



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Estudo Sedimentológico e Geoindicadores Morfológicos das Praias Arenosas do Arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco, Brasil

Roberto Lúcio Belo de Souza Junior¹, Maria das Neves Gregório², Marcia Cristina de Souza Matos Carneiro³

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

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. E-mail: nevesgregorio@hotmail.com ORCID: 0000-0003-2981-6719.

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

Article recebido em 05/12/2023 e aceito em 01/06/2024

ABSTRACT

Studies related to sedimentology relating granulometry, morphoscopy and carbonate levels in beach environments were carried out on five beaches on the main island of the Fernando de Noronha Archipelago: Praia da Conceição, Praia do Boldró, Bode, Quixambinha and Cacimba do Padre in October 2021 samples were collected from the beachfront and post-beach environments. This region tends to NE-SW characterized by the occurrence of sandy beaches with variable length separated by rocky cliffs and promontories. These rocks are spilled from ankarcitic lavas of the Quixaba Formation. The studied region has environments of sandy beaches with textural characteristics, specific granulometry and varied carbonate contents. The beaches found a smooth slope and the presence of water left by the occurrence of high tide and presented fine sediments, present in the foreshore. Vegetation in the almost non-existent beach environment and a reduced or absent post-beach. Based on the average diameter of the grains collected on each beach, these showed a predominance of fine sand, carbonate levels above 50% and varied morphology.

Keywords: Beach sedimentology, coastal vulnerability, shoreline evolution, aerial survey, GNSS, UA.

Estudo Sedimentológico e Geoindicadores Morfológicos das Praias Arenosas do Arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco, Brasil

RESUMO

Estudos referentes a sedimentologia relacionando granulometria, teores de carbonatos nos ambientes de praia foram realizados em cinco praias da ilha principal do Arquipélago de Fernando de Noronha: Praia da Conceição, Praia do Boldró, Bode, Quixambinha e Cacimba do Padre em outubro de 2021. Foram coletadas amostras nos ambientes de face de praia e pós-praia. Essa região tende para NE-SW caracterizando-se pela ocorrência de praias arenosas com extensão variável sendo separados por falésias de rochas e promontórios. Estas rochas são derrames de lavas ankaríticas da Formação Quixaba. A região estudada possui ambientes de praias arenosas com características texturais, granulométricas específicas e teores de carbonatos variados. As praias mostraram uma declividade suave e a presença de águas deixadas pela ocorrência da maré alta e apresentaram sedimentos finos, presentes no estirâncio. A vegetação no ambiente praiar quase inexistente e uma pós-praia reduzida ou ausente. Com base no diâmetro médio dos grãos coletados em cada praia estes apresentaram uma predominância de areia fina, teores de carbonatos acima de 50% e morfoscopia variada.

Palavras-chave: Sedimentologia de praias, vulnerabilidade costeira, evolução da linha de costa, levantamento aéreo, GNSS, UA.

Introdução

Com uma dimensão territorial de 18,609 km², o arquipélago de Fernando de Noronha ganhou popularidade em virtude de sua biodiversidade, registrada por Charles Darwin em suas visitas, ao ano de 1832. Atualmente, o território figura como Sítio do Patrimônio Mundial Natural, protegido pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura desde 16 de dezembro do ano de 2001. A principal

atividade econômica da região é o turismo, seguido do ramo de serviço, que juntos oferecem sustento a mais de 60% dos 3.167 habitantes locais (IBGE, 2022).

A Ilha principal do Arquipélago de Fernando de Noronha, que leva o seu homônimo, distrito do Estado de Pernambuco, está situada no nordeste do Brasil, especificamente no Oceano Atlântico Sul Equatorial e está sob efeitos erosivos

e deposicionais devido ao padrão natural da dinâmica costeira, oscilação do nível do mar, alteração no regime das ondas, marés e a interferência humana sobre a dinâmica costeira, sendo um dos destinos de maior fluxo turístico brasileiro.

A costa do arquipélago é formada de franjas de abrasão marinha, que resultam em falésias, calhaus retrabalhados e praias estreitas de seixos e estruturas de difícil acessibilidade. No entanto, aproximadamente um terço da área litorânea é formada de praias de cobertura arenosa, formadas por fenômenos bioclásticos. Essas regiões em que a cobertura de areia predomina são abundantes na costa setentrional das ilhas, configurando áreas propícias à atividade turística.

A bela paisagem local é esculpida pela denudação sazonal das areias, o que pode vir a expor as formações rochosas. As praias arenosas estudadas estão localizadas na costa norte da Ilha (mar de dentro) e constituem entre si um arco praial contínuo de três mil metros de extensão. São elas: Praia da Conceição, Praia do Boldró, Praia do Bode, Praia da Quixambinha e Praia da Cacimba do Padre (Figura 01) estão sobre as rochas pertencentes a Formação Remédios que são litologias erosionadas e recobertas por derrames de lavas ankaraníticas e piroclastos da Formação Quixaba, segundo os autores: Wildner e Ferreira (2012), Moreira, J. C. e Silva-Júnior (2013), e Vale et al. (2021).

As praias são geralmente arenosas, podendo ser constituídas por sedimentos mais grossos ou mais finos, conforme a atuação de agentes dinâmicos de seleção e disponibilidade de área de fonte próxima (Oliveira et al., 2012).

Mohammad et al. (2020) afirmam que a extensão e características morfossedimentares das praias arenosas, dependem da variação da maré, altura de onda, período de onda, tamanho do grão. Para da Câmara et al. (2023), a evolução da zona costeira corresponde a uma importante informação a ser utilizada no planejamento da gestão costeira e ambiental.

Para os mesmos autores, as alterações de praias arenosas correspondem a uma ferramenta importante, como as modificações em sua morfologia, bem como, a compreensão das características dos sedimentos e que essas são um conjunto da estatística descritiva, como, média, desvio padrão, assimetria e curtose. A compreensão sobre as características granulométricas permitem detectar o nível energético do ambiente. Assim, o estudo realizado por Lima et al. (2018) através das características dos grãos como média, seleção, assimetria e curtose permitiram concluir através da análise

granulométrica que os sedimentos não apresentaram grande variação de energia no ambiente da face da praia e da região da pós praia, entre os períodos seco e chuvoso para o período analisado nas praias do Recife e Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco.

O processo de erosão sazonal observado nos ambientes de praia e pós-praia indicam que o agente de transporte de sedimentos através da costa é de importância semelhante ou maior ao transporte litorâneo. Assim, a troca de material sedimentar com o talude insular é um fator secundário. Como agravante do processo natural de erosão sazonal das praias devido à ação das ondas, sem garantir o equilíbrio sedimentar, a falta de alternativas para o fornecimento de areia quartzozas na construção civil, além das dispendiosas importações do continente, tem levado a um processo ilegal de remoção de areia costeira por residentes locais (Manso et al, 2011).

As praias arenosas, especialmente aquelas localizadas em ilhas oceânicas, enfrentam desafios significativos de erosão costeira. No Arquipélago de Fernando de Noronha (PE), as praias da costa setentrional (mar de dentro) sofrem processos erosivos sazonais. Algumas delas até experimentam a erosão total de suas areias, expondo os substratos rochosos. No entanto, após esses episódios de erosão, ocorrem períodos de deposição sedimentar, durante os quais os perfis praias são restaurados (AMBROSIO, 2023).

A dinâmica dos sedimentos destas praias está intimamente relacionada com o clima de ondas. De outubro a abril, as habituais ondas do norte alteram significativamente a morfodinâmica da costa. Esses eventos aumentam a intensidade das ondas que chegam à costa e a possibilidade de movimentação de sedimentos em plataformas maiores e mais profundas. A elevação do nível médio da água próximo à costa causada pelas ondas cria um gradiente de pressão barotrópico, que intensifica as correntes e o transporte de sedimentos, principalmente em direção à plataforma insular.

Em outras regiões do Brasil, a erosão costeira também afeta praias arenosas, diminuindo a faixa de areia e expondo rochas sob a praia. É um desafio ambiental que requer atenção e medidas de proteção para preservar esses valiosos ambientes costeiros.

Investigações sobre processos morfodinâmicos foram realizadas em praias da costa setentrional da Ilha de Fernando de Noronha, visando averiguar variações nos perfis praias ao longo do tempo e distinguir os setores mais vulneráveis aos agentes que promovem mobilidades praias. No período de agosto de 2000

a abril de 2001, a análise qualitativa desses perfis revelou uma tendência erosiva com perda significativa de material sedimentar na maioria das praias. As praias apresentaram diferentes coeficientes de variação do volume sedimentar, atribuídos às particularidades geomorfológicas de cada setor, que influenciam a atuação dos agentes hidrodinâmicos locais. Os envelopes praias são predominantemente bioclásticos, com granulometria de areia e assimetria muito negativa. Os resultados indicam uma possível transferência de material detrítico praias de nordeste para sudeste, sugerindo uma irreversível perda parcial desse material por dispersão na plataforma (Manso et al., 2011). Portanto, compreender a morfodinâmica e o balanço sedimentar nessa região é crucial para a gestão costeira e a preservação desses ambientes naturais.

Destaca-se a importância das praias arenosas em termos ambientais e socioeconômicos, especialmente considerando os processos erosivos naturais e antrópicos. No caso específico do Arquipélago de Fernando de Noronha, investigações sobre a morfodinâmica e o balanço sedimentar nas praias da costa setentrional são cruciais para entender as variações ao longo do tempo e identificar os setores mais vulneráveis aos agentes que afetam a mobilidade praias.

A compreensão desses processos é essencial para a gestão costeira e a tomada de decisões relacionadas à conservação e uso sustentável das praias em Fernando de Noronha. Além disso, considerar as intervenções humanas no sistema praias é fundamental para mitigar impactos negativos e promover a preservação desse ambiente natural único.

A presente pesquisa se destinou ao estudo da sedimentologia das praias arenosas do Arquipélago de Fernando de Noronha na face média da praias e região da pós praias. Para tanto, observou-se os aspectos granulométricos, composição, transporte e morfoscópicos das amostras coletadas de cinco diferentes praias arenosas do arquipélago, com a finalidade de classificar os sedimentos e compreender os

fenômenos deposicionais das praias, Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha e Cacimba do Padre.

Dessa forma temos como pressuposto que o balanço de sedimentos na parte norte do Arquipélago de Fernando de Noronha é amplamente controlado pelo transporte de sedimentos ocasionado pelas ondas, tanto ao longo da costa do mar de dentro quanto para a costa, claramente sazonalmente dependendo do vento e das ondas predominantes na área.

Material e métodos

A área de estudo corresponde a faixa litorânea setentrional da ilha principal que leva seu nome arquipélago de Fernando Noronha (Figura 01) 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, ocupando 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 e 710 quilômetros de Fortaleza-CE (CPRM, 2019). The research was conducted in Dourados, located in Mato Grosso do Sul, Brazil, at coordinates 22°13'18.54" S and 54°48'23.09" W, with an average altitude of 464 m (Figure 1). The climate in this region is classified according to Köppen-Geiger as type Am, characterized by a monsoon climate with dry winters and hot summers. The average annual precipitation is 1500 mm, and the average temperature is 22°C (Alvares et al., 2013). The experimental site was situated at the College of Agricultural Sciences (FCA), Federal University of Grande Dourados (UFGD). The dominant soil type in this area is Red Latosol, which comprises 95.75% of the regional soil composition (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2019).

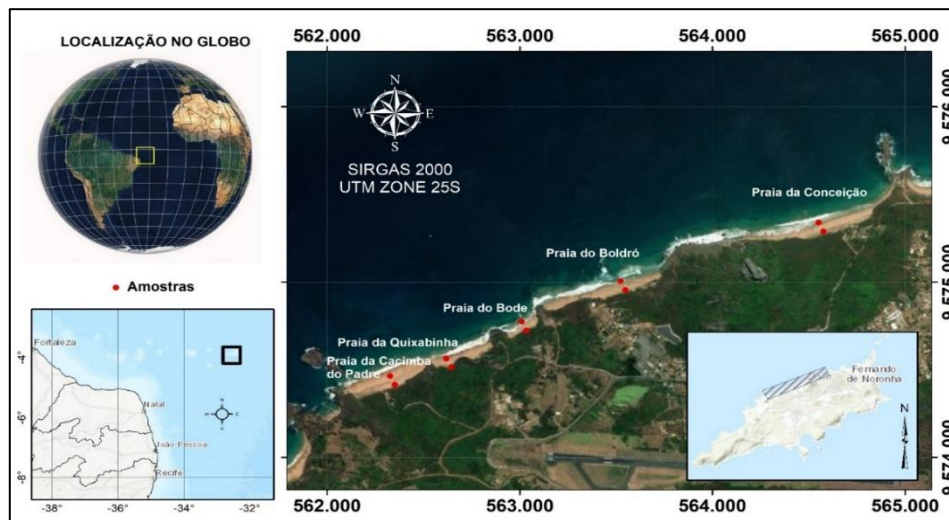


Figura 1. Mapa de localização da Ilha de Fernando de Noronha e localização da área de estudo. Fonte: Base cartográfica: IBGE 2005, SUDENE 2010) adaptada pelo autor.

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

A geologia 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 ankaramíticas e piroclastos da Formação Quixaba.

Outras rochas descritas pelos autores supracitados listam-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).

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. A temperatura tem pouca variação, apresentando uma média de 28°C .

A área do Arquipélago de Fernando de Noronha sofre ação da Corrente Sul Equatorial, que exerce uma influência na distribuição de isotermas 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.

Foram realizadas coletas de 5 amostras de sedimentos na face média da praia e 5 amostras de sedimentos (Figura 02) no ambiente pós-praia em outubro de 2021, durante a maré baixa de sizígia, tendo como sistema referência SIRGAS 2000 de projeção UTM (Fuso 25S) para a identificação dos pontos geoespacializados. Os sedimentos foram trabalhados no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM - UFPE). Foi utilizada a metodologia segundo Suguio (1973). Sendo assim, foram armazenadas 100g de cada amostra, pesado em balança de precisão (Figura 03) e realizado o peneiramento úmido (Figura 03). Para a separação da fração lamosa e a eliminação de sais solúveis, utilizou-se as peneiras de 2,0 e 0,62 mm de abertura, e o peneiramento seco utilizando-se o intervalo de peneiras de 1ϕ , para o tratamento posterior dos dados. Os sedimentos foram classificados segundo Folk e Ward (1957), e utilizado os parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, assimetria e curtose), e analisados segundo o Software SYSGRAM (Camargo, 1999). O teor de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) foi realizado através do método descrito por Loring e Rantala (1992), o qual consiste na dissolução do CaCO_3 por ácido clorídrico (HCl) e determinado pela diferença de peso entre o total da alíquota utilizada (10g de sedimentos) e o valor do peso de grãos final.

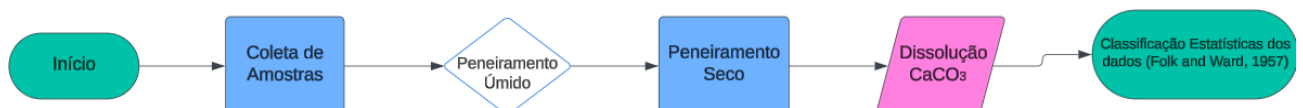


Figura 2- Fluxograma da metodologia de análise da granulometria dos sedimentos coletados na face de praia e pós-praia.

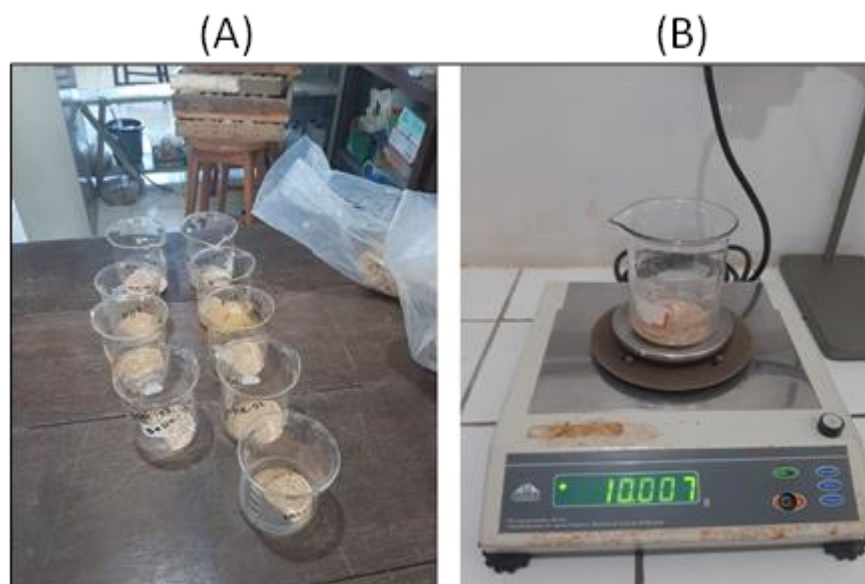


Figura 3 – Preparação de amostras: Separação das amostras (A); Pesagem de cada amostra (B).

A praia da Conceição (Figura 04a) 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 matacões a sudoeste. A largura do ambiente pós-praia medido da Praia da Conceição teve medições entre 2,80 e 41 metros.

A praia do Boldró (Figura 04b) localiza-se 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 longitudinal de aproximadamente 600 metros com a direção nordeste-sudoeste e uma largura do pós-praia de que varia entre 3 e 15 metros. Está delimitada por dois promontórios rochosos (rochas de basalto) a oeste e matacões de rochas basálticas a leste, em direção à Praia da Conceição. A Praia do Bode (Figura 04c) 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. Seu ambiente pós-praia tem entre 1 metro e 17 metros.

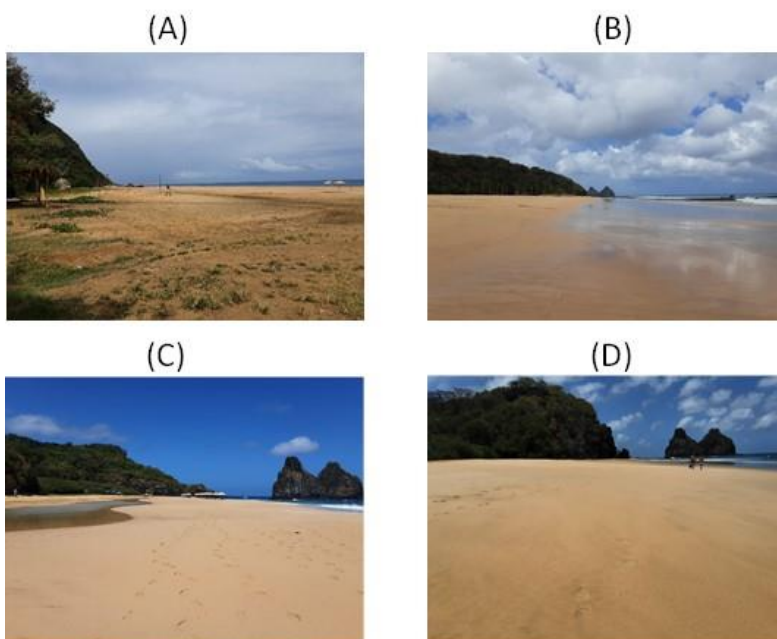


Figura 4 – Praia da Conceição (A); Praia do Boldró (B); Praia da Quixambinha (C); Praia da Cacimba do Padre (D).

A Praia da Quixambinha (Figura 04d) possui uma extensão aproximada de 140 metros na direção SW-NE, sendo o prolongamento da praia do Bode. Seus limites são as rochas da Formação Quixaba à Oeste e a Leste a praia do Bode. A largura do ambiente pós-praia da Praia da Quixambinha é menor que 4 metros.

A praia da Cacimba do Padre (Figura 04e) 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

Resultados e discussão

Os dados de distribuição estatística das classes granulométricas gerados foram exibidos em formato na tabela 01 e nas figuras 7 e 8. Os parâmetros estatísticos calculados foram: média, desvio-padrão, assimetria e curtose.

Diâmetro Médio dos Grãos

Os gráficos com distribuição dos tamanhos dos grãos estão na figura 7, ambiente de face de praia ou estirâncio e na figura 8 ambiente de pós-praia. O tamanho médio dos grãos na face de praia variou de areia grossa à fina. Os grãos dos ambientes de face

de praia: FN-01 (Praia da Conceição), FN-03 (Praia do Boldró), FN-05 (Praia do Bode), FN-07 (Quixambinha), e FN-09 (Praia Cacimba do Padre), uma predominância de areia fina (Figura 05).

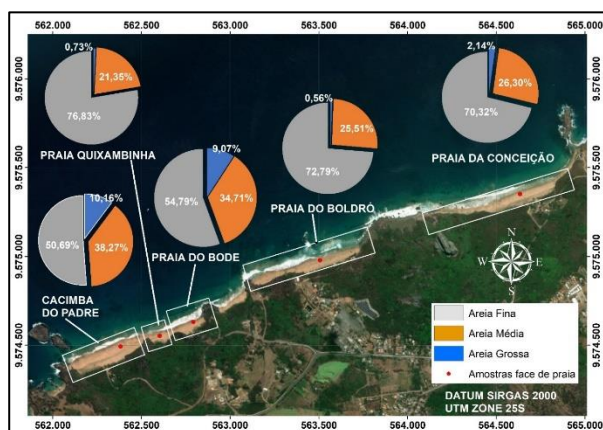


Figure 5 - Mapa de localização das amostras coletadas e da granulometria média dos sedimentos de face de praia.

Foi observado um percentual de areia fina entre 50% a 76% de areia fina (Figura 05), a maior frequência foi encontrada nas amostras da praia Quixambinha, com um percentual de 76,83%, praia do Boldró e na praia da Conceição em torno de 70%. A distribuição em relação ao tamanho do grão não seguiu um padrão de distribuição na área

das Ilhas Dois Irmãos e a leste limita-se com a praia da Quixambinha. A largura de pós-praia da Praia da Cacimba do Padre medida foi menor que 15 metros.

A declividade na face de praia de todas as praias estudadas apresentou valores entre 9 e 10 graus, sendo avaliada como suavemente inclinada para off-shore. Na Praia do Bode a largura pós-praia é menor que 18 metros. Em todas as praias estudadas foram observadas marcas da presença de água deixadas pela maré alta.

de estudo, sendo observado tanto ao norte como ao sul dela. O tamanho dos grãos dos sedimentos da face da praia foi classificado entre os valores de 1 a 5 Phi (Φ) com uma maior concentração entre os valores de 1 a 3 Phi (Φ).

Na região da pós-praia, referentes aos grãos das amostras FN-02 (Conceição), FN-04 (Boldró), FN-06 (Bode), FN-08 (Quixambinha) e FN-10 (Cacimba do Padre) apresentaram presença marcante de areia grossa e areia média (Figura 06).

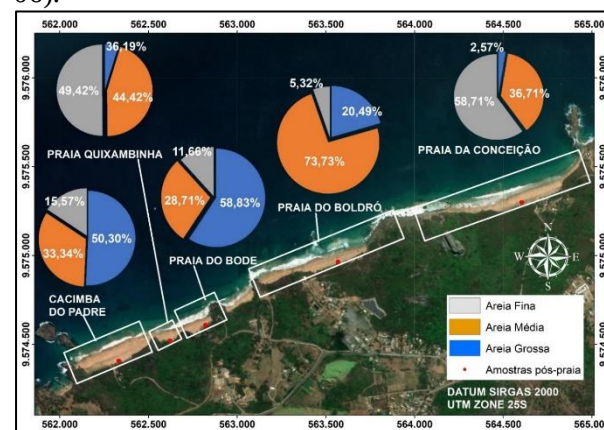


Figura 6 - Mapa da granulometria média dos sedimentos de pós - praia coletados na área de estudo.

Os grãos possuem um intervalo phi ($1 < \phi < 2$, areia média) entre 28% e 73%, entretanto a amostra FN-06 da Praia do Bode possui sedimentos grossos com o valor de Phi (Φ). abaixo de 1. Em relação a distribuição do tamanho dos grãos (Figura 08) das amostras os valores observados se encontram entre 1 e 5 (Φ). (Phi), com uma maior concentração dos valores entre 1 e 2 Phi (Φ).

Grau de seleção

A seleção ou grau de seleção é uma das medidas de dispersão da amostra, ou seja, o desvio padrão (σ) de cada distribuição. Grãos bem selecionados indicam sedimentos com uma

pequena dispersão dos seus tamanhos em torno da tendência central (tamanho médio). Quanto a assimetria as curvas de distribuição de granulometria dos sedimentos coletados variaram de assimetria negativa a muito positiva. Quando o valor (ϕ) de maior frequência estiver mais para a esquerda da média de tamanho dos grãos a assimetria é positiva e a curva é mais acentuada para a esquerda (grãos mais grossos). Entretanto, quando o valor (ϕ) de maior frequência se localiza mais para a direita do gráfico a assimetria é negativa e a curva é mais acentuada para a direita (grãos mais finos) Todas as amostras coletadas na face de praia: FN-01 (Praia da Conceição), FN-03 (Praia do Boldró), FN-05 (Praia do Bode), FN-07 (Quixambinha), e FN-09 (Praia Cacimba do Padre) apresentaram assimetria negativa (Tabela 01 e Figura 09). Na região da pós-praia, a praia Conceição (FN-02) e Boldró (FN-04) foram caracterizados como assimetria negativa (Tabela 01 e Figura 09). Porém as curvas de distribuição dos grãos das praias Quixambinha (FN-08) e da Cacimba do Padre (FN-10) apresentaram classificação simétrica (Figura 07). Duas amostras no ambiente da pós-praia apresentaram uma distribuição nos sedimentos como assimetria muito positiva, na praia do Bode (FN-06) e na praia da Cacimba do Padre (1 Tabela 01 e Figura 09).

Assimetria

Tabela 1: Características dos sedimentos coletados na face de praia e ambiente pós-praia em outubro/2021.

PRAIA	CÓD.	AMBIENTE	CLASSIFICAÇÃO	SELEÇÃO	ASSIMETRIA	CURTOS
CONCEIÇÃO	FN-01	Face de praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Mesocúrtica
CONCEIÇÃO	FN-02	Pós-praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Platicúrtica
BOLDRÓ	FN-03	Face de praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Mesocúrtica
BOLDRÓ	FN-04	Pós-praia	Areia média	Mod. Selecionado	Negativa	Leptocúrtica
BODE	FN-05	Face de praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Mesocúrtica
BODE	FN-06	Pós-praia	Areia grossa	Bem Selecionado	Muito positiva	Leptocúrtica
QUIXAMBINHA	FN-07	Face de praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Mesocúrtica
QUIXAMBINHA	FN-08	Pós-praia	Areia média	Mod. Selecionado	Aprox. simétrica	Platicúrtica
CACIMBA	FN-09	Face de praia	Areia fina	Mod. Selecionado	Negativa	Mesocúrtica
CACIMBA	FN-10	Pós-praia	Areia média	Bem selecionado	Muito positiva	Leptocúrtica

As amostras variaram de grãos moderadamente selecionados a bem selecionados o que é ocasionado pela variação do agente de transporte. Foi observado nos resultados, que todas as amostras da face da praia predominaram de grãos moderadamente selecionados (Tabela 01). Foram classificados como grãos bem selecionados as amostras do ambiente de pós-praia das Praias: da Conceição (FN-02), Boldró (FN-04), Praia da Quixambinha (FN-08) e as amostras do estirâncio FN-01 (Praia da Conceição), FN-03 (Praia do Bode) e Quixambinha (FN-07).

Já as amostras tanto do estirâncio como do ambiente pós-praia das Praias do Bode (FN-05 e FN-06) e Cacimba do Padre (FN-09 e FN-10) foram classificadas como moderadamente selecionadas. Foram classificados como grãos bem selecionados as amostras do ambiente de pós-praia das Praias: da Conceição (FN-02), Boldró (FN-04), Praia da Quixambinha (FN-08) e as amostras do estirâncio FN-01 (Praia da Conceição), FN-03 (Praia do Bode) e Quixambinha (FN-07). As amostras tanto do estirâncio como do ambiente pós-praia das Praias do Bode (FN-05 e FN-06) e Cacimba do Padre (FN-09 e FN-10) foram classificadas como moderadamente selecionadas.

Curtose

A curtose indica o grau de concentração dos valores de distribuição em relação a uma curva normal. Curvas de frequência mais achatadas, chamadas de platicúrticas traduz um conjunto de sedimentos de várias classes de granulometria. Através desse indicador, pode-se verificar se há uma alta concentração de grãos de determinada classe granulométrica (Leptocúrtica), uma concentração normal (Mesocúrtica) ou uma baixa concentração (Platicúrtica). Na face média da praia (em todos os locais estudados nesse ambiente) foi

observada uma predominância de valores mesocúrticos (Tabela 01). Os grãos dos sedimentos coletados na pós-praia da praia da Conceição (FN- 02), Boldró (FN-04), Bode (FN-06) e Quixambinha (FN-08), praia da Cacimba do Padre (FN-10) apresentaram uma variação de 50% platicúrtica e 50% leptocúrtica. Não sendo constatado a presença de grãos mesocúrticos. Isso se deve a ação do agente de transporte do sedimento que promove uma boa seleção.

Teores de carbonato de cálcio

O teor de carbonato (Figura 10) na face de praia apresentou na Praia da Quixambinha, 92,23% (FN-07), sendo o maior valor observado nesse ambiente e as demais amostras apresentaram um teor de carbonato em torno de 60% e 50%, na Cacimba do Padre foi de 65,31% (FN-09); Praia da Conceição, 65% (FN-01); 60% face de Praia do Boldró (FN-04) e a Praia do Bode com 50,29% (FN-05) apresentando o menor valor para todas as praias observadas. O maior valor do teor de carbonato (Figura 10), de 94% foi observado na pós-praia da Praia do Boldró (FN-03); seguido de 92,64% na pós-praia da Praia do Bode (FN-06); 92,64%, Cacimba do Padre (FN-10); 90,20% na Praia Quixambinha (FN-08) e na pós praia da Praia da Conceição 65% (FN-02).

Os grãos siliciclásticos são formados em sua maioria por grãos de quartzo leitosos, alguns grãos de quartzo hialino. Esses grãos se apresentam com manchas de óxido e hidróxido de ferro. Foi verificado a presença de minerais pesados opacos, provavelmente óxidos e hidróxidos de ferro e fragmentos de rochas. Os grãos apresentaram uma variação de subarrendados a angulosos, predominando grãos angulosos e um grau de esfericidade moderada.

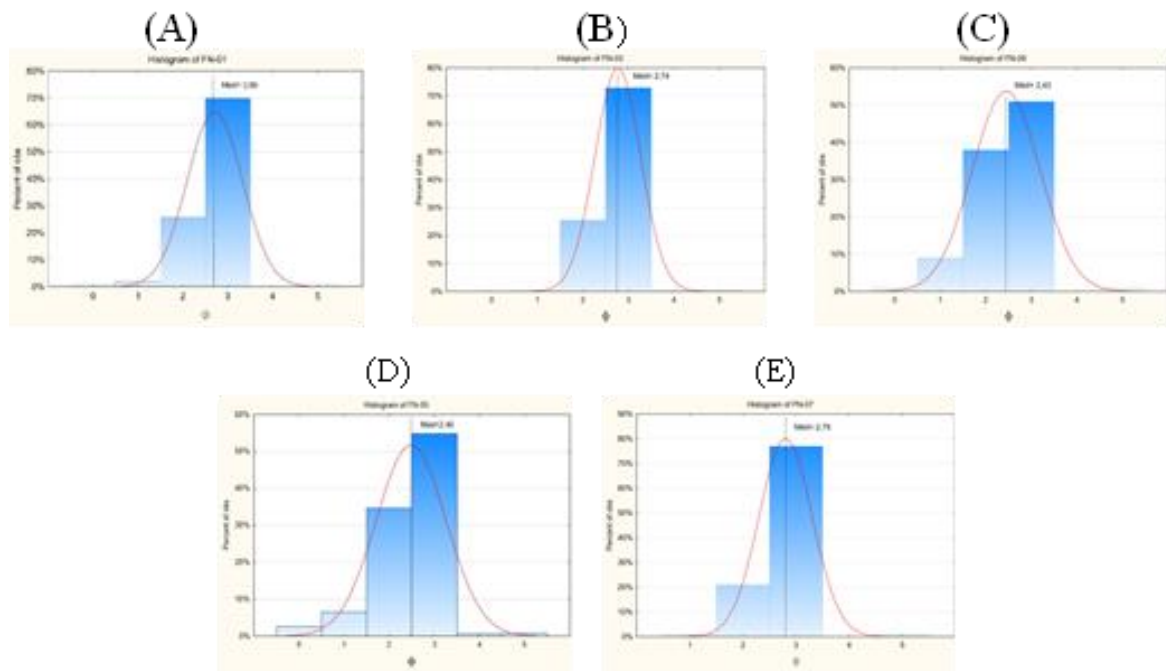


Figura 7. Distribuição da frequência do tamanho médio dos grãos da face de praia. FN 01 (A); FN-03 (B); FN-05 (C); FN-07 (D); FN-09 (E).

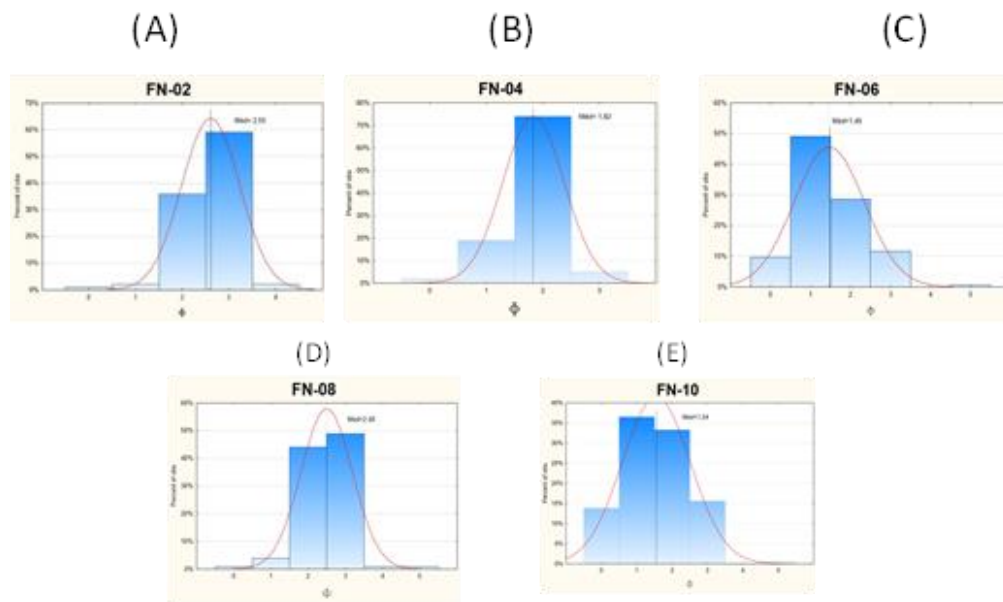


Figura 8. Distribuição da frequência do tamanho médio dos grãos da face de praia. FN 02 (A); FN-04 (B); FN-06 (C); FN-08 (D); FN-10 (E).

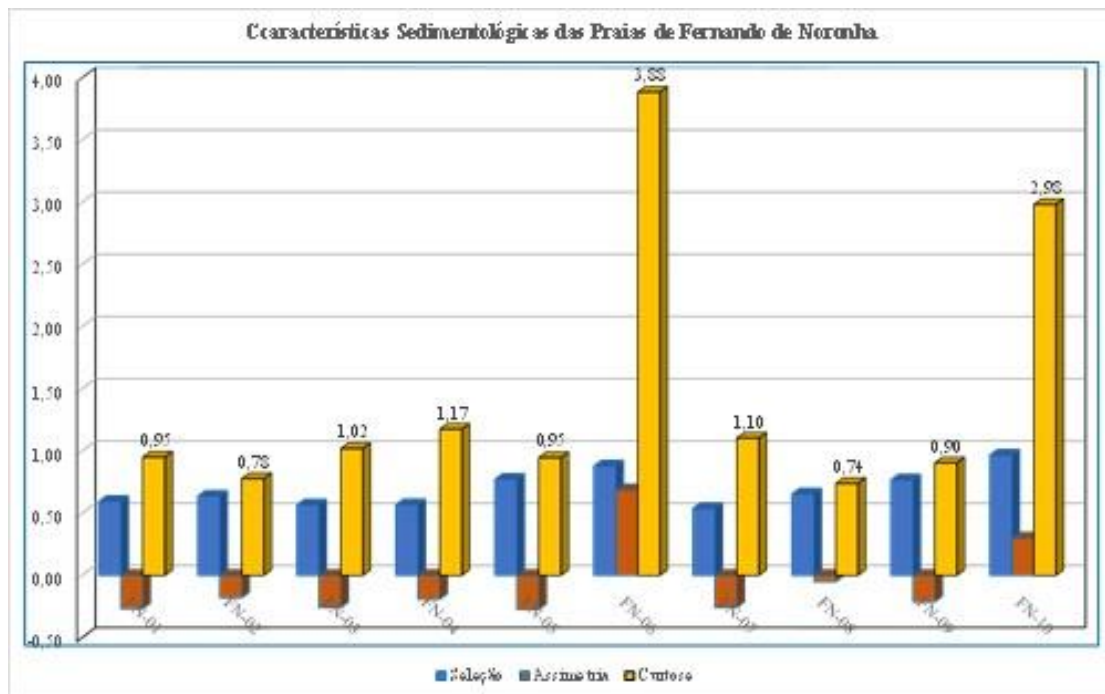


Figura 09. Distribuição dos valores do grau de seleção, assimetria e curtose da face da praia e da pós praia da ilha de Fernando de Noronha..

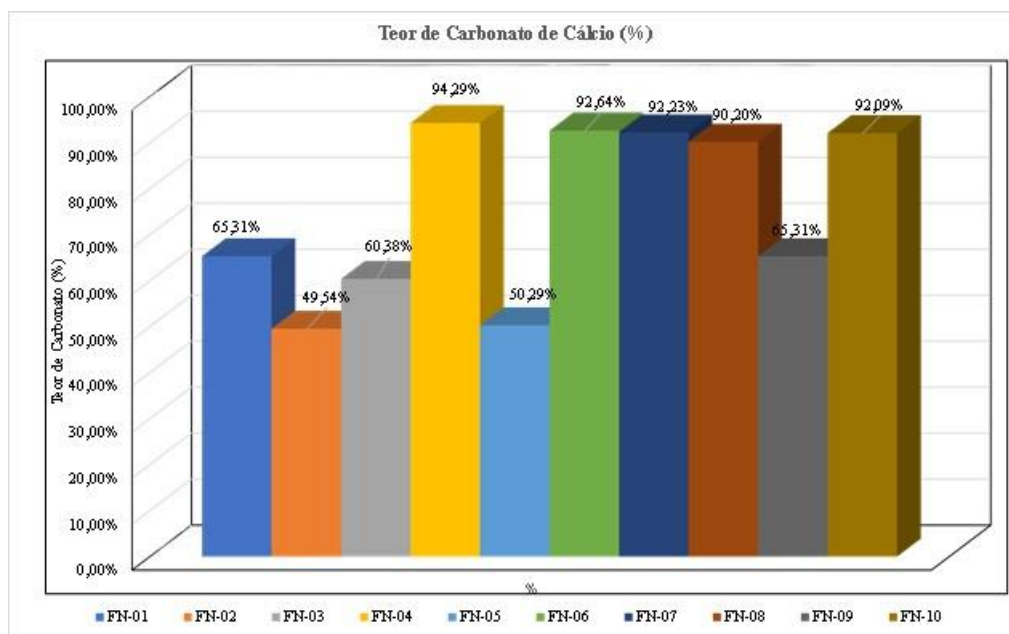


Figura 10 - Teor de carbonato de Cálcio (CaCO_3) presentes nas amostras das praias da ilha Fernando de Noronha.

Transporte dos sedimentos

Em relação ao transporte, a curva acumulada dos sedimentos mostra o tipo de transporte que ocorreram nos deslocamentos dos grãos. Foi observado que a forma de transporte foi constante para todas as amostras coletadas (Figura 11), que está relacionado com o tamanho dos grãos classificados nos sedimentos coletados para o período analisado. Sendo esses classificados em

sua maioria como areia média ou fina, sendo o transporte predominante mesmos por suspensão na face da praia, e por saltação na região da pós praia, que correspondem a classificação aos tamanhos de -1Φ a 5Φ , compreendendo a variação de areia média à areia fina. Sendo observado apenas uma amostra (FN-02) com a presença de areia grossa na região da pós praia (Tabela 01). Sendo o valor zero

para a maioria das amostras analisadas entre o intervalo de -4 a 0,0 Phi (Figura 11).

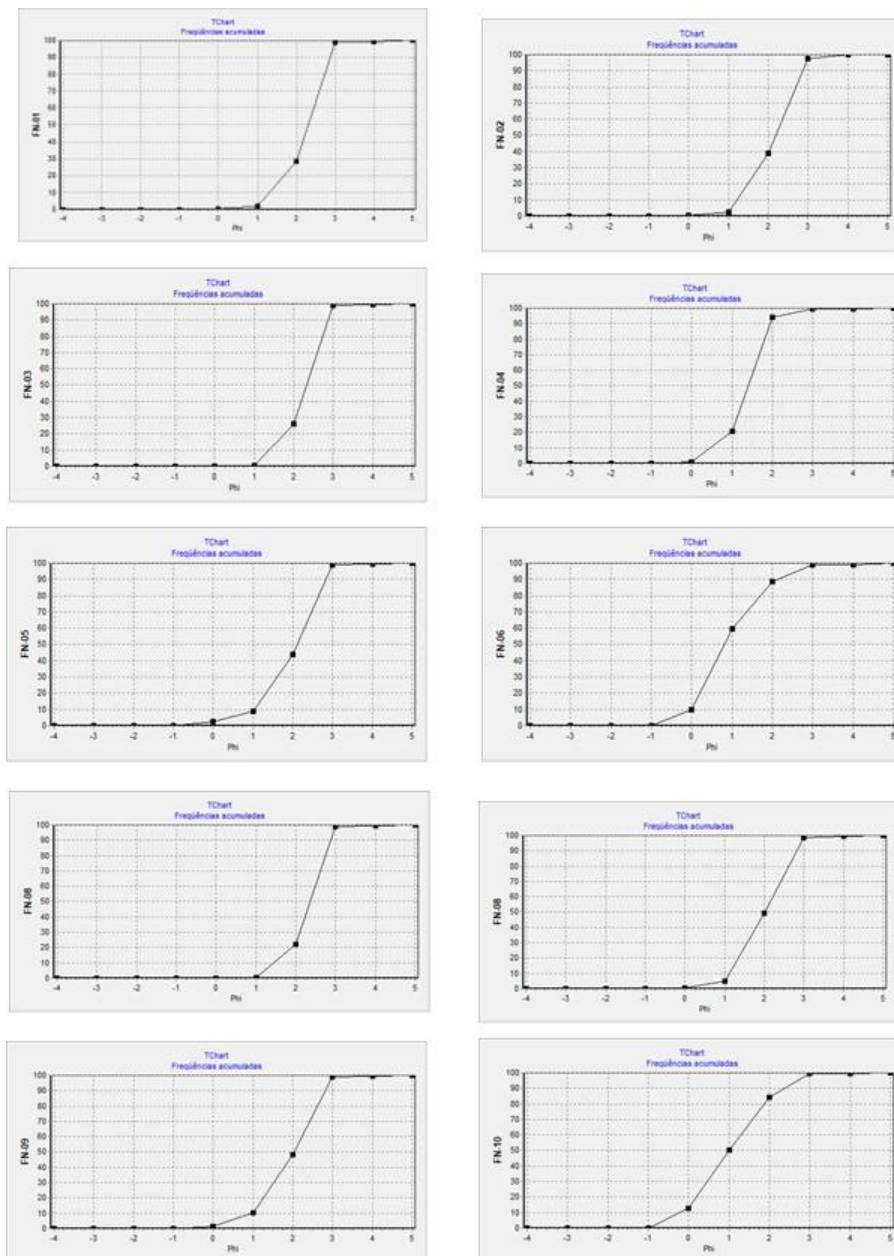


Figura 11 -Transporte dos sedimentos da areia fina (suspensão), na face da praia, e areia média (saltação) na região da pós praia nas praias da ilha de Fernando de Noronha. Fonte: o autor.

Em praias com declives acentuados (convexos) como é o caso das praias estudadas, as ondas quebram com mais força, o que pode resultar em um maior transporte de sedimentos para fora do ambiente praiar. Dupont (2024) em sua modelagem morfodinâmica afirma que em uma praia com declives acentuados o banco de sedimentos e a rebentação das ondas estão mais próximas da costa.

O Kuai et al. (2023) afirmam encontrar uma relação espacial entre a variação da inclinação da praia ao longo da costa e o padrão de tamanho de grãos de sedimentos. Através da análise, descobriram que o padrão do aumento do tamanho

dos grãos é inconsistente com o padrão de evolução da linha costeira. Isso pode ser explicado pelas diferentes proveniências dos sedimentos. Ou seja, no presente estudo os grãos analisados pode ter origem também na plataforma insular.

A morfoscopia, entretanto, com a textura superficial dos grãos com fraturas e marcas de impacto por fluxo de correntes e uma transparência fraca indicam ambientes de energia mais altos. Sobre o grau de arredondamento de subarredondados a subangulosos podem evidenciar uma proximidade da origem desses sedimentos depositados.

A granulometria dos grãos coletados no estirâncio das Praias da Conceição, Boldró, Bode, Quixambinha e Praia da Cacimba do Padre apresentou uma predominância de areia fina, seguido de areia média. Nos ambientes de pós-praia de todas as praias estudadas apresentaram maiores percentuais de areia grossa. A quantidade em teores de silte e argila foram de pouca ocorrência, não apresentando valores relevantes. Diante desses resultados se observa que nos ambientes avaliados apresenta uma alta energia, devido não ter um valor significativo da presença de silte argila nas amostras coletadas. A presença de grãos médios e grossos revela que a energia de deposição desses sedimentos foi alta. A preponderância de sedimentos de granulação média e a ausência de areias grossas sugerem condições de deposição de moderada a alta energia (Ayodele, OS e Madukwe, HY (2019). Entretanto a presença de sedimentos finos mostra a perda de energia durante o refluxo das ondas após o pico energético de deposição dos sedimentos mais grossos.

Sousa (2022) e Varella (2022) mostraram que os sedimentos finos (fração silte) tendem a se acumular em ambientes de baixa energia de ondas, enquanto os sedimentos tamanhos fração areia tendem a se acumular em ambientes de alta energia. Entretanto no estirâncio das praias da Conceição, Boldró, Bode e Quixambinha se caracterizam por terem grãos de areia fina e areia média. Somente a praia da Cacimba do Padre apresentou granulometria média indicando uma energia mais alta do agente de deposição.

Já no ambiente de pós-praia os sedimentos foram classificados como de granulometria média os pertencentes as praias do Boldró, Quixambinha e Cacimba do Padre enquanto na praia do Bode areia grossa e na praia da Conceição areia fina. Segundo Pereira et al. (2013), Bovi et al. (2016), Mohammad e seus colaboradores (2020), os sedimentos praias variam de areia muito fina a média. Isso é explicado pela turbulência das águas causadas pelas ondas que peneiram os grãos mais finos e distorcem a curva de frequência para o lado negativo na distribuição nos valores da granulometria da areia média e grossa. A força do transporte ou da agitação dos sedimentos de diferentes tamanhos tende a separar os grãos dos sedimentos por seu tamanho. Guest e Hay (2019), Pitman et al. (2024) observaram que em praias com sedimentos mistos os grãos grossos tendem a serem depositados em ambientes mais elevados, isso foi observado entre a interface dos ambientes de face de praia e pós-praia onde foram verificados o aumento dos tamanhos dos grãos nos pós praia, localizados em setores mais altos.

Van Rijn, Ribbernink, Van der Werf e Walstra (2013) afirmam que os sedimentos de praia são moderadamente a bem selecionados, enquanto sedimentos de origem eólica são muito bem selecionados. Isso acontece com as amostras de sedimentos coletados em todas as praias estudadas, tanto nos ambientes de face de praia, quanto da pós-praia que foram classificados como moderadamente selecionados, com exceção dos grãos coletados na pós-praia da Cacimba do Padre, já que esses foram classificados como bem selecionados.

Os grãos coletados na face de praia e pós-praia em relação a assimetria apresentam a predominância de assimetria negativa. Estudos apresentados por Duane (1964) Kasper-Zubillaga et al. (2013), Menezes et al. (2019) afirmam que, grãos nos ambientes de praia apresentam assimetria negativa. Segundo esses autores a assimetria negativa é causada pela remoção da cauda dos grãos finos da distribuição curva de frequência, através da adição de grãos maiores no ambiente praias. Friedman (1974), Martins (2003), Silva e Bastos (2019), concluíram que a maior parte das areias de dunas possuem assimetria positiva enquanto areias da praia possuem assimetria negativa. Patro (1974); Bovi et al. (2016) explicam que a assimetria negativa está relacionada com a energia mais altas nesses ambientes. Esse fato é visto no estirâncio de todas as praias sendo nas praias do Bode e Cacimba do Padre apresentaram os maiores teores de areia média, do que as demais praias, o que indica mais energia nesses locais. A variação de assimetria das praias indica tendências erosivas e deposicionais associadas a fontes sedimentares distintas (Silva et. al., 2024).

Quanto a curtose todas as populações de sedimentos coletados na face de praia se enquadram numa classificação mesocúrtica, pois há uma ocorrência de várias classes de granulometria. Mas no ambiente pós-praia, das praias Quixambinha e Conceição as populações dos sedimentos foram classificados como platicúrtica, mostrando uma baixa concentração de grãos finos (menor que 50%, Praia da Quixambinha) e baixa concentração de grãos tamanho médios (menor que 40%, na Praia da Conceição), indicando alta energia nesses ambientes. A classificação de curtose leptocúrtica, foi indicada nas praias: Praia do Boldró, Bode e Cacimba do Padre. Essa distribuição leptocúrtica indica que ocorre maiores concentrações de areia média e fina. A predominância de populações de grãos leptocúrticas e platicúrticas acima mencionadas está associado provavelmente a mistura de classes granulométricas oriundas de outros ambientes, tais como os sedimentos

carbonáticos oriundos da plataforma, permanecendo as características da área-fonte, conforme declaram Folk e Ward (1957).

Nas amostras de sedimentos a maioria dos grãos é formada por sedimentos carbonáticos. E a maioria de grãos siliciclásticos são quartzos leitosos, sendo alguns grãos formados de quartzo hialino. Quanto ao arredondamento foi observada uma variação de grãos sub-arredondados a angulosos, com uma predominância de grãos angulosos, e um grau de esfericidade moderada. Considerando a energia do ambiente, esses grãos não foram retrabalhados durante um longo período, sendo remobilizados para outros locais, e possuem fraturas e marcas de impacto, provavelmente causado pelo fluxo.

Considerações

As praias estudadas são constituídas em sua maioria por uma variação granulométrica de sedimentos finos a grossos. Esse estudo apresentou uma seleção de grãos moderadamente a bem selecionados, com assimetria negativa na maior parte das amostras. Em relação a curtose, variou de mesocúrtica a leptocúrtica. A presença de sedimentos grossos e a retirada de grãos finos mostraram que, a energia nesses ambientes é alta devido a remoção dos sedimentos de granulometria fina pela ação energética das ondas nesses ambientes que apresentam uma variação de granulometria média a grossa, como na praia da Cacimba do Padre. Sendo percebida também na região da pós-praia pela ação do vento nessa região. Isso é ratificado pela assimetria negativa nas populações de sedimentos coletados.

As amostras de sedimentos coletadas apresentaram sedimentos de origem carbonática e os grãos siliciclásticos são constituídos por grãos de quartzo leitosos e halinos, com uma esfericidade moderada e uma variação de grãos subarredondados a angulosos, indicando que os grãos não foram retrabalhados durante um longo período, esse fato provavelmente está ligado a um ambiente de alta energia com a remobilização dos grãos para outros locais. Entretanto os sedimentos apresentaram um transporte dominante por saltação para os grãos de tamanho médio e por suspensão para os sedimentos constituídos por areia fina.

Agradecimentos

Agradecemos a administração da Ilha de Fernando de Noronha, o ICMBio pela aprovação do projeto na Ilha de Fernando de Noronha e ao LGGM- UFPE pelo uso do seu laboratório.

Referências

- Ayodele, S.O & Madukwe, H. Y., (2019). Granulometric and sedimentologic study of beach sediments, lagos, Southwestern Nigeria. *International Journal of Geosciences*, v. 10, p. 295-316. Disponível: https://www.scirp.org/html/4-2801758_91458.htm. Acesso: 5 mar. 2023.
- Almeida, Fernando F.M., (1955). Geologia e petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. Rio de Janeiro, DGM/DNPM. 181 páginas.
- Almeida, Fernando F.M., (2006) Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. *Terra e Didática*, v. 2, n. 1, p. 3-18.
- Bovi, R. C., Boschi, R.S, De Carvalho, C. C., Cooper, Miguel, (2016). Analysis of the soil sand fraction and recent sediments deposits: an approach based on two-dimensional image analysis. *Soil Science*, v. 181 n. 11-12, p. 513-519. Disponível: https://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2016/11000/Analysis_of_the_Soil_Sand_Fraction_and_Recent.5.aspx. Acesso: 3 mar. 2023.
- Câmara, I. F. da, de Holanda, T. F., & Costa, M. B., (2023). Erosão e gestão costeira em praias protegidas por recifes no litoral sul de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24 páginas.
- Camargo, Maurício Garcia de, (1999). Sysgran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento.
- Cordani, Umberto, (1970) G. Idade do vulcanismo no oceano Atlântico Sul. *Boletim IGA*, v. 1, p. 09-75.
- Duane, D. B., (1964). Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34: 864-874p.
- Dupont, R., Bouchette, F., & Mohammadi, B. (2024). Modelling beaches morphodynamic by Hadamard sensitivity analysis. *Ocean Modelling*, 189, 102370.
- Folk, Robert Louis; Ward, William C. Brazos, (1957) River bar [Texas]; A study in the significance of grain size parameters. *Journal of sedimentary research*, v. 27, n. 1, p. 3-26.
- Friedman, Gerald M. , (1961) Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Research*, 31, 514-529.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (2023). Cidades e Estados: Fernando de Noronha. (2022). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/fernando-de-noronha.html>. Acesso em: 3 mar. 2023.

- Kasper-Zubillaga, J. J., Armstrong-Altrin, J. S., Carranza-Edwards, A., Morton-Bermea, O. & Santa Cruz, R. L., (2013). Control in Beach and Dune Sands of the Gulf of Mexico and the Role of Nearby Rivers. *International Journal of Geosciences*, v. 4, p. 1157-1174. Disponível: researchgate.net/profile/Juan-KasperZubillaga/publication/276494000_Control_in_Beach_and_Dune_Sands_of_the_Gulf_of_Mexico_and_the_Role_of_Nearby_Rivers/links/5581880208aeab1e4666d6c8/Control-in-Beach-and-Dune-Sands-of-the-Gulf-of-Mexico-and-the-Role-of-Nearby-Rivers.pdf. Acesso: 4 mar. 2023.
- Kuai, Y., Aarninkhof, S., & Wang, Z. B. (2023). Diagnostic modeling of the shoreline variation along the Jiangsu Coast, China. *Geomorphology*, 425, 108581.
- Lima, P. F. T. T. de, das Neves Gregório, M., Barreto, E. P., da Silva, C. F. A., Manso, V. D. A. V., & da Silva, D. L., 2018. Estudos Sedimentológicos das praias dos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes–Pernambuco (Sedimentological studies of the beaches of the municipalities of Recife and Jaboatão dos Guararapes-Pernambuco). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(7), 2287-2314.
- Loring, G. H.; Rantala, R. T. T., (1992). Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth Sci. Rev.*; 32: 235 – 283p.
- Martins, L. R., (2003). Recent sediments and grain-size analysis. *Gravel*, 1, 90-105.
- Menezes, A. F., Pereira, P. D. S., Gonçalves, R. M., Araújo, T. C. M. D., & Sousa, P. H. G. D. O., (2018). Análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de Piedade e Paiva (PE), Brasil.
- Mohammad, A., Murthy, P. B., Rao, E. N. D & Hari, P., (2020). A study on textural characteristics, heavy mineral distribution and grain-microtextures of recent sediment in the coastal area between the Sarada and Gosthani rivers, east coast of India. *International Journal of Sediment Research*. v. 35, n. 5, 2020, p. 484-503. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001627920300299>. Acesso: 5 mar. 2023.
- Moreira, J. C., & Silva-Júnior, J. M., (2013). Trilhas Subaquáticas em Fernando de Noronha—PE: A Importância da Interpretação Ambiental Relacionada a Geodiversidade. In *Congresso Nacional de Planejamento e Manejo de Trilhas and Colóquio Brasileiro da Red Latino Americana de Senderismo* (Vol. 2).
- Oliveira, M. R. L. D., & Nicolodi, J. L. , (2012). 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.
- Patro, B. C., & Sahu, B. K., (1974). Factor analysis of sphericity and roundness data of clastic quartz grains: Environmental significance. *Sedimentary geology*, 11(1), 59-78.
- Pereira, N. S., Manso, V. A. V., Macedo, R. J. A., Dias, J. M. A & Silva, A. M. (2013) Detrital carbonate sedimentation of the Rocas Atoll, South Atlantic. *Earth Sciences An. Acad. Bras. Ciênc.* v. 85, n. 1, jan./mar., Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/VZ6cg74STT8tpGPmdhJsyDv/abstract/?lang=en>. Acesso em: 2 mar. 2023.
- Silva, M., & Bastos, T. V. Cavernas marinhas de Fernando de Noronha (PE): similaridades com cavernas da Ilha de Santa Catarina (SC), 2019. Disponível: http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_073-079.pdf. Acesso: 4 mar. 2023.
- Sugio, Kenitiro, (2003) Tópicos de geociências para o desenvolvimento sustentável: as regiões litorâneas. *Geologia USP. Série Didática*, v. 2, p. 1-40.
- Travassos, Paulo & Hazin, Fábio & Zagaglia, J.R. & Advíncula, R. & Schober, J.,(1999). Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. *Archive of Fishery and Marine Research*. 47. 211-222.
- Vale, T. F., Moreira, J. C., Robles, R. A., & de Souza, L. F., (2021). Programas educativos desenvolvidos em Fernando de Noronha e a relação com o ensino de conteúdos geológicos. *Terrae Didática*, 17p.
- Van Rijn, L. C., Ribberink, J. S., Van Der Werf, Jebbe & Walstra, D. J. R., (2013). Coastal sediment dynamics: recent advances and future research needs, *Journal of Hydraulic Research*, v. 51, n. 5, p. 475-493. Disponível: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00221686.2013.849297>. Acesso: 4 mar. 2023.
- Varella, G. A. V., (2022). Caracterização geoambiental e análise sedimentológica entre as Praias de Sagi e Baía Formosa, litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Bachelor's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte).
- Wildner, W. & Ferreira, R. V., (2012). Geoparque Fernando de Noronha (PE). In: *Geoparques do Brasil - Propostas*. 1 ed. Rio de Janeiro: CPRM, v. 01, p. 317-360.