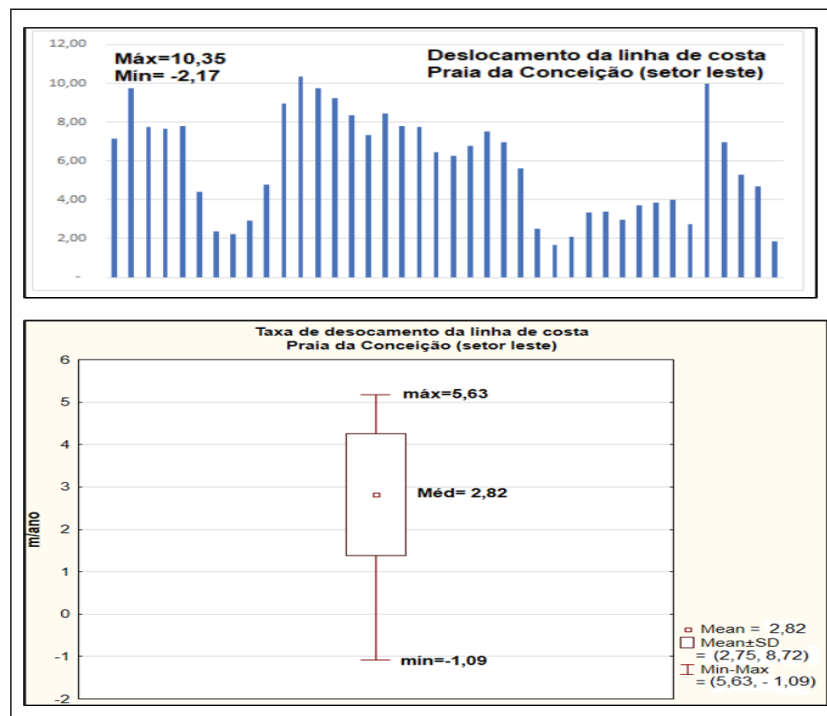
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 20. Mapa do deslocamento da linha de costa da Praia da Conceição (2019-2021). A cor vermelha representa o setor localizado a oeste, destacando um processo erosivo. A cor azul representa o setor leste destacando a deposição de sedimentos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

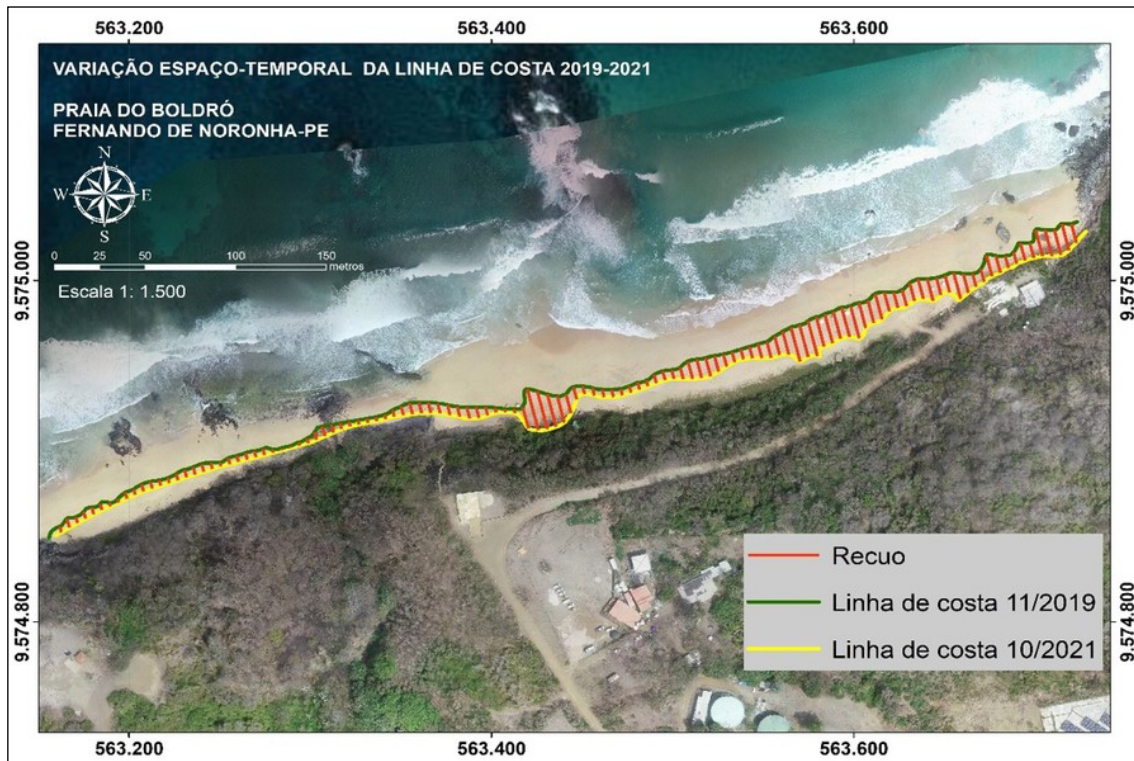
Figura 21. Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia da Conceição, setor oeste (2019-2021).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

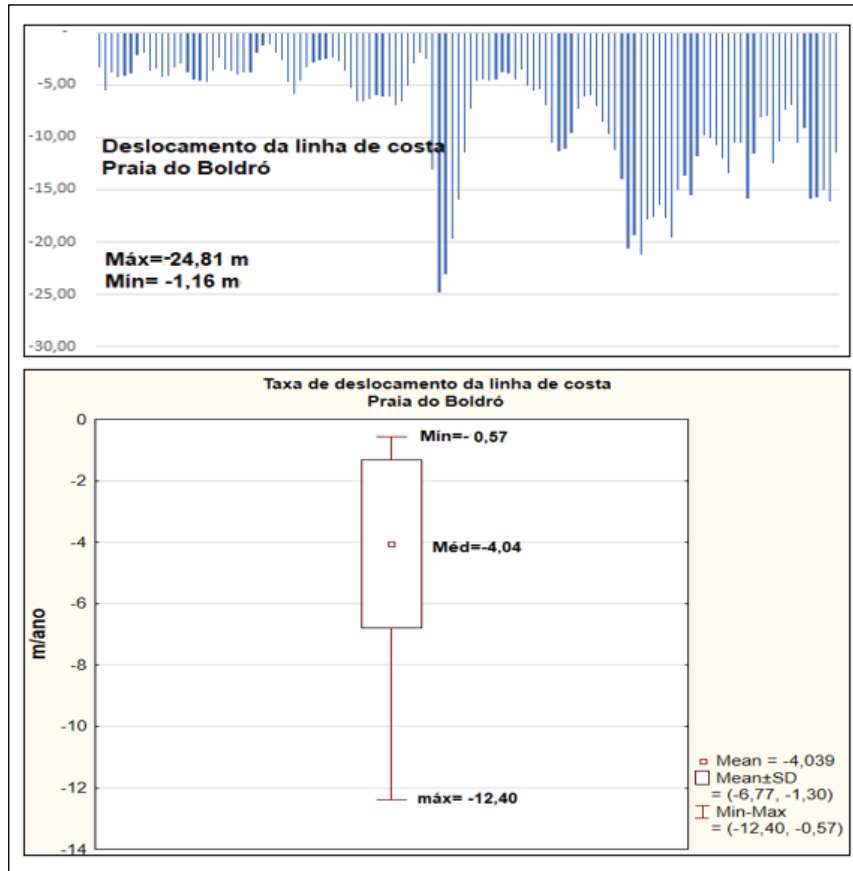
Figura 22. Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia da Conceição, setor leste (2019-2021).

O resultado da variação da linha de costa da Praia do Boldró apresentou um taxa média de recuo, no valor de -4,04 metros/ano em direção onshore (erosão ou retrogradação) no domínio arenoso do ambiente pós-praia (Figura 23). O deslocamento máximo da linha de costa na Praia do Boldró foi de -24,81 metros (Figura 24), indicando uma erosão ao longo de toda sua extensão com os valores das taxas entre -0,57 e -12,40 metros/ano.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

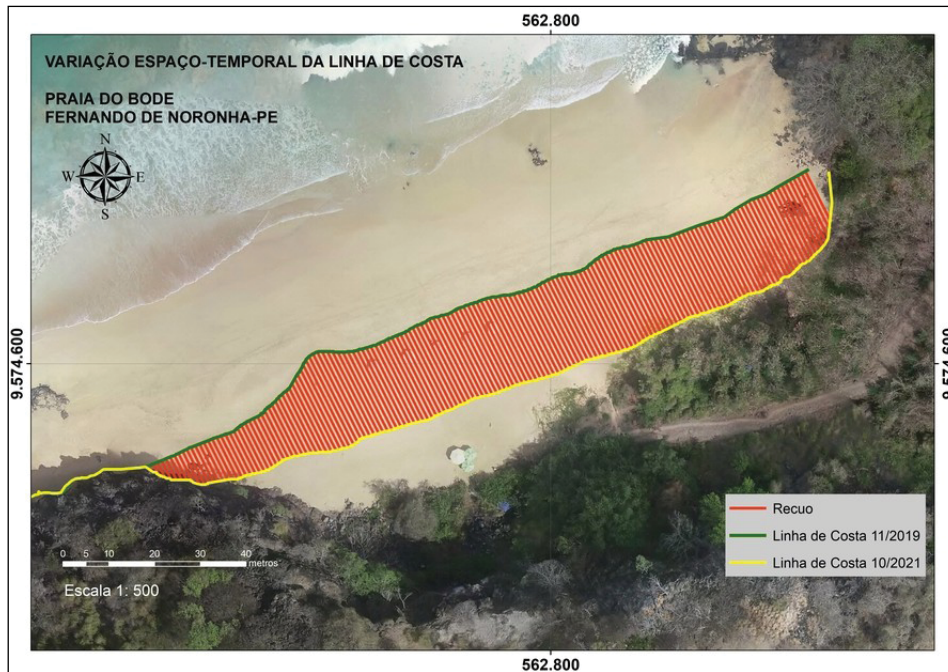
Figura 23. Mapa do deslocamento da linha de costa, Praia do Boldró (2019-2021).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

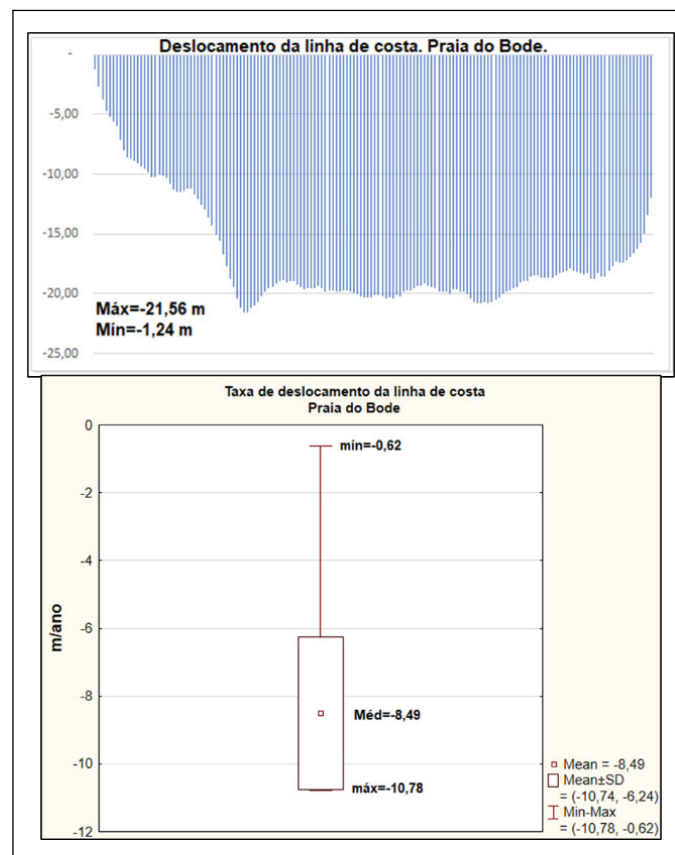
Figura 24. Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia do Boldró (2019-2021).

A linha de costa no segmento Praia do Bode apresentou um taxa média de recuo no valor de -8,49 metros/ano onshore sobre o domínio arenoso do ambiente pós-praia (Figura 25) ocorrendo erosão de sedimentos ou progradação. A variação máxima da linha de costa na Praia do Bode (Figura 26) foi de -10,78 metros/ano, o que mostra uma alta erosão nesse local. Os resultados das taxas observados na Praia do Bode apresentaram variação da linha de costa entre -0,62 (mínima) e -10,78 (máxima) metros/ano.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

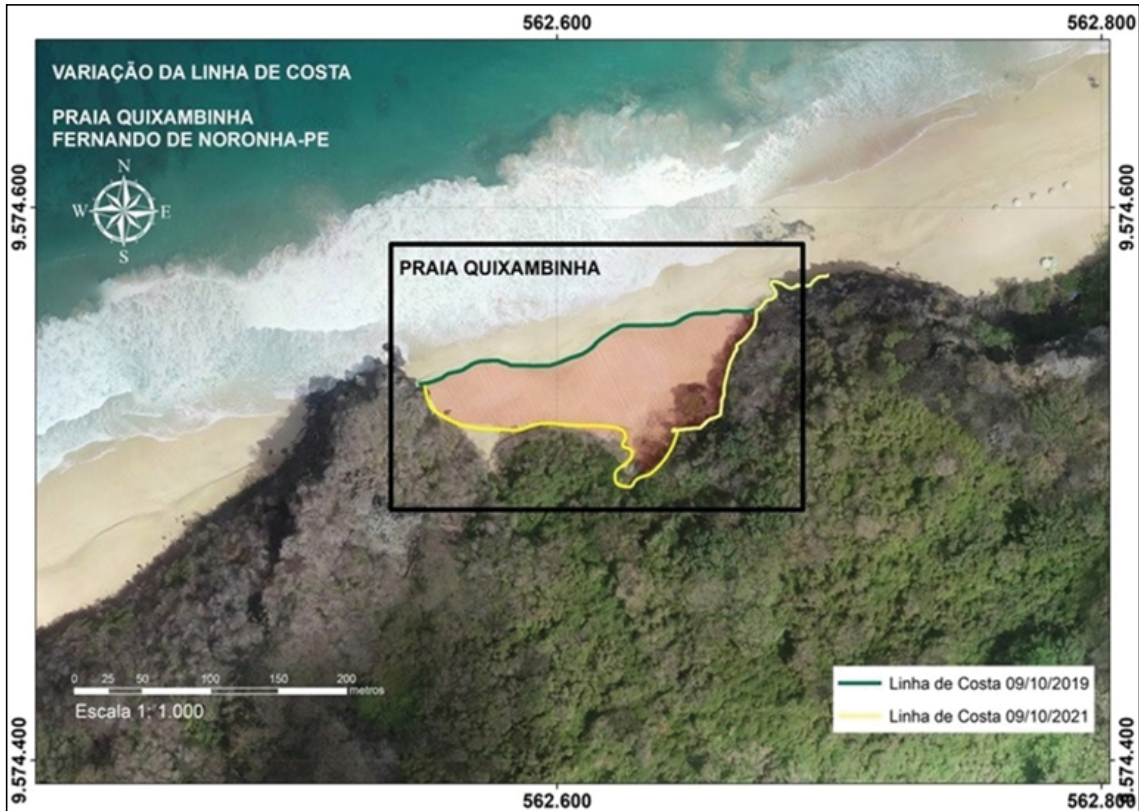
Figura 25. Mapa do deslocamento da Linha de costa na Praia do Bode.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

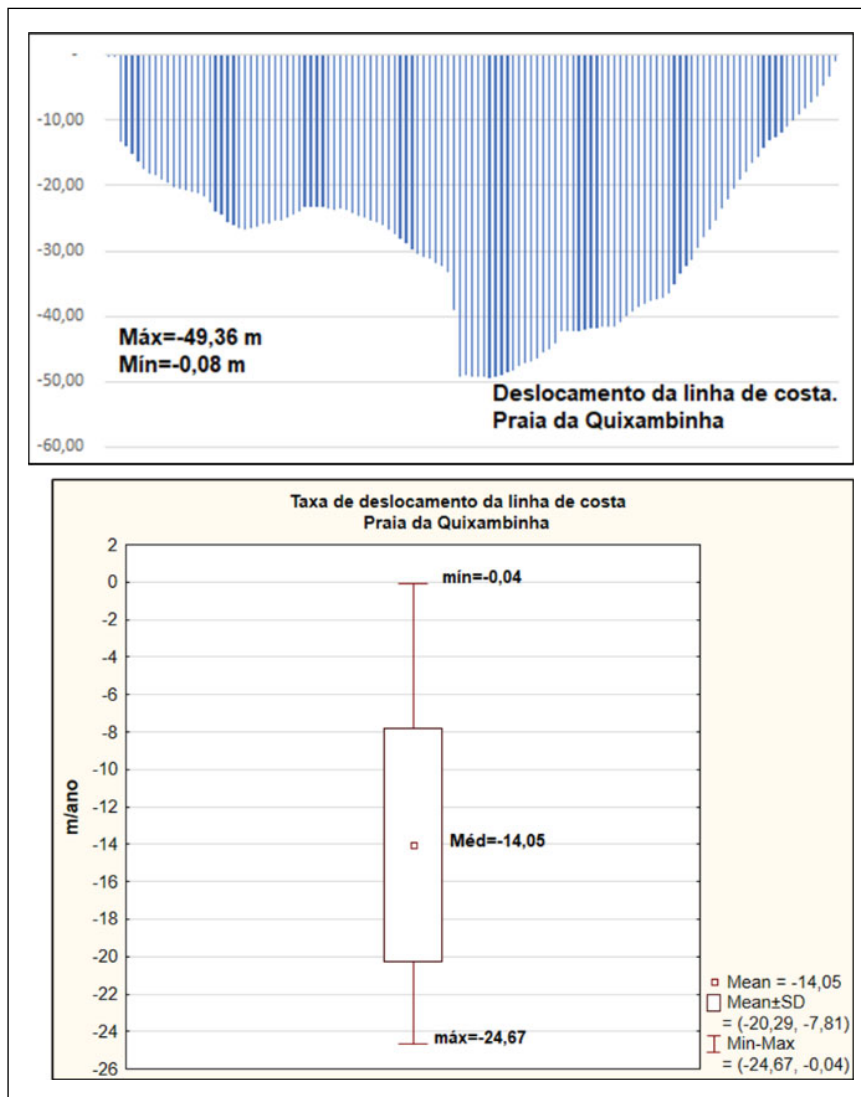
Figura 26. Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia do Bode (2019-2021).

O deslocamento máximo da linha de costa na Praia da Quixambinha (Figura 27) foi de -49,36 metros indicando que houve progradação e erosão costeira nesse local e o deslocamento mínimo da linha de costa foi de -0,08 m/ano (Figura 28).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 27. Mapa do deslocamento da Linha de costa na Praia da Quixambinha.

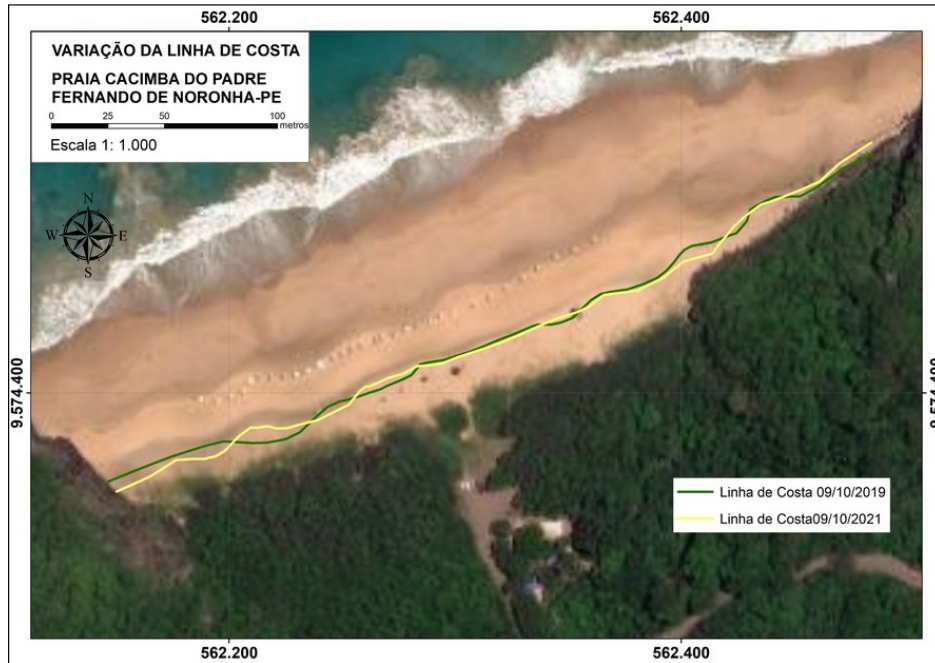


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 28. Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia do Bode (2019-2021).

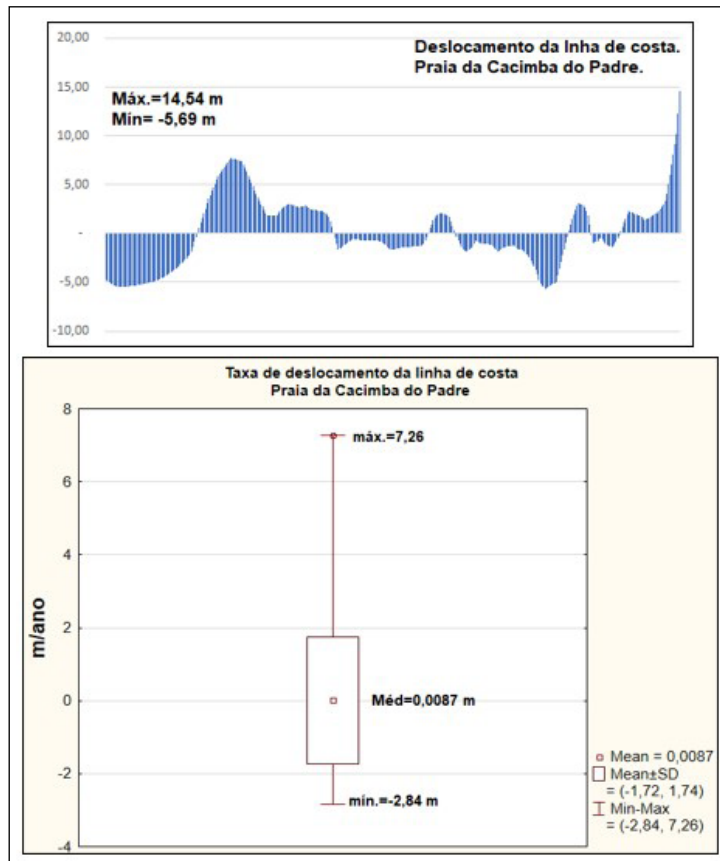
O deslocamento da linha de costa da Praia da Cacimba do Padre apresentou uma taxa média de -5,69 metros/ano onshore no domínio arenoso do ambiente pós-praia (Figura 29).

A variação máxima da linha de costa na Praia da Cacimba do Padre foi de 14,54 metros e o valor mínimo foi de -5,69 metros por ano (Figura 30). A linha de costa da Praia da Cacimba do Padre apresentou uma variação entre -2,84 m/ano e 7,26 m/ano indicando uma predominância de retrogradação da linha de costa ou ambiente de erosão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 29. Mapa do deslocamento da Linha de costa na Praia da Cacimba do Padre.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 30. Resultado da variação do deslocamento da linha de costa. Praia da Cacimba do Padre (2019-2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A taxa média de variação da linha de costa teve valores negativos nas praias avaliadas e a relação da largura de pós-praia nesses locais indicou uma tendência erosiva maior no período de 2019 e 2021 observadas nas praias da Conceição, Bodró, Bode, o recuo da linha de costa apresentaram valores de -1,2, -4,04 e -8,41 metros por ano, respectivamente. A praia do Bode teve 100% da área do pós-praia comprometida pela ação das ondas durante a maré alta. Adjacente a esses locais a marca da deixa da maré alta indicou que, a linha de costa a praia da Quixambinha teve uma taxa de recuo, cerca de -14 metros por ano. Essas praias são as que apresentaram maiores taxas de recuo da linha de costa e também com menores larguras de pós-praia, sendo que, a praia da Quixambinha apresentou uma largura da pós-praia quase inexistente. Com essas observações destaca-se que as praias da Quixambinha e do Bode possuem características de ambientes de alta energia em relação as demais praias analisadas. Este fenômeno de recuo identificado nessas praias podem estar associadas ao aumento da energia dos principais agentes dinâmicos locais, como ondas, ventos e correntes (Komar, 1983).

A praia da Cacimba do Padre apresentou uma pequena variação homogênea da linha de costa, demarcada pela presença de água deixada pela maré alta (maceiós). Essas taxas menores de recuo da linha de costa podem ser explicadas pela presença das Ilhas Dois Irmãos, localizadas na plataforma interna, que podem está impedindo o fluxo longitudinal de sedimentos no sentido de NE para SW.

Manso *et al.* (2001) afirmam que no sistema de praias sententrionais da Ilha de Fernando de Noronha está sob um processo erosivo com a transferência de material sedimentar de NE para SW.

O recuo da linha de costa, juntamente com a ausência de vegetação próximo ao ambiente da pós-praia, associada com a alta energia nesses ambientes, tem como resultado a diminuição ou quase ausência da pós-praia, como é o caso da praia do Bode e a praia da Quixambinha. Conforme cartografia de risco gerada, as praias estudadas apresentaram índice de vulnerabilidade alta em mais de 50% da área da pós-praia. Os locais de alta vulnerabilidade apresentaram elevados recuos da linha de costa, largura de praias menores, baixa elevação do terreno e proximidade de áreas com a presença de lagoeiros (maceiós) deixadas pela maré alta.

O recuo da linha de costa nas praias: Conceição (-1,20 m/ano), Boldró (-4,04 m/ano), Bode (-8,41 m/ano), Quixambinha (-14,05 m/ano) e a Praia da Cacimba do Padre (-0,18 m/ano), juntamente com a instalação de edificações, a impermeabilização desses locais, e a remobilização de sedimentos registrado nas praias da Conceição e Boldró aumentam o índice de vulnerabilidade, que retraem o ambiente da pós-praia e põem em risco o patrimônio material e humano, e o próprio ambiente praial, com a retirada de sedimentos.

Um caso particular e mais grave está na praia do Boldró, pois o local da instalação do rejeito do dessalinizador, o recuo da linha de costa máximo nesse local foi de -24,90 metros chegando até a vegetação nativa, próxima daquele ambiente. Nas áreas de vulnerabilidade média não foram registrados a lagoeiros da deixa da maré, embora um recuo da linha de costa foi registrado, porém uma largura de praia é maior.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Fernando F.M. **Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha**. Rio de Janeiro, DGM/DNPM. 181p. (Monografia 13), 1955.
- ALMEIDA, Fernando F.M. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. **Terra e Didática**, v. 2, n. 1, p. 3-18, 2006.
- ASSUNÇÃO, Ramilla Vieira de. **Variabilidade sazonal da dinâmica oceânica na região do mar de dentro do arquipélago de Fernando de Noronha, PE**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- BERGER, A. R. Assessing rapid environmental change using geoindicators. **Environmental Geology**, v. 32, n. 1, p. 36-44, 1997.
- BEZERRA JR., J. L. **Comunidade planctônica do nêuston: malaco e ictiofauna na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do nordeste do Brasil (REVIZEE)**. 153p. Dissertação de Mestrado. UFPE, 1999.
- BIJLSMA, Luitzen *et al.* **Coastal zones and small islands**. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 289-324, 1996.
- BIRD, E. **Coastline Changes**. John Wiley and Sons, New York, 219 p, 1985.
- BORGES, P. A.; AZEVEDO, E. B.; BORBA, A. E. S. D.; DINIS, F.; GABRIEL, R.; SILVA, E. **Ilhas Oceânicas**. Portugal Millenium Ecosystem Assessment, 463-510, 2009
- BOSOM E.; JIMÉNEZ, J. A. Avaliação probabilística da vulnerabilidade costeira a tempestades em escala regional - aplicação às praias catalãs (NW Mediterrâneo). **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 11 (2), 475-484, 2011.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.; MCDONNELL, R. A.; LLOYD, C. D. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, 2015.
- BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YOUNG, R. S.; PILKEY, O. H. (1999). Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, 42(8), 647-670, 1999.
- CALLIARI, L. J.; MUEHC, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JR, E. Morfodinâmica Praial: uma Breve Revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 51(UNICO), 63-78, 2003.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; MAGALHÃES, G. C. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**, 1996.
- CAMARGO, Maurício Garcia de. **Sysgran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento**. 1999.
- CARDONA, Omar. **The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management**, 2004.
- COBUM A.S. **Reducing Vulnerability of North Carolina Communities: A Model Approach for Identifying, Mapping and Mitigating Coastal Hazards**. Program for the Study of Developed Shorelines, Duke University, 2001.

CORDANI, Umberto G. Idade do vulcanismo no oceano Atlântico Sul. **Boletim IGA**, v. 1, p. 09-75, 1970.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Descrição Geral do Geoparque**. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geoparques/noronha1/index.php?geoparque=5>. Acesso em: 05 out. 2019.

DANIEL Salim. **Combinação da fotogrametria com drone e modelagem da irradiação para propor cenários de transição fotovoltaica para a Ilha de Fernando de Noronha** (PE, Brasil). Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 2021

DIETZ, Robert S. Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor. **Nature**, N° 4779, 1961.

DUANE, David B. Significance of skewness in recent sediments, western Pamlico Sound, North Carolina. **Journal of Sedimentary Research**, v. 34, n. 4, p. 864-874, 1964.

ESPINDOLA, Rafael Luz *et al.* Estimativa do Potencial de Energia das Ondas a partir de Dados de Vento para o Arquipélago de Fernando de Noronha. In: **VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica** (CONEM 2012). 2012. p. 10.

FERREIRA, Alexandre Moreno Richwin. **Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – Vant, Para Uso Em Aerolevantamentos**. Dissertação de mestrado, 2014.

FOLK, Robert Louis; WARD, William C. Brazos River bar [Texas]; A study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Research**, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

FRIEDMAN, Gerald M. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. **Journal of Sedimentary Research**, v. 37, n. 2, p. 327-354, 1967.

GORINI M.A.; BRYAN G.M. A semi-isolated basin off the northeast brazilian margin. **Amer. Geoph. Union Trans.**, 55:278, 1974.

GORNITZ V.; DANIELS R. WHITE T.; BIRDWELL K. The Development of Coastal Risk Assesment Database: Vulnerability to Sean-Level In The U.S. Southeast. **Journal of Coastal Research**, Special Issue 12, 327-338, 1994.

GORNITZ, V. **Global Coastal Hazards From Future Sea Level Rise**. 89, 379-398, 1991.

GORNITZ, V.; WHITE, T. **A Coastal Hazards Database for the U.S. East Coast**, ORNL/CDIAC- 45, NPD-43A, Oak Ridge. Tenesse: Oask Ridge National Laboratoty, 1992.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Decifrando a Terra**, 2013.

HESS, H., **Drowned Ancient Islands of the Pacific Basin**, 1946.

HIMMELSTOSS, E.A.; FARRIS, A.S.; HENDERSON, R.E.; KRATZMANN, M.G.; ERGUL, AYHAN, ZHANG, OUYA, ZICHICHI, J.L.; THIELER, E.R., 2018, **Digital Shoreline Analysis System** (version 5.0): U.S. Geological Survey software release. Disponível em: <<https://code.usgs.gov/cch/dsas>>.

HUISMAN, O.; DE BY, R. A. Principles of Geographic Information Systems. **ITC**

Educational Textbook Series, 1, 17, 2009.

KOMAR, P. D. **Handbook of Coastal Processes and Erosion**. CRC Press, Incorporated, 1983.

LORING, G. H.; RANTALA, R. T. T. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. **Earth Sei. Rew.**; 32: 235 – 283p. 1992.

MARTINS, L. R. Recent sediments and grain-size analysis. **Gravel**, v. 1, p. 90-105, 2003.

MAZZER, Alexandre Maimoni. **Proposta metodológica para análise de vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira**: aplicação em praias arenosas da costa sudeste da Ilha Santa Catarina (Florianópolis, Santa Catarina-Brasil). Tese de Doutorado, 2007.

MENEZES, A. F.; PEREIRA, P. D. S.; GONÇALVES, R. M.; ARAÚJO, T. C. M. D.; SOUSA, P. H. G. D. O. **Análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de Piedade e Paiva (PE)**, Brasil. 2018

MENEZES, Athos Farias. **Análise da vulnerabilidade à erosão costeira no estado de Pernambuco através de indicadores ambientais e antrópicos**. 2016.

NIKI E.; ANNA K.; MILTIADIS P.; VASILIS K. **Coastal Erosion**, New York: Cambridge University Press 2013.

OFFICE OF THE UNITED NATIONS DISASTER RELIEF COORDINATOR (UNDRO). **Natural Disasters and Vulnerability Analysis**, Report of Expert Group Meeting, 1979.

OLIVEIRA, M. R. L. D.; NICOLODI, J. L. A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla: Uma análise sob a ótica do poder público. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, 12(1), 89-98, 2012.

SALIM, D.H.C. **Combinação da fotogrametria com drone e modelagem da irradiação para propor cenários de transição fotovoltaica para a Ilha de Fernando de Noronha (PE, Brasil)**. Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. 2021.

SHORT, A. D.; WRIGHT, L. D. Physical variability of sandy beaches. In: **Sandy beaches as ecosystems**. Springer, Dordrecht. p. 133-144. 1983.

SHORT, A.D. Holocene coastal dune formation in southern Australia: A case study. **Sedimentary Geology**, Volume 55, Issues 1–2, Pages 121-142, 1988.

SOUSA, Paulo H. G. O.; SIEGLE, Eduardo; TESSLER, Moysés Gonzalez. Vulnerability Assessment of Massaguaçu Beach (SE Brazil). **Ocean & Coastal Management**, v. 77, p. 24-30, 2013.

SUGUIO, Kenitiro. Tópicos de Geociências para o Desenvolvimento Sustentável: As Regiões Litorâneas. **Geologia USP. Série Didática**, v. 2, p. 1-40, 2003.

TAGLIANI, Carlos Roney Armanini. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. 2003.

THIELER E.R., 2018, **Digital Shoreline Analysis System** (version 5.0): U.S. Geological Survey software release. Disponível em: <<https://code.usgs.gov/cch/dsas>>.

TRAVASSOS, Paulo; HAZIN, Fábio; ZAGAGLIA, J.R.; ADVÍNCULA, R.; SCHOBBER, J. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. **Archive**

of Fishery and Marine Research. 47. 211-222, 1999.

VALDIR DO AMARAL, V. M.; DE ALBUQUERQUE MENOR, E.; VALENÇA, L. M. M.; DE ML NEUMANN V. H.; PEREIRA, N. S.; DE AS JUNIOR, C. F.; SILVA, E. R. M. **Morfodinâmica de Praias Setentrionais da Ilha de Fernando do Noronha**, 2011. WILDNER, Wilson; FERREIRA, Rogério Valença. Geoparque Fernando de Noronha (PE): proposta. In: SCHOBENHAUS, Carlos; SILVA, Cassio Roberto da (Org.). **Geoparques do Brasil: propostas.** Rio de Janeiro: CPRM, 2012. Cap. 10.