



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MEIRYEL DOS SANTOS ALVES

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS IMPACTOS NA MORFODINÂMICA
COSTEIRA DO PARQUE NACIONAL DE JERICOACOARA

FORTALEZA
2026

MEIRYEL DOS SANTOS ALVES

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS IMPACTOS NA MORFODINÂMICA COSTEIRA
DO PARQUE NACIONAL DE JERICOACOARA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Lidriana de Souza Pinheiro.

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Medeiros de Carvalho.

FORTALEZA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A48u Alves, Meiryel dos Santos.
 Uso e ocupação do solo e seus impactos na morfodinâmica costeira do Parque Nacional de Jericoacoara / Meiryel dos Santos Alves. – 2026.
 113 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2026.
 Orientação: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro.
 Coorientação: Prof. Dr. Alexandre Medeiros de Carvalho.
1. Dinâmica Eólica. 2. Antropismo. 3. Vulnerabilidade Ambiental. I. Título.

CDD 333.7

MEIRYEL DOS SANTOS ALVES

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS IMPACTOS NA MORFODINÂMICA COSTEIRA
DO PARQUE NACIONAL DE JERICOACOARA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Ciências Ambientais do Instituto de
Ciências do Mar - LABOMAR da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do Título de Bacharel em Ciências
Ambientais.

Aprovada em: 23/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Alexandre Medeiros de Carvalho (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Vanda Claudino Sales
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

Prof. Dr. Antônio Rodrigues Ximenes Neto
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

A Deus.

Ao meu esposo, aos meus pais e aos meus avós.

AGRADECIMENTOS

Sobretudo, agradeço a Deus, autor da minha fé, que me sustentou quando fraquejei, proveu todas as minhas necessidades e se fez meu melhor amigo em todos os momentos. A Ele, que me concedeu sabedoria e se tornou a fonte da minha inteligência e resiliência. Agradeço ao Senhor por ter me enxergado além do que eu mesma via, restaurando minha visão e renovando minha esperança na minha própria história.

Ao João, meu amado marido, agradeço por acreditar em mim quando nem eu mesma acreditava. Por caminhar ao meu lado em toda a minha trajetória acadêmica e profissional, sendo meu companheiro fiel e constante. Hoje, ao dividir a vida contigo, descubro o quanto é precioso amar e ser amada. Eu me orgulho da mulher que me tornei depois que te conheci, obrigada por extrair de mim a minha melhor versão.

Aos meus pais, Rosemaire Santos e Eliano Alves, agradeço por acreditarem em mim, me apoiarem e me amarem incondicionalmente. Aos meus avós, Antônia Gomes e Francisco Gomes, por sempre acompanharem minha trajetória e me acolherem com tanto carinho. À minha irmã, Ially Alves, a melhor irmã que eu poderia ter, que sempre me ouviu e se colocou ao meu lado em todas as aventuras. A minha tia Elisângela Santos, fonte de inspiração e resiliência, especialmente na área profissional. A minha tia Tereza Alves, ao meu tio Francimar Santos e a minha prima Renata Alves, por serem grandes incentivadores ao longo da faculdade, vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. A minha tia Socorro Alves e à minha prima Cibele Uchoa, que também me auxiliaram quando precisei, sou muito grata por sua ajuda.

Agradeço à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Lidriana de Souza Pinheiro, por me proporcionar a oportunidade de trabalhar ao lado de uma mulher incrível, competente e dedicada. Sou grata pelo acompanhamento, pelos conselhos e pela orientação que guiaram essa trajetória.

Ao Alexandre, meu coorientador, agradeço por sempre acreditar no meu potencial, pela paciência em todos os momentos e por compartilhar generosamente seu conhecimento, fundamental não apenas para o desenvolvimento desta pesquisa, mas também para o meu crescimento pessoal. Sua presença foi essencial na minha construção acadêmica e profissional, e sou grata por cada momento compartilhado nesta jornada.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG), onde nasceu a ideia desta pesquisa, expressei minha imensa gratidão. A equipe, composta por técnicos extraordinários, tornou esta jornada mais leve e enriquecedora. Agradeço especialmente a Jaqueline Mesquita,

Isabelly Ferro e Francisco Gleidson, por sempre esclarecer minhas dúvidas, compartilhar risadas e transmitir tantos aprendizados. Cada momento ao lado de vocês contribuiu significativamente para a realização deste trabalho.

Agradeço ao programa PIBIC/UFC, que fomentou a pesquisa que deu origem a este trabalho, possibilitando meu crescimento acadêmico e científico. Expresso também minha gratidão a todo o corpo docente do curso de Ciências Ambientais, que, com dedicação e excelência, contribuiu para a formação de profissionais competentes e inspiradores na área.

Às minhas colegas de pesquisa, Miliana Teixeira, Maria Vitória e Monique Ellen, sou imensamente grata por tornarem as longas horas de morfoscopia mais leves e alegres. Acompanhar o crescimento de cada uma e partilhar tantos momentos ao longo dos anos foi uma experiência valiosa e inspiradora. Admiro vocês profundamente e tenho certeza de que trilharão caminhos brilhantes.

Agradeço a todos os amigos que fiz ao longo da minha jornada acadêmica. Vocês foram a energia que moveu meus dias, especialmente o grupo carinhosamente denominado "Sabiaguabers", formado por Arianne, Caio, Enzo, Gisely, Karen, Karol, Lara Isabelly, Lara Freitas, Lorena, Lucas, Renato, Samara, Stefany e Yana. Aprendi muito com cada um de vocês, cuja diversidade de personalidades e ideias nos manteve unidos, sempre com respeito mútuo. Tenho certeza de que traçarão caminhos extraordinários e se tornarão excelentes cientistas.

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), pela concessão da Autorização para atividades com finalidade científica nº 85505-1(2022/2023), que possibilitou o acesso aos dados utilizados nesta pesquisa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo meu mais profundo agradecimento. Cada gesto de apoio, palavra de incentivo e presença ao longo desta trajetória foi essencial para que eu chegasse até aqui. Sou grata por todas as experiências, aprendizados e amizades construídas, que tornarão esta conquista ainda mais significativa e inesquecível.

“Os teus olhos me viram a substância ainda informe, e no teu livro foram escritos todos os meus dias, cada um deles escrito e determinado, quando nem um deles havia ainda.” (Salmos 139:16 ARA).

RESUMO

O sistema costeiro do Parque Nacional de Jericoacoara (PNJ) tem alta complexidade, onde a crescente pressão do uso e ocupação do solo, impulsionada pelo turismo, ameaça a dinâmica natural das dunas. Este estudo objetivou compreender as inter-relações entre a expansão antrópica e os processos morfodinâmicos costeiros no PNJ. Utilizou-se uma abordagem integrada, combinando geoprocessamento multitemporal (1958-2025) para mapeamento do uso do solo e da malha viária, análise morfo-hidrológica (MDE) e caracterização sedimentológica de perfis transversais à costa. Os resultados revelaram uma inversão da matriz eólica, com redução das dunas móveis (de 56,80% para 22,2%) e expansão da malha viária (de 6 km para 70,50 km), demonstrando a transição da morfodinâmica natural para um sistema dominado pela intervenção humana. A análise morfo-hidrológica identificou que as trilhas de veículos 4x4 atuam como canais artificiais de erosão, desorganizando o sistema de drenagem e comprometendo a recarga do lençol freático, o que se reflete na redução generalizada dos corpos d'água superficiais (-44,44%). A caracterização sedimentológica reforçou a vulnerabilidade do sistema, evidenciada pela seletividade do transporte eólico e pela assinatura sedimentológica híbrida. Conclui-se que a pressão antrópica é o principal agente geomórfico de alteração, e as implicações do estudo fornecem subsídios técnicos essenciais para o manejo adaptativo do PNJ, destacando a necessidade de revisão das diretrizes de uso em áreas de conflito hidrogeomorfológico, visando a conservação da integridade ecológica e a sustentabilidade do turismo.

Palavras-chave: dinâmica eólica; antropismo; vulnerabilidade ambiental.

ABSTRACT

Jericoacoara National Park (PNJ) is a highly complex coastal system where growing pressure from land use and occupation, driven by tourism, threatens the natural dynamics of the dunes. This study aimed to understand the interrelationships between anthropogenic expansion and coastal morphodynamic processes in PNJ. An integrated approach was used, combining multitemporal geoprocessing (1958-2025) for mapping land use and road networks, morpho-hydrological analysis (MDE), and sedimentological characterization of cross-sections of the coast. The results revealed a reversal of the wind matrix, with a reduction in mobile dunes (from 56,80% to 22.2%) and expansion of the road network (from 6 km to 70.50 km), demonstrating the transition from natural morphodynamics to a system dominated by human intervention. The morpho-hydrological analysis identified that 4x4 vehicle tracks act as artificial erosion channels, disrupting the drainage system and compromising groundwater recharge, which is reflected in the widespread reduction of surface water bodies (-44.44%). Sedimentological characterization reinforced the vulnerability of the system, evidenced by the selectivity of wind transport and the hybrid sedimentological signature. It is concluded that anthropic pressure is the main geomorphic agent of change, and the implications of the study provide essential technical support for the adaptive management of the PNJ, highlighting the need to review the guidelines for use in areas of hydrogeomorphological conflict, aiming at the conservation of ecological integrity and the sustainability of tourism.

Keywords: wind dynamics; anthropism; environmental vulnerability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Mapa de localização da área de estudo	21
Figura 2	– Quartzito da Formação São Joaquim em Jericoacoara (CE)	23
Figura 3	– Encosta do Morro do Serrote evidenciando o relevo residual em quartzitos e a vegetação fixadora	24
Figura 4	– Beachrocks da praia da Malhada	27
Figura 5	– Unidade de dunas móveis	28
Figura 6	– Oásis de coqueiral em superfície de deflação com dunas móveis no fundo ...	29
Figura 7	– Registros da lagoa do Amâncio	31
Figura 8	– Sistemas interdunares	32
Figura 9	– Afloramento rochoso com vegetação xerofítica no flanco do Serrote	34
Figura 10	– Mapa de localização dos pontos de coleta	49
Figura 11	– Ficha de análise morfoscópica	51
Figura 12	– Beachrocks de Jericoacoara	53
Figura 13	– Amostra J-1.1: Seção delgada com e sem nicois cruzados	54
Figura 14	– Representação tridimensional do relevo e da rede de drenagem da área de estudo	69
Figura 15	– Mapa dos canais de drenagem e de localização dos perfis topográficos	72
Figura 16	– Fotografia aérea e mapeamento de 1958	76
Figura 17	– Imagem de satélite e mapeamento de 2025	78
Figura 18	– Representação esquemática dos ambientes deposicionais no perfil 1	79
Figura 19	– Representação esquemática dos ambientes deposicionais no perfil 2	83
Figura 20	– Representação esquemática da dinâmica sedimentar do complexo do Morro Serrote	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Composição das amostras de praia	56
Gráfico 2	– Composição bioclástica das amostras de praia	57
Gráfico 3	– Carbonato de cálcio e matéria orgânica das amostras de praia	57
Gráfico 4	– Composição das amostras de superfície de deflação	60
Gráfico 5	– Composição bioclástica das amostras de superfície de deflação	61
Gráfico 6	– Carbonato de cálcio e matéria orgânica das amostras de superfície de deflação	62
Gráfico 7	– Composição das amostras de dunas	64
Gráfico 8	– Composição bioclástica das amostras de duna	65
Gráfico 9	– Carbonato de cálcio e matéria orgânica das amostras de dunas	65
Gráfico 10	– Composição das amostras do Grupo Barreiras	67
Gráfico 11	– Composição das amostras do Morro do Serrote	68
Gráfico 12	– Distribuição dos números de canais por ordem de Strahler	69
Gráfico 13	– Perfil topográfico da estrada 1	72
Gráfico 14	– Perfil topográfico da estrada 2	73
Gráfico 15	– Perfil topográfico da estrada principal	73
Gráfico 16	– Perfil topográfico da estrada do Morro do Serrote	74
Gráfico 17	– Percentual das feições de 1958	76
Gráfico 18	– Percentual das feições de 2025	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de razão de bifurcação (R_b) por par de ordens	70
Tabela 2 – Parâmetros morfométricos dos perfis topográficos das vias de circulação ...	70
Tabela 3 – Comparação do uso do solo na área de estudo (1958 e 2025)	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Descrição das amostras	49
Quadro 2	– Características granulométricas das amostras de praia	55
Quadro 3	– Características granulométricas das amostras de superfície de deflação	59
Quadro 4	– Características granulométrica das amostras de duna	63
Quadro 5	– Características granulométricas das amostras do Grupo Barreiras	66
Quadro 6	– Características granulométricas das amostras do Morro do Serrote	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo geral.....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3 ÁREA DE ESTUDO	20
3.1 Aspectos físicos e naturais.....	21
3.1.1 Clima.....	21
3.1.2 Geologia.....	23
3.1.3 Geomorfologia.....	26
3.1.4 Pedologia.....	29
3.1.4 Hidrologia e hidrogeologia.....	30
3.1.6 Aspectos fitoecológicos.....	32
3.2 Aspectos socioeconômicos.....	34
3.3 Conflitos socioambientais.....	36
4 REFERENCIAL TEÓRICO	38
4.1 Fundamentos da morfodinâmica costeira e do ambiente de dunas.....	38
4.2 Uso e ocupação do solo em zonas costeiras.....	40
4.3 Sensoriamento remoto e geoprocessamento na análise de ambientes costeiros.....	42
4.4 Estudo de casos.....	43
5 METODOLOGIA.....	46
5.1 Análise espacial e geoprocessamento.....	46
5.2 Coleta e análise laboratorial.....	48
6 RESULTADOS.....	53
6.1 Aspectos sedimentológicos.....	53
6.1.1 Ocorrência de beachrocks em Jericoacoara.....	53

6.1.2 Praia.....	55
6.1.2 Superfície de deflação.....	58
6.1.3 Dunas	62
6.1.4 Grupo barreiras.....	66
6.1.5 Morro do Serrote.....	67
6.2 Drenagem superficial e perfis topográficos.....	69
6.2.1 <i>Análise da rede de drenagem e hierarquização fluvial</i>	69
6.2.2 <i>Caracterização topográfica dos perfis</i>	70
6.3 Uso e ocupação do solo (1958 e 2025).....	74
6.3.1 <i>Mapeamento de 1958</i>	75
6.3.2 <i>Mapeamento de 2025</i>	77
7 DISCUSSÕES	79
7.1 Aspectos sedimentológicos	79
7.1.1 <i>Perfil 1</i>	79
7.1.2 <i>Perfil 2</i>	83
7.1.3 <i>Dinâmica sedimentar do complexo do Morro do Serrote</i>	85
7.2 Morfodinâmica fluvial e interações antrópicas.....	87
7.2.1 <i>Análise morfométrica e padrão de drenagem</i>	87
7.2.2 <i>Conflitos hidrogeomorfológicos e a interferência na malha viária</i>	88
7.3 Transformações na paisagem e pressão antrópica no Parque Nacional de Jericoacoara (1958-2025)	89
7.3.1 <i>Transformações da dinâmica eólica e estabilização da paisagem</i>	89
7.3.2 <i>Ocupação antrópica e pressão sobre a unidade de conservação</i>	90
7.3.3 <i>Alterações na hidrografia local</i>	91
8 CONCLUSÃO	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras configuram-se como uma das interfaces mais dinâmicas e estratégicas do planeta, onde a interação entre os domínios terrestre, marinho e atmosférico dá origem a ecossistemas de elevada biodiversidade e complexidade (Crossland *et al.*, 2005; Ward *et al.*, 2020). No Brasil, essas áreas abrigam não apenas ecossistemas sensíveis, a exemplo de manguezais e restingas, mas também concentram grande parte da população e da atividade econômica, especialmente o turismo (Muehe, 1998). Dentre as feições que compõem este sistema, os campos de dunas costeiras destacam-se por sua fundamental importância ecológica, atuando como barreiras naturais que protegem o litoral contra a energia de tempestades e como reservatórios de sedimento que mantêm o equilíbrio das praias (Hesp, 2002; Pye; Tsoar, 2009). A compreensão de sua morfodinâmica, os processos de transporte, deposição e migração de areia, é, portanto, vital para a gestão de paisagens cada vez mais pressionadas pela ação humana e pelas mudanças climáticas.

O Parque Nacional de Jericoacoara (PNJ), no litoral oeste do Ceará, representa um laboratório a céu aberto onde essa interação se manifesta de forma emblemática. Dotado de um campo de dunas de beleza cênica singular, o local permaneceu até a década de 1970 como uma vila de pescadores de difícil acesso, marcada por uma economia de subsistência e uma relação de profunda integração com o meio natural (Paulino, 2024). Este cenário de "tempos lentos" foi drasticamente alterado a partir dos anos 1980, quando a menção da praia em jornais internacionais, como o *The Washington Post*, alçou Jericoacoara à condição de destino turístico global (Brandão; Coriolano, 2016). A consequente explosão demográfica e a consolidação do turismo como principal vetor econômico transformaram radicalmente o uso e a ocupação do solo, desencadeando um acelerado processo de urbanização sobre um substrato geomorfológico extremamente frágil.

Essa rápida transformação socioeconômica não ocorreu sem impor severos impactos ao ambiente físico. A expansão da Vila de Jericoacoara sobre a superfície de deflação resultou na progressiva impermeabilização do solo, enquanto o intenso tráfego de veículos para fins turísticos criou e aprofundou trilhas que hoje funcionam como corredores de erosão eólica e hídrica (Meireles *et al.*, 2011; UECE, 2022). A pressão antrópica manifesta-se de forma direta na alteração das próprias feições que definem a paisagem. Dados recentes indicam que, entre 1985 e 2023, a icônica Duna do Pôr do Sol sofreu um rebaixamento superior a 50 metros, concomitante à expansão da área urbana (MapBiomas, 2023; Paulino, 2025). Tais alterações

sugerem um desequilíbrio significativo nos processos morfodinâmicos, comprometendo a resiliência do sistema costeiro e a sustentabilidade do próprio atrativo turístico que dele depende.

Embora estudos anteriores tenham documentado a evolução socioeconômica e apontado os conflitos ambientais na região (Gondim *et al.*, 2024), persiste uma lacuna na compreensão integrada e quantitativa de como as mudanças no uso e ocupação do solo, ocorridas ao longo de décadas, se conectam causalmente às alterações na dinâmica sedimentar e na morfologia costeira. Torna-se, assim, fundamental investigar a relação espacial entre os padrões de ocupação e a consequente resposta do sistema morfodinâmico, a fim de subsidiar um planejamento territorial que seja compatível com a conservação de sua integridade ecológica. O uso de geotecnologias, como o sensoriamento remoto para análises multitemporais e a modelagem digital de elevação, aliado à análise sedimentológica, podem oferecer as ferramentas necessárias para preencher essa lacuna.

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo geral compreender as inter-relações entre o uso e a ocupação do solo e os processos morfodinâmicos costeiros no Parque Nacional de Jericoacoara.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Compreender as relações entre uso e ocupação do solo e os processos morfodinâmicos no Parque Nacional de Jericoacoara, por meio de uma abordagem integrada que avalie os impactos espaciais das mudanças no uso do solo sobre a dinâmica sedimentar e a integridade das feições costeiras.

2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar os padrões morfodinâmicos da planície costeira, com ênfase na atuação do transporte eólico e nos processos de erosão e deposição sedimentar;
2. Caracterizar os sedimentos e depósitos sedimentares da área de estudo e suas relações com a dinâmica evolutiva do sistema deposicional;
3. Avaliar a morfologia das unidades morfológicas e extrair a rede de drenagem e os perfis topográficos a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE);
4. Mapear o uso e ocupação do solo entre 1958 e 2025 por fotointerpretação, identificando alterações espaciais e impactos antrópicos;
5. Integrar os dados morfodinâmicos, hidrológicos e de uso do solo para propor diretrizes de manejo e conservação costeira.

3 ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional de Jericoacoara (PNJ) está localizado no litoral oeste do estado do Ceará, na região Nordeste do Brasil, abrangendo principalmente o município de Jijoca de Jericoacoara, que corresponde a 82,8% da área terrestre, e em menor proporção o município de Cruz, com 17,2% (Brasil, 2011a; Arruda, 2007) (Figura 1). A Unidade de Conservação possui uma área total aproximada de 8.850 hectares, conforme definido pela Lei nº 11.486, de 15 de junho de 2007 (Brasil, 2011a). Além da área terrestre, o parque inclui uma porção marinha, pertencente à União, que corresponde a 25,97% da área total da unidade, estendendo-se por cerca de 2,5 milhas náuticas (aproximadamente 4.635 metros) ao longo do Oceano Atlântico, abrangendo o litoral dos municípios de Cruz e Jijoca de Jericoacoara, bem como parte da costa dos municípios de Acaraú e Camocim (Brasil, 2011a).

A Zona de Amortecimento (ZA) do parque, que tem uma área terrestre de aproximadamente 249,6 km², inclui áreas desses quatro municípios, delimitando-se estrategicamente para facilitar a proteção dos recursos naturais, como as lagoas de Jijoca, do Monteiro e do Mato, e incorporando importantes áreas protegidas como a Área de Proteção Ambiental (APA) da Lagoa da Jijoca e parte da APA de Tatajuba (Brasil, 2011a).

O acesso à vila de Jericoacoara, principal núcleo populacional e turístico da região, é realizado a partir da capital Fortaleza, situada a cerca de 300 km de distância, por meio das rodovias federais BR-116 e BR-220, da rodovia estadual CE-85 até Itapipoca, e posteriormente pela CE-179 até o município de Jijoca de Jericoacoara (Arruda, 2007). O trajeto final até a vila ocorre por trilhas não pavimentadas, que demandam veículos com tração nas quatro rodas ou buggies, devido às características naturais arenosas do terreno (Arruda, 2007).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



3.1 Aspectos físicos e naturais

3.1.1 Clima

A região do Parque Nacional de Jericoacoara apresenta clima quente, com variações que refletem tanto sua posição geográfica no semiárido setentrional quanto a influência direta do ambiente costeiro. Segundo a classificação de Köppen, predomina o tipo semiárido quente (Bsh), ou tropical austral semiárido brando, conforme Nimer (1972). No entanto, a proximidade com o litoral confere características de um clima mais úmido, com temperaturas médias anuais variando entre 26 °C e 27 °C, máximas em torno de 30 °C e mínimas próximas de 19 °C. A precipitação anual oscila entre 750 mm e 1.000 mm, concentrando-se em um curto período de três a cinco meses, sobretudo entre dezembro e maio. A umidade relativa do ar atinge médias superiores a 82%, enquanto a insolação anual ultrapassa 2.800 horas (Brasil, 2011a). Nas adjacências do parque, a temperatura da água do Oceano Atlântico varia entre 25 °C e 28 °C,

apresentando uma salinidade média entre 36‰ e 37‰, o que também contribui para a dinâmica ambiental da região costeira (Brasil, 2011b).

As variações climáticas que incidem sobre a área do parque estão fortemente associadas à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e, em menor grau, à atuação de Centros de Vorticidade Ciclônica, brisas locais e convecções atmosféricas moduladas pela morfologia do terreno (Brasil, 2011a). A ZCIT é uma faixa de baixa pressão com intensa nebulosidade, formada pela convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, exercendo papel fundamental nas dinâmicas meteorológicas de regiões tropicais (Clivar/Brasil, 1998 *apud* Brasil, 2009a). Durante o verão austral, essa zona migra em direção ao sul, alcançando sua máxima influência sobre o Hemisfério Sul nas proximidades do equinócio de outono, por volta de 23 de março. A partir daí, desloca-se novamente para o norte, reduzindo progressivamente o regime de chuvas (Brasil, 2009a).

Esse deslocamento sazonal da ZCIT tem impacto direto sobre a intensidade dos ventos alísios de sudeste, que aumentam quando a ZCIT está mais ao norte (entre agosto e outubro) e perdem força nos meses de março e abril (Zanella, 2005). Na planície costeira de Jericoacoara, os ventos predominantes sopram das direções sudeste (SE), leste-sudeste (ESE), leste (E) e nordeste (NE). Durante os meses de março a junho, as velocidades médias do vento variam entre 1 e 2 m/s, caracterizando um período de menor intensidade e maior umidade. Entre agosto e outubro, predominam ventos mais fortes, frequentemente acima de 5 m/s e podendo atingir picos de até 7 m/s (Brasil, 2009a). Em contraste, dados mais recentes indicam uma mediana de velocidade do vento de 8,9 m/s para a região (Gurgel *et al.*, 2025), sugerindo um cenário de maior intensidade média dos ventos em comparação aos registros anteriores. Esses ventos desempenham papel essencial na modelagem da paisagem, especialmente na migração das dunas e no transporte e deposição de sedimentos (Meireles, 2001).

Segundo Arruda (2007), a combinação entre regime pluviométrico, intensidade dos ventos e níveis de radiação solar imprime à região um padrão sazonal que influencia fortemente a morfogênese local. A planície costeira é composta por unidades morfológicas que refletem a atuação conjunta dos elementos climáticos e meteorológicos. A interação entre ventos, chuvas sazonais e insolação regula a dinâmica sedimentar, a formação de lagoas temporárias e permanentes, além de influenciar os padrões ecológicos da fauna e flora presentes no parque (Meireles, 2001).

3.1.2 Geologia

O Parque Nacional de Jericoacoara está inserido no contexto geológico da Província Borborema, caracterizada por um embasamento que se divide em maciços e sistemas de dobramentos (Almeida *et al.*, 2000). A região de Jericoacoara, especificamente, é um prolongamento do Maciço de Granja, onde afloram rochas quartzíticas ferruginosas no Morro do Serrote (Georgen, 1985). Os maciços, dentro do Domínio Médio Coreaú (DMC), são compostos por migmatitos-graníticos que se interligam com terrenos metassedimentares e metavulcânicos sedimentares. Sua proeminência topográfica é resultado da maior resistência litológica desses litotipos. (Braga, 2018).

A Formação São Joaquim, de idade Neoproterozoica (Toniano), é composta principalmente por quartzitos puros, com variações mineralógicas que incluem cianita, silimanita e muscovita, além de intercalações menores de calcissilicáticas, xistos e metavulcânicas félsicas (Siqueira, 2012). Essas rochas foram intensamente dobradas e redobradas por processos de colisões continentais neoproterozoicas, estendendo-se até a tafrogênese do Pangea, que culminou na abertura do Oceano Atlântico (Julio *et al.*, 2013). A Formação São Joaquim também é caracterizada por blocos soltos na superfície, fraturados e preenchidos por ferro e sulfetos como pirita e calcopirita, além de concreções ferruginosas (Figura 2), (Siqueira, 2012).

Figura 2 - Quartzito da Formação São Joaquim em Jericoacoara (CE). Martelo como escala.



Fotografia: Alexandre Carvalho (2022).

Nesse contexto estrutural e litológico, as rochas Pré-Cambrianas, representadas por quartzitos ferríferos e migmatitos homogêneos, desempenham papel fundamental na configuração geomorfológica local, contribuindo diretamente para a formação e sustentação do Serrote de Jericoacoara (figura 3), cuja expressão topográfica reflete a elevada resistência desses litotipos aos processos intempéricos e erosivos (Brasil, 2011b).

Figura 3 - Encosta do Morro do Serrote evidenciando o relevo residual em quartzitos e a vegetação fixadora



Fotografia: Alexandre Carvalho (2022).

O Grupo Barreiras (Neógeno) é fundamental para a compreensão da evolução costeira do Ceará, refletindo as mudanças climáticas, oscilações do nível do mar e eventos tectônicos ocorridos no Pliopleistoceno. Este grupo é responsável pelas características geológicas, geomorfológicas, sedimentológicas, topográficas e paleontológicas do litoral cearense (Morais *et al.*, 2006; Meireles; Raventos, 2002). Regionalmente, até o momento, não têm sido registradas divisões formais dentro do Grupo Barreiras, mas apenas uma única formação geológica, razão pela qual muitos autores a denominam simplesmente de Formação Barreiras. Sua origem é mista, envolvendo ambientes continentais e marinhos, sendo considerado o primeiro depósito sedimentar em contato com o embasamento cristalino. Esses depósitos avançam para o interior do continente e margeiam grandes vales fluviais, apresentando altitudes que variam de 20 a 200 metros (Arai, 2006). Em Jericoacoara, o Barreiras constitui o substrato geológico que condiciona o desenvolvimento de formas litorâneas como praias, dunas fixas e móveis, estuários, lagoas, planícies litorâneas e tabuleiros

costeiros, incluindo paleodunas, depósitos flúvio-marinhos, depósitos de praia/litorâneos e rochas de praia/*beachrocks* (Julio, 2012; Pinheiro, 2015).

A Formação Camocim, presente na costa Norte do Ceará entre o vale do Rio Acaraú e Chaval, é uma cobertura sedimentar com litologias e estruturas distintas do Grupo Barreiras, sendo considerada por alguns autores como uma de suas fácies (Brasil, 2009a). Consiste em um conglomerado de seixos de quartzo que se estende até 50 km do litoral, manifestando-se em pequenas falésias. É um material laterítico extremamente ferruginoso, que em Jericoacoara se apresenta silicificado na matriz, com origem no final do Oligoceno e início do Mioceno (Morais, 2000; Brasil, 2009a).

As unidades quaternárias recobrem as litologias da área, sobretudo os depósitos do Grupo Barreiras, e abrangem um conjunto diversificado de ambientes sedimentares (CPRM, 2003). Os depósitos aluviais são constituídos por argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas, podendo incluir níveis conglomeráticos, cascalhos e argilas orgânicas. Nos setores influenciados por processos costeiros, ocorrem depósitos flúvio-marinhos e marinhos, associados a planícies e canais de maré, compostos por vasas escuras características de manguezais, além de areias de praia, *beachrocks* e pelitos arenosos, carbonosos ou carbonáticos.

Os depósitos eólicos litorâneos apresentam dois conjuntos principais. O primeiro corresponde às dunas fixas ou paleodunas, formadas por areias de granulação fina a média, raramente siltsas, de composição quartzosa ou quartzofeldspática, bem selecionadas e com colorações que variam do cinza-claro e alaranjado no topo ao avermelhado na base. O segundo conjunto abrange os depósitos vinculados às praias atuais e dunas móveis, caracterizados por areias esbranquiçadas, predominantemente quartzosas, de granulometria variável e boa classificação, dispostas em corpos maciços ou estratificados. Esses materiais incluem leitos mais escuros enriquecidos em minerais pesados e fragmentos de matéria orgânica, além de areias inconsolidadas, quartzosas, de granulometria fina a grosseira, com cascalhos, estratificação cruzada e bioclastos (CPRM, 2003).

As paleodunas, que se sobrepõem ao Grupo Barreiras e são posteriormente recobertas pelas dunas atuais, apresentam areias quartzosas ou quartzofeldspáticas com grãos de quartzo foscos e arredondados (Braga, 2018). Essas dunas antigas constituem depósitos inconsolidados, bem selecionados, de granulometria média a fina e coloração variando entre tons de cinza-claro, acinzentado e esbranquiçado (Bezerra e Maia, 2012).

3.1.3 Geomorfologia

O relevo do PNJ é diversificado, incluindo a Planície Litorânea (praias, campos de dunas móveis e fixas, paleodunas, planície flúvio-marinha, planície de aspensão eólica, planície lacustre), o maciço residual (Serrote da Pedra Furada) e os Tabuleiros Costeiros (Georgen, 1985; Meireles e Raventos, 2002; Arruda, 2007; Meireles, *et al.* 2011; Julio, 2012; Brasil, 2011b; Pereira Filho, 2014; Meira, 2016).

A Planície Litorânea foi moldada pela ação de ondas, marés, correntes marinhas, fluxo flúvio-marinho e ventos, além de eventos tectônicos associados à flexura marginal no Cretáceo, episódios vulcânicos no Neógeno e oscilações climáticas com variação do nível do mar entre o Mioceno e o Holoceno (Meireles e Raventos, 2002; Meireles *et al.* 2011; Claudino-Sales e Peuvast, 2006, 2007). As praias, faixas de terra cobertas e descobertas diariamente pelas marés, são reduzidas e delimitadas por paleofalésias. No PNJ, essa faixa inclui pontas litorâneas, *beachrocks* e desembocaduras fluviais, estendendo-se por 16 km (Claudino Sales, 2005; Brasil, 2011b).

As pontas litorâneas, como a Ponta de Jericoacoara, são formações Cenozoicas de quartzitos e quartzitos ferruginosos da Formação São Joaquim, que originam cavernas, pilares marinhos, plataformas de abrasão marinha e entalhes basais, resultantes de ações tectônicas (Julio, 2012).

Os *beachrocks* (figura 4), que se estendem da Vila de Jericoacoara à Pedra Furada (aproximadamente 2 km), são arenitos conglomerados em contato com a Formação São Joaquim, indicando flutuações relativas do nível do mar (Meireles e Raventos, 2002; Brasil, 2011b; Meira, 2016).

Figura 4 – Beachrocks da praia da Malhada



Fotografia: Alexandre Carvalho (2022).

As dunas móveis são formadas pelo acúmulo e transporte de sedimentos arenosos marinhos, eólicos, lacustres e lagunares, acumulados durante regressões marinhas e que servem de aporte para a zona costeira. No PNJ, são importantes reservatórios de sedimentos. Dunas semi-fixas ou paleodunas, como as parabólicas em processo de fixação, estão presentes na porção sul de Jericoacoara. Dunas fixas ocorrem a sotavento das dunas móveis e são recobertas por vegetação que as imobiliza (Arruda, 2007; Pinheiro, 2015). As dunas apresentam formas como barcanas, cadeias barcanóides, transversas e lençóis de areias (Brasil, 2009a). A classificação das dunas, baseada na mobilidade dos sedimentos e na cronologia de formação, organiza-se conforme segue. As dunas de 1ª geração correspondem às paleodunas, consideradas os depósitos eólicos mais antigos da área. Localizam-se na transição com os tabuleiros costeiros e configuram feições estabilizadas, compostas por areias bem selecionadas e intensamente retrabalhadas ao longo do tempo. Sobre esses depósitos mais antigos desenvolvem-se dunas parabólicas, de 2º geração, que representam formas intermediárias associadas à evolução dos sistemas eólicos e apresentam um desenho em U aberto na direção dos ventos dominantes, com graus variados de fixação (Carvalho *et al.*, 2006; Claudino-Sales, 2005; Arruda, 2007; Pinheiro, 2015).

A 3ª geração refere-se aos eolianitos, dunas antigas litificadas por carbonato de cálcio. Esses depósitos ocorrem no interior do Parque Nacional de Jericoacoara e também em áreas próximas a Camocim e à Vila de Tatajuba, onde são regionalmente conhecidos como

“Casquados” (Carvalho *et al.*, 2009; Meira, 2016). Por fim, as dunas móveis (figura 5) constituem a 4ª geração, destacando-se no Parque Nacional de Jericoacoara pelo porte expressivo e pela elevada dinâmica. Podem ultrapassar 50 metros de altura e alcançar larguras superiores a 1,2 km (Arruda, 2007). São classificadas principalmente como barcanas, barcanóides e parabólicas, desenvolvendo-se em áreas planas frequentemente associadas à presença de espelhos d’água (Meireles e Raventos, 2002; Claudino-Sales, 2005; Arruda, 2007; Pinheiro, 2015; Pereira Filho, 2014). Em geral, configuram formas isoladas, com concavidade voltada para o lado oposto aos ventos. A migração média dessas dunas varia de 12 a 30 metros por ano, condicionada por fatores como altura da face de avalanche, intensidade e direção dos ventos, regime pluviométrico e duração da quadra chuvosa (Maia, 1998; Meireles, 2001).

Figura 5 – Unidade de dunas móveis



Fotografia: Alexandre Carvalho (2022).

Outras feições geomorfológicas complementam esse conjunto. A superfície de deflação eólica corresponde a superfícies planas profundamente retrabalhadas pela ação dos ventos, que removem e redistribuem sedimentos, constituindo vestígios de antigas dunas longitudinais e parabólicas erodidas. No Parque Nacional de Jericoacoara, essa feição marca o setor de acesso à vila (Claudino-Sales, 2002, 2005; Meireles *et al.*, 2011). A planície lacustre, formada por lagoas interdunares, desenvolve-se entre os lençóis de areia durante fases de repouso do processo migratório das dunas, sendo no parque abastecida sobretudo pelas chuvas do primeiro semestre (Arruda, 2007). Os tabuleiros costeiros, por sua vez, ocorrem nos limites da unidade, configurando superfícies suavemente inclinadas em direção ao mar.

Figura 6 - Oásis de coqueiral em superfície de deflação com dunas móveis no fundo



Fotografia: Alexandre Carvalho (2022).

3.1.4 Pedologia

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018), o Parque Nacional de Jericoacoara apresenta grande diversidade de solos, que condiciona as paisagens, a vegetação e as dinâmicas ambientais locais (Arruda, 2007; Brasil, 2011b). Predominam os Neossolos Quartzarênicos (RQ), incluindo as antigas Areias Quartzosas Distróficas e Marinhas. Esses solos arenosos, pouco férteis e excessivamente drenados sustentam os campos de dunas móveis e fixas, as planícies de deflação e os tabuleiros costeiros, apresentando perfis A-C, coloração esbranquiçada a vermelho-amarelada e forte limitação para atividades agrícolas (Nascimento; Cunha; Rosa, 2006; Pereira; Silva, 2007). Em áreas mais estáveis, iniciam processos de pedogênese, enquanto nas planícies lacustres e fluviais surgem Neossolos Flúvicos (RY), profundos, pouco desenvolvidos e formados por sedimentos arenosos, argilosos e siltosos de deposição fluvio-lacustre (Pereira; Silva, 2007; Brasil, 2011b).

Em relevos elevados, como o Serrote de Jericoacoara, encontram-se Neossolos Litólicos (RL), rasos, pedregosos e de drenagem moderada a acentuada, com vegetação herbácea, arbustiva e cactácea. Nos estuários, como o Rio Guriú, predominam os Gleissolos

Sálicos, hidromórficos e salinos, sujeitos à gleização, ricos em matéria orgânica e com vegetação de mangue e mata ciliar (EMBRAPA, 2018; Pereira; Silva, 2007). Nos tabuleiros e áreas distantes da costa, os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos (PVAd) apresentam perfis profundos com horizontes A, Bt e C, textura argilosa, baixa fertilidade e vegetação de Caatinga arbustiva e arbórea. Sobre a Formação Barreiras, surgem Podzólicos Vermelho-Amarelos, solos profundos e argilosos, enquanto Planossolos ocorrem associados a lagoas interdunares, apresentando camada superficial arenosa e subcamada argilosa impermeável, formando lençol freático suspenso na quadra chuvosa.

Essa diversidade de solos influencia diretamente a distribuição da vegetação, o uso agrícola e a dinâmica hidrológica e sedimentar do Parque, tornando seus ecossistemas costeiros altamente sensíveis a alterações naturais e antrópicas (EMBRAPA, 2018; Nascimento; Cunha; Rosa, 2006; Pereira; Silva, 2007).

3.1.4 Hidrologia e hidrogeologia

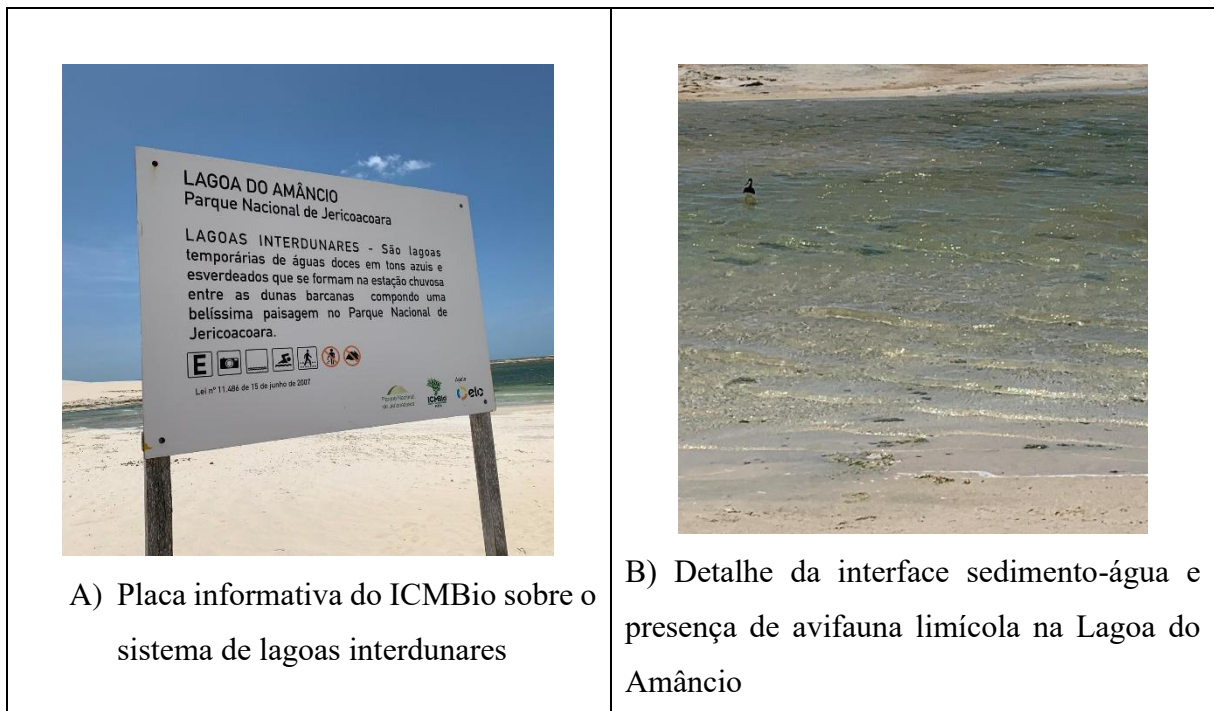
A maior parte do Parque Nacional de Jericoacoara (PNJ) está inserida na Bacia Hidrográfica do Coreauá, exceto pelo distrito de Preá, pertencente ao município de Cruz, que integra a Bacia do Acaraú. O município de Jijoca de Jericoacoara, que corresponde à maior parcela de terrenos dentro da unidade de conservação, situa-se na sub-bacia do rio Aracatiaçu (Brasil, 2011).

Os cursos d'água da região geralmente correm paralelamente à linha costeira, mas são frequentemente interrompidos pelos campos de dunas, apresentando caráter efêmero ou intermitente, com fluxo ativo principalmente durante o período chuvoso. Esse padrão contribui para a formação de um sistema de drenagem anastomosado, caracterizado por múltiplos canais que se entrelaçam, refletindo a influência sedimentar das dunas sobre o relevo (Julio, 2012).

A dinâmica eólica das dunas, predominante de leste para oeste, interfere diretamente na hidrografia local, atuando como barreira para pequenos riachos de orientação norte-sul, o que promove o represamento de águas e a formação de lagoas naturais. Esses corpos d'água variam entre perenes e temporários, com níveis determinados pela profundidade do lençol freático e capacidade de armazenamento aquífero. Muitos estão localizados entre as dunas, formando oásis em meio ao ambiente arenoso, enquanto outros dependem da estação chuvosa para se manterem (Brasil, 2009a; Braga, 2018).

Entre os cursos hídricos mais significativos da unidade de conservação, destacam-se o Riacho Doce, que atravessa o Parque e influencia diretamente a dinâmica sedimentar e ecológica da região, e o rio Guriú. Também se destacam lagoas de relevância ecológica e hidrológica, como a do Amâncio (figura x), da Capivara, do Junco, Grande, do Coração e dos Homens (Brasil, 2011b), que desempenham papel fundamental para a biodiversidade e para a dinâmica ambiental da planície costeira.

Figura 7 – Registros da lagoa do Amâncio



Fotografia: Alexandre Carvalho (2022).

Do ponto de vista hidrogeológico, a região apresenta três sistemas principais:

- Sistema Aquífero Dunas: Representa o principal aquífero superficial do PNJ. Caracteriza-se por elevada permeabilidade e níveis freáticos sub-aflorantes ou aflorantes, associados às lagoas interdunares (figura x). Funciona tanto como reservatório principal quanto como corpo de transferência para unidades aquíferas inferiores, sendo altamente vulnerável à contaminação antrópica (Cavalcante, 1998; UECE, 2022).

Figura 8 – Sistemas interdunares



Fotografia: Alexandre Carvalho (2022).

- Sistema Aquífero Barreiras: Composto por níveis argilo-siltoarenosos alternados, apresenta variação litológica e de porosidade que condiciona sua produtividade aquífera. Sua recarga ocorre principalmente pela infiltração pluvial e, em menor escala, por drenagens influentes. Os exutórios desse sistema incluem drenagens afluentes, evapotranspiração em áreas onde o Barreiras aflora e poços de captação (Cavalcante, 1998; UECE, 2022).
- Sistema hidrogeológico Cristalino: Na área da Vila de Jericoacoara, ocorre nas discontinuidades das rochas metamórficas do Grupo Martinópolis, com destaque para a Formação São Joaquim, no Serrote da Pedra Furada (UECE, 2022). A água circula preferencialmente por fraturas NW-SE, com sistema principal de fraturas N60W. A alta densidade de fraturas cria condições locais favoráveis ao armazenamento e fluxo de águas subterrâneas, embora muitos poços em terrenos cristalinos sejam improdutivos quando ausentes fraturas abertas (Arruda, 2007; Brasil, 2011b; Julio, 2012).

3.1.6 Aspectos fitoecológicos

A vegetação do Parque Nacional de Jericoacoara é marcada por uma elevada diversidade fisionômica, adaptada às condições edáficas, climáticas e dinâmicas eólicas da

região. Predominam formações pioneiras, com influência marinha, fluvial ou lacustre, em diferentes estágios sucessionais, e grande variedade de espécies psamófilas, com ampla distribuição em dunas, cordões interdunares, planícies alagáveis e restingas (Brasil, 2009b).

Nos cordões interdunares, especialmente na região nordeste e centro do Parque, domina a Formação Pioneira com Influência Marinha Herbácea (Veloso *et al.*, 1991), em estágio inicial de sucessão devido à baixa fertilidade do solo arenoso e à ação dos ventos (Arruda, 2007). A vegetação é majoritariamente reptante, cobrindo parcialmente o solo com gramíneas e herbáceas como *Panicum cf. trichoides*, *Paspalum cf. plicatulum* e *Dactyloctenium aegyptium*. Esporadicamente ocorrem arbustos como *Byrsonima crassifolia* e *Byrsonima verbascifolia*, geralmente limitados a pequenas moitas (CAGECE, 2003 *apud* Brasil, 2009b).

As lagoas interdunares sazonais contribuem para a diversidade florística, sustentando espécies aquáticas como *Xyris spp.*, *Nymphoides indica*, *Paspalum maritimum* e *Cyperus sp.* (Matias; Nunes, 2001). Em áreas planas mais protegidas, próximas ao Riacho Doce ou às margens de lagoas, a vegetação permanece rasteira, com espécies tolerantes a alagamentos como *Fimbristylis sp.* e *Conocarpus erectus*.

As dunas móveis, distribuídas ao longo da região oeste e sudeste, apresentam vegetação esparsa, em constante sucessão ecológica. A cobertura herbácea domina, com destaque para espécies pioneiras como *Chamaecrista ramosa*, *Ipomoea pes-caprae*, *Hyptis cf. suaveolens* e *Heliotropium lanceolatum*. Em áreas protegidas dos ventos e com melhores condições edáficas, surgem manchas de vegetação arbustiva e subperenifólia, com espécies como *Chrysobalanus icaco*, *Anacardium occidentale* e *Crotalaria retusa* (Brasil, 2009b).

No Morro do Serrote, sobre afloramentos litólicos, ocorre vegetação pioneira psamófila com elementos de cerrado e caatinga (figura x), formando mosaicos de moitas e arbustos como *Jatropha molissima*, *Cereus jamacaru*, *Lantana camara* e *Byrsonima spp.* As espécies escleromórficas adaptadas ao spray marinho, como *Remirea maritima* e *Blutaparon portulacoides*, destacam-se nas faces voltadas para o mar.

Figura 9 - Afloramento rochoso com vegetação xerofítica no flanco do Serrote



Fotografia: Alexandre Carvalho (2022).

As formações de restinga arbórea, presentes nas dunas fixas do extremo sul, são as mais diversificadas e representam um ecótono entre vegetações de cerrado, caatinga e mata de tabuleiro (Brasil, 2009b; Arruda, 2007). Nessas áreas, predominam espécies lenhosas como *Anacardium microcarpum*, *Mouriri cearensis*, *Simarouba versicolor*, *Curatella americana* e *Commiphora leptophloeos*. O estrato herbáceo é menos denso, com gramíneas e leguminosas adaptadas à sombra e solos mais ricos em matéria orgânica.

No setor oeste do Parque, o ecossistema manguezal representa a Vegetação Pioneira com Influência Fluviomarinha (Pfm), associado ao estuário do Rio Guriú. As espécies arbóreas típicas incluem *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus*, além de herbáceas halófitas nos apicuns, como *Batis maritima* e *Sesuvium portulacastrum* (Fernandes, 2006; Bezerra, 2009). O mangue constitui um ambiente sensível e de importância ecológica elevada, embora vulnerável à pressão turística.

3.2 Aspectos socioeconômicos

A área de influência do Parque Nacional de Jericoacoara somava, em 2020, cerca de 108.971 habitantes distribuídos em mais de 1.660 km² (Brasil, 2022). Dentre esse conjunto, destaca-se o município de Jijoca de Jericoacoara, que, apesar de concentrar a maior parte da área do Parque, é o menor em extensão territorial e em número de habitantes. Em 2022, sua população foi registrada em 25.555 pessoas, com densidade demográfica de 122,26 hab/km², e a estimativa para 2024 projeta crescimento para 27.662 habitantes (IBGE, 2022). O território

municipal abrange 204,79 km², dos quais 199,49 km² são classificados como zona rural e apenas 5,3 km² como zona urbana. Dentro desta, a sede ocupa 4,22 km², enquanto a Vila de Jericoacoara, localizada no interior do Parque, corresponde a 1,08 km² (UECE, 2022). Ressalta-se que, embora em censos anteriores e em diversos documentos oficiais a Vila fosse classificada como zona rural, desde a Lei Complementar nº 108, de 12 de maio de 2017, que institui o Plano Diretor Municipal, passou a ser reconhecida como zona urbana.

Historicamente, até a década de 1970, a Vila de Jericoacoara era caracterizada por um modo de vida simples, baseado na pesca artesanal, na agricultura de subsistência e no artesanato, em um contexto de difícil acesso, realizado por trilhas nas dunas ou pelo mar, por meio dos portos de Camocim e Acaraú (Paulino, 2024). Fonteles (2004) destaca que o auge da pesca ocorreu entre 1965 e 1973, período em que a atividade sustentava as trocas comerciais locais. Entretanto, com a morte do comerciante Olavo Vasconcelos, responsável por articular a comercialização do pescado, a economia pesqueira entrou em declínio, ocasionando inclusive o esvaziamento populacional da vila. Esse período inicial, denominado pré-turístico, foi marcado por 'tempos lentos', em que as formas de produção do espaço eram rudimentares e prevalecia uma relação de proximidade com o meio natural.

No final da década de 1970, o turismo de aventura trouxe os primeiros visitantes, conhecidos como “mochileiros”, “batedores de trilhas” ou “hippies”, que buscavam experiências ligadas à natureza e hospedavam-se em casas de moradores (Paulino, 2024). Já na década seguinte, a presença de estrangeiros, especialmente europeus, tornou-se mais significativa, muitos deles passando a residir definitivamente na Vila. Esse movimento coincidiu com a visibilidade internacional conquistada em 1984, quando o jornal norte-americano *The Washington Post* elegeu Jericoacoara como a quarta praia mais bela do mundo, fato que impulsionou o turismo estruturado e ampliou o fluxo de visitantes (Brandão; Coriolano, 2016).

A segunda metade dos anos 1980 e a década de 1990 marcam a transição de um turismo primário para um turismo consolidado, impulsionado por políticas governamentais e pelo apelo cênico do “paraíso protegido”, associado à criação da Área de Proteção Ambiental de Jericoacoara. Nesse processo, estrangeiros e migrantes de outras regiões passaram a ocupar espaços econômicos antes dominados pelos moradores tradicionais, deslocando gradativamente atividades como a pesca e o artesanato (UECE, 2022; Brasil, 2011b).

Nos anos 2000, o turismo alcançou maior projeção nacional e internacional, com Jericoacoara consolidando-se como destino de sol e praia de referência, segundo o Ministério do Turismo (Brasil, 2010). Essa transformação repercutiu diretamente nos indicadores

socioeconômicos. Jijoca, que em 2002 ocupava a 128ª posição no ranking do PIB municipal do Ceará, passou para a 10ª posição em 2020, destacando-se nos setores de hospedagem, alimentação, comércio e serviços (Ceará, 2022). Paralelamente, o município apresentou expressivo avanço no Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, que passou de 0,189 em 1991 para 0,652 em 2010, refletindo melhorias em educação, saúde e renda (IBGE, 2022).

A dinâmica demográfica também revela contrastes. Em 2000, a densidade populacional média de Jijoca era de 59,03 hab./km², mas enquanto a zona rural apresentava apenas 33,87 hab./km², a sede atingia 814,24 hab./km² e a Vila de Jericoacoara, 1.752,32 hab./km². Em 2010, a Vila alcançou 2.516,37 hab./km², superando inclusive cidades como Sobral (1.560 hab./km²), o que evidencia a pressão sobre o ordenamento territorial, sobretudo diante das restrições legais impostas por estar cercada por uma unidade de conservação de proteção integral, onde novas construções são proibidas (UECE, 2024). Atualmente, no interior do Parque, permanecem cerca de 26 famílias, aproximadamente 100 pessoas, que mantêm vínculos com práticas tradicionais, como a pesca e o artesanato, mas que foram profundamente impactadas pelo novo cenário turístico (Brasil, 2011; UECE, 2024).

3.3 Conflitos socioambientais

O crescimento da Vila de Jericoacoara sobre a superfície de deflação tem provocado impactos significativos no ambiente físico, especialmente devido à impermeabilização do solo e à ausência de um sistema adequado de drenagem pluvial. Durante chuvas intensas, o escoamento superficial concentra-se nas áreas de maior declividade, como no setor de contato entre a superfície de deflação e a porção S-SW do promontório, afetando ruas principais da vila, como a Rua do Forró e a Rua Principal. Esses eventos resultam em danos estruturais a residências, hotéis, restaurantes e lojas, além da remoção de grandes volumes de areia, expondo o sistema de esgotamento sanitário e a rede elétrica subterrânea (UECE, 2022). A compactação do solo por veículos, carroças e pisoteamento de turistas reduz a infiltração, compromete a recarga dos aquíferos e aumenta a velocidade do escoamento superficial, dificultando ainda o acesso à vila, tanto pelo leste, via trilha do Preá, quanto pelos acessos da sede municipal (UECE, 2022).

A dinâmica das lagoas interdunares e a migração das dunas interagem com o tráfego de veículos, moldando a superfície de deflação e acentuando os processos erosivos. Segundo Meireles *et al.* (2011), em períodos de maior pluviosidade, antigas trilhas são retomadas e novas abertas para contornar corpos d'água.

O tráfego constante de veículos e transporte turístico origina depressões lineares que funcionam como canais de escoamento e erosão, promovendo a remobilização de sedimentos. Entre agosto e dezembro, meses de ventos mais intensos, essas depressões atuam como corredores de transporte eólico, conduzindo areia para o interior da vila, especialmente pelo acesso leste (Meireles *et al.*, 2011; UECE, 2022). Essas alterações criam desníveis de até 1,5 m, degradam o solo e dificultam a regeneração da vegetação herbácea e arbustiva. Trilhas com ondulações transversais acumulam água, forçando rotas alternativas desordenadas e ampliando os impactos ambientais, especialmente em trilhas alinhadas aos ventos predominantes NE-SE e na vertente sul do Serrote de Jericoacoara (UECE, 2022).

A valorização econômica do território, impulsionada pelo turismo internacional, exerce pressão sobre ecossistemas sensíveis, como as dunas. Eventos festivos e o tráfego turístico intenso já resultaram na remoção de dunas e intensificação da erosão (Pati, 2024; Paulino, 2025). Entre 1985 e 2023, a área urbanizada da vila cresceu, enquanto a vegetação nativa diminuiu e a Duna do Pôr do Sol sofreu rebaixamento superior a 50 metros (MapBiomas, 2023; Paulino, 2025).

A expansão urbana e as disputas fundiárias provocam tensões entre gestão pública, iniciativa privada e comunidades locais. A concessão do Parque à Urbia Cataratas em 2024 gerou conflitos sobre cobrança de ingressos e obras sem licenciamento ambiental (Paulino, 2025). A ausência de ações educativas e participativas aumenta os impactos negativos sobre populações tradicionais (Zhouri, 2008). Práticas turísticas não planejadas, como o “passeio do cavalo-marinho”, comprometem espécies protegidas (Martins *et al.*, 2022). A ocupação desordenada e a especulação imobiliária geram impactos ambientais diretos e ampliam desigualdades sociais, ao deslocar comunidades tradicionais e concentrar lucros em grandes investidores (Gondim *et al.*, 2024; Silva, 2024).

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Fundamentos da morfodinâmica costeira e do ambiente de dunas

A morfodinâmica costeira refere-se ao conjunto de processos físicos e geomorfológicos que atuam continuamente na modelagem da linha de costa e de suas feições associadas, como praias, estuários e, de forma central para este estudo, os sistemas dunares. Essa dinâmica é intrinsecamente influenciada por uma complexa interação de fatores naturais, incluindo o regime de ondas, as marés, a direção e intensidade dos ventos, e o aporte e transporte de sedimentos (Muehe, 1998; Tessler e Goya, 2011).

Os processos morfodinâmicos, como erosão, transporte e deposição de sedimentos, são fundamentais para a modelagem das paisagens costeiras. Esses fenômenos são impulsionados por diversos fatores ambientais, como a ação do vento, umidade, vegetação, marés e ondas. O transporte e a sedimentação ocorrem continuamente nas áreas costeiras, sendo controlados pelos ventos fortes, que resultam das diferenças de albedo e de troca de calor entre o mar, o continente e a atmosfera (Sígolo, 2009). A erosão eólica, por sua vez, manifesta-se por dois processos principais: a deflação, que consiste na remoção seletiva de partículas da superfície e pode formar bacias de deflação, e a abrasão eólica, caracterizada pelo desgaste e polimento de materiais devido ao impacto constante das partículas em movimento (Sígolo, 2009).

O transporte e a deposição de partículas pelo vento resultam na formação de registros geológicos característicos, sendo as dunas um dos principais testemunhos desse tipo de atividade (Sígolo, 2009). Os sedimentos que formam essas estruturas são geralmente de origem continental, transportados pelos rios até a costa, onde são redistribuídos pela deriva litorânea. Posteriormente, o vento carrega essas partículas para além da praia, acumulando-as em dunas (Pereira Filho, 2014). Fatores como a topografia, disponibilidade de material sedimentar, transporte e baixa umidade influenciam na geomorfogênese das dunas (Silva, 1993). Popp (2012) destaca que os grãos de areia, compostos predominantemente de quartzo, se acumulam conforme a direção preferencial do vento, formando estruturas assimétricas e volumosas.

O clima de ondas é outro fator essencial para os processos costeiros, determinando o transporte de sedimentos ao longo da linha de costa (Muehe, 1998). A energia das ondas, a frequência e a intensidade das tempestades regulam os processos de erosão e deposição na interface entre o continente e o oceano. No Atlântico Sul, os ventos que influenciam a dinâmica

costeira são controlados pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), pelo Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS) e pelos Anticiclones Polares Migratórios (APM), que influenciam a circulação atmosférica e, conseqüentemente, o regime de transporte sedimentar (Tessler; Goya, 2011). As marés, resultantes da interação gravitacional entre a Terra, a Lua e o Sol, bem como das forças centrífugas do sistema Terra-Lua, são determinantes na hidrodinâmica costeira. Elas influenciam diretamente o transporte de sedimentos, transferindo as zonas de arrebentação, surfe e espraiamento sobre o perfil da praia, além de gerar correntes em estuários e canais lagunares (Hoefel, 1998).

Nesse contexto, Bagnold (1941) estabeleceu os princípios físicos fundamentais do transporte eólico de sedimentos, demonstrando como os mecanismos de saltação, rastejamento e suspensão atuam na formação e migração das dunas. Esses processos são particularmente evidentes em regiões costeiras com ventos dominantes e suprimento sedimentar adequado, criando ambientes propícios para o desenvolvimento de diversas tipologias dunares.

A compreensão da morfologia dunar e suas tipologias avançou significativamente com os trabalhos de McKee (1979, 1982) e Pye e Tsoar (2009). Esses autores relacionaram as diversas formas das dunas ao suprimento sedimentar, aos regimes de vento e à presença de vegetação. Complementando essa perspectiva, Wasson e Hyde (1983) e Jackson, Cooper e Green (2014) desenvolveram tipologias detalhadas que permitem comparar sistemas dunares em diferentes contextos geográficos, evidenciando a diversidade morfológica global. Estudos em áreas como Corralejo, cidade situada na costa do nordeste de Fuerteventura, uma das ilhas Canárias da Espanha, por Malvárez *et al.* (2013), exemplificam a aplicação dessas tipologias em contextos internacionais.

O papel ecológico das dunas, especialmente sua função na proteção costeira, foi profundamente estudado por Hesp (2002). Pesquisas mais recentes, como as de Davidson-Arnott *et al.* (2024) e Costas *et al.* (2024), têm ampliado essa compreensão, demonstrando como as dunas frontais atuam como barreiras naturais essenciais contra eventos extremos, como tempestades e ressacas. A vegetação psamófila, com destaque para espécies pioneiras como a *Ipomoea pes-caprae*, desempenha um papel crucial na estabilização desses sistemas, contribuindo para a resiliência do ambiente costeiro (Deval, 1992).

Em escala microtopográfica, a interação entre o relevo e os padrões de fluxo de ar e transporte sedimentar tem sido objeto de estudos detalhados. Arens *et al.* (1995) e Wang *et al.* (2002) revelaram como variações sutis na superfície das dunas afetam esses processos. A complexidade da dinâmica dunar é ainda mais evidenciada por El belrhiti e Douady (2011), que demonstraram o delicado equilíbrio necessário para a manutenção das dunas barcanas. Em uma

abordagem mais recente, Parteli *et al.* (2014) e Assis e Franklin (2021) desenvolveram modelos avançados que buscam compreender a interação entre formas dunares isoladas e sistemas complexos, contribuindo para uma visão mais holística da morfodinâmica eólica.

A compreensão aprofundada desses sistemas naturais em sua dinâmica essencial permanece fundamental para qualquer abordagem de gestão costeira sustentável. A integração do conhecimento sobre os processos físicos, ecológicos e morfológicos das dunas, embasada em estudos clássicos e contemporâneos, é crucial para o planejamento e a conservação de ambientes tão sensíveis.

4.2 Uso e ocupação do solo em zonas costeiras

O uso e a ocupação do solo em zonas costeiras são processos historicamente marcados por intensa intervenção antrópica, frequentemente em desacordo com a vulnerabilidade ambiental desses ecossistemas. A faixa costeira é caracterizada por sua elevada dinamicidade física, ecológica e socioeconômica, concentrando atividades urbanas, turísticas e produtivas que pressionam seus sistemas naturais. Atualmente, uma parcela significativa da população mundial vive a menos de 10 km da costa, o que contribui para a intensificação dos impactos sobre áreas sensíveis, como as dunas costeiras (Martínez; Psuty; Lubke, 2004).

Nos últimos 50 a 80 anos, a intensificação do turismo litorâneo comercial e a expansão urbana desordenada têm impulsionado a degradação de ambientes outrora preservados. Essa pressão antrópica resulta na substituição de espécies nativas por exóticas, na remoção completa de dunas para expansão urbana e na sobrecarga de ecossistemas frágeis, gerando impactos profundos e muitas vezes irreversíveis (Martínez; Psuty; Lubke, 2004,).

A urbanização costeira, frequentemente em ritmo acelerado, tem superado os processos de ordenamento territorial e gestão ambiental. Entre os principais vetores de degradação identificados por diversos estudos estão o pisoteio, a compactação do solo e o tráfego de veículos sobre dunas, além de fatores mais amplos como a elevação do nível do mar e as mudanças climáticas (Pinho, 2019).

Esses tipos de uso do solo geram impactos específicos na morfodinâmica costeira. A expansão urbana desordenada e o turismo não planejado, como observado em diversas áreas costeiras brasileiras, podem levar à supressão da vegetação de dunas e à impermeabilização do solo, alterando os padrões de escoamento superficial e comprometendo a infiltração hídrica, o que intensifica os processos erosivos (Façanha *et al.*, 2017; Aquino, 2018). No litoral cearense, por exemplo, esses processos são particularmente visíveis. Em Uruaú, no município de

Beberibe/CE, a construção de estradas sobre dunas, aliada à remoção de vegetação e à impermeabilização do solo, comprometeu a infiltração hídrica e intensificou a erosão (Aquino, 2018). Na Praia do Icaraiá, em Caucaia/CE, a erosão costeira é agravada pela especulação imobiliária e ocupações irregulares que invadem a faixa de praia, ameaçando tanto os ecossistemas quanto à infraestrutura urbana (Façanha *et al.*, 2017). Além disso, a ocupação desordenada e o crescimento do turismo em áreas sensíveis têm provocado alterações significativas na morfologia das dunas, evidenciadas por mudanças na área, no perímetro e nos padrões de migração eólica (Meireles; Gorayeb; Pereira Filho, 2018). A construção de vias, estacionamentos e edificações turísticas interfere diretamente no transporte natural de sedimentos, reduzindo a capacidade de regeneração dos sistemas dunares (Brasil, 2011). Conseqüentemente, áreas recentemente ocupadas em zonas costeiras tornam-se especialmente vulneráveis ao avanço das dunas e a eventos erosivos.

A transformação de comunidades costeiras tradicionais em destinos turísticos internacionais impacta profundamente não apenas a paisagem física, mas também a estrutura sociocultural da região. O fluxo de veículos sobre dunas, aliado à pressão imobiliária, acelera processos de degradação ambiental, inclusive dentro dos limites de áreas protegidas. Estudos indicam (Dias, 2024) que a presença humana, mesmo em pequena escala, com atividades como agricultura familiar, criação de animais e extração de recursos, e sem infraestrutura adequada, pode gerar impactos ambientais relevantes.

Do ponto de vista jurídico, a proteção dos ecossistemas dunares é fragmentada. A Resolução CONAMA nº 303/2002 previa as dunas como Áreas de Preservação Permanente (APP), mas sua revogação criou uma lacuna normativa. A Lei Federal nº 12.651/2012 (Novo Código Florestal) não reconhece explicitamente as dunas móveis como APPs, o que compromete a efetividade da sua proteção legal (Pinheiro *et al.*, 2013). Além disso, a Constituição Estadual do Ceará de 1989, também não as classifica como áreas especialmente protegidas, agravando a vulnerabilidade jurídica desse ecossistema. A ausência de uma regulamentação clara e de fiscalização eficaz por parte dos órgãos ambientais contribui para a contínua degradação de suas funções ecológicas e morfológicas.

A responsabilidade pela proteção das dunas é compartilhada entre os entes federativos, sendo essencial a atuação coordenada entre órgãos públicos, como o Ministério Público, universidades, conselhos participativos e a sociedade civil organizada. A gestão integrada das zonas costeiras deve incluir ações de fiscalização, educação ambiental e planejamento territorial, com base em dados científicos atualizados (Borrini-Feyerabend *et al.*, 2017; Pinho, 2019).

Diante desse cenário, é urgente implementar políticas públicas e regulamentações que reconheçam as dunas móveis como áreas prioritárias de conservação. A ausência de normativas específicas e de fiscalização efetiva perpetua uma situação de vulnerabilidade jurídica e ecológica, pondo em risco ecossistemas fundamentais para a resiliência das zonas costeiras frente às mudanças ambientais globais.

4.3 Sensoriamento remoto e geoprocessamento na análise de ambientes costeiros

A crescente complexidade dos ambientes costeiros, marcada por sua intrínseca dinamicidade e vulnerabilidade, tem impulsionado a consolidação do sensoriamento remoto e do geoprocessamento como ferramentas analíticas indispensáveis. Essas geotecnologias, ao oferecerem uma capacidade sem precedentes de aquisição e análise de dados espaciais e temporais, tornaram-se pilares para o monitoramento ambiental, a avaliação de riscos e a formulação de políticas públicas eficazes na gestão costeira (Jensen, 2007; Longley *et al.*, 2015). A relevância dessas abordagens é corroborada por Tessler e Goya (2011), que destacam a necessidade de compreender os processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro, enquanto Boak e Turner (2005) enfatizam a precisão que essas ferramentas conferem à definição e detecção da linha de costa, um aspecto crucial para estudos geomorfológicos.

No âmbito do sensoriamento remoto, a coleta sistemática de imagens em diversas escalas espaciais e temporais viabiliza a análise multitemporal de transformações ambientais, permitindo a identificação de padrões e tendências de mudança (Salim *et al.*, 2018). Essa capacidade é particularmente valiosa em ambientes costeiros, onde os processos morfodinâmicos são altamente ativos (Hoefel, 1998). A utilização de séries temporais de imagens de satélite de média e alta resolução, como as provenientes dos satélites Landsat, Sentinel e a plataforma Google Earth, tem se mostrado fundamental para a detecção e quantificação de alterações provocadas por erosão, avanço das dunas, urbanização e outras ações antrópicas (Jensen, 2007). Corroborando essa perspectiva, estudos como os de Castro (2023) demonstram a eficácia dessas imagens para mapear a evolução da área útil de praias e os impactos da interferência humana em sistemas dunares, respectivamente. Mais recentemente, Zhang, Tan e Li (2024) ilustram o potencial de algoritmos de aprendizado de máquina aplicados a dados de sensoriamento remoto para analisar a dinâmica da desertificação eólica, evidenciando a contínua evolução e sofisticação dessas técnicas.

Paralelamente, o geoprocessamento, por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), oferece um conjunto robusto de métodos e técnicas computacionais para o

tratamento, análise e representação de informações georreferenciadas. A integração de diversas camadas de dados espaciais, incluindo topografia, uso e cobertura do solo, declividade, vulnerabilidade ambiental e zonas de conservação, proporciona uma visão holística e integrada do território (Longley *et al.*, 2015). Andrews, Gares e Colby (2002) já apontavam para a eficácia da modelagem SIG em dunas costeiras, uma premissa que se mantém central para a identificação de áreas de conflito entre o uso humano e a conservação ambiental. Essa capacidade analítica é essencial para a proposição de diretrizes para o ordenamento territorial e a mitigação de impactos, conforme destacado em metodologias para quantificação de perigos costeiros (Klein *et al.*, 2016).

Adicionalmente, o emprego de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), frequentemente combinados com dados espectrais, permite a identificação precisa de feições de relevo, a delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e o acompanhamento de processos erosivos e movimentos de massa (Chen *et al.*, 2020; Barnoaiea, 2018; Medvedev *et al.*, 2022). Essa capacidade de modelagem espacial é crucial para o planejamento territorial, possibilitando a proposição de intervenções compatíveis com os processos geomorfológicos da região e a prevenção de ocupações em áreas de risco, como encostas dunares instáveis ou planícies costeiras sujeitas à inundação e ao avanço do mar (Sousa; Costas; Ferreira, 2022; Dipaola; Bhardwaj; Sam, 2023).

Em síntese, a integração sinérgica entre sensoriamento remoto e geoprocessamento configura uma abordagem estratégica e indispensável para o diagnóstico, o monitoramento e a gestão eficaz dos ambientes costeiros. Essas ferramentas fornecem subsídios técnicos robustos e informações espaciais atualizadas para a formulação de políticas públicas e ações de manejo voltadas à conservação dos sistemas dunares e da rica biodiversidade associada.

4.4 Estudo de casos

A análise de estudos de caso em diferentes regiões costeiras do Brasil permite compreender de forma comparativa os impactos decorrentes do uso e ocupação do solo, oferecendo subsídios para a interpretação crítica da realidade observada no Parque Nacional de Jericoacoara. Ao evidenciar situações de pressão antrópica sobre dunas, manguezais e praias, esses exemplos reforçam a vulnerabilidade dos ambientes costeiros diante da urbanização desordenada, da especulação imobiliária e do crescimento do turismo.

O estudo realizado por Carriço e Pinho (2021) sobre a Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), em São Paulo, evidencia um cenário de intensa urbanização em uma

extensa planície costeira, onde o município de Santos concentra grande parte da população e das atividades portuárias e industriais. A ocupação desordenada da região gerou expansão sobre áreas ambientalmente frágeis, agravada pela ausência de infraestrutura adequada em determinados setores, resultando em impactos diretos sobre o ecossistema marinho. Além disso, a dinâmica portuária, marcada por dragagens e aumento do calado para movimentação de cargas, intensifica pressões ambientais, enquanto problemas históricos relacionados ao despejo irregular de esgoto comprometem a balneabilidade das praias e, conseqüentemente, a atratividade turística.

Situação semelhante é identificada na Ilha Comprida, no litoral sul paulista, analisada por Souza e Oliveira (2016). O município apresenta sobreposição de diferentes categorias de Unidades de Conservação, mas, apesar desse aparato legal, a ocupação urbana avançou de forma irregular desde a década de 1960, substituindo a vegetação nativa de restinga, dunas e manguezais por loteamentos e infraestrutura viária. Nas últimas décadas, a especulação imobiliária intensificou-se, consolidando áreas urbanizadas em setores de elevada fragilidade ambiental. Esse processo mostra-se conflitante com o zoneamento estabelecido pela Área de Proteção Ambiental (APA) da Ilha Comprida, destacando a dificuldade em compatibilizar conservação ambiental e interesses econômicos.

Na Paraíba, Barros *et al.* (2020) analisaram a zona costeira sul, abrangendo municípios como João Pessoa, Conde e Pitimbu. A expansão urbana, associada à agricultura em larga escala, provocou a redução significativa da cobertura vegetal nativa, especialmente de remanescentes de Mata Atlântica e manguezais. Entre 1988 e 2013, a região perdeu 60,4% de sua área florestada, enquanto a ocupação urbana cresceu 184,06%, concentrando-se nas proximidades das praias. Esse processo reflete a substituição de ecossistemas costeiros por monoculturas e empreendimentos urbanos, resultando em perda de biodiversidade e aumento da pressão sobre ambientes sensíveis.

Outro caso emblemático é o da Via Costeira, em Natal (RN), discutido por Silva (2015). A implantação de empreendimentos hoteleiros sobre dunas frontais, reconhecidas pela legislação ambiental como Áreas de Preservação Permanente (APPs), ocasionou terraplenagem, impermeabilização do solo e modificação da morfologia original. A instalação de sistemas de drenagem pluvial concentrados contribuiu para intensificar processos erosivos na faixa de praia, enquanto a supressão da vegetação nativa reduziu a resiliência do ecossistema. Esse exemplo ilustra de forma clara os conflitos entre o desenvolvimento turístico e a conservação de ambientes dunares, destacando a fragilidade dos ecossistemas frente às intervenções humanas.

No litoral cearense, Aquino, Mota e Pitombeira (2003) descrevem a rápida urbanização da Praia da Caponga, marcada pela ocupação de ambientes dinâmicos como campos de dunas móveis e manguezais. O avanço da construção civil, associado à retirada de areia das dunas para uso em obras, reduziu drasticamente a capacidade de alimentação sedimentar da praia, ocasionando intensa erosão costeira, com recuo da linha de preamar em até 170 metros. A degradação da orla afetou diretamente o turismo e as atividades recreativas, além de colocar em risco estruturas urbanas. As medidas paliativas adotadas pela comunidade local, como barreiras improvisadas com sacos de areia ou troncos, mostraram-se insuficientes diante da magnitude do problema, revelando a vulnerabilidade de áreas costeiras ocupadas sem planejamento.

De modo geral, os estudos analisados apresentam pontos de convergência: a ocupação desordenada das zonas costeiras, a fragilidade dos ambientes dunares e a insuficiência de mecanismos de gestão capazes de conter a degradação ambiental. Tais experiências demonstram que, mesmo em contextos distintos, a ausência de planejamento urbano, associada à pressão econômica e turística, conduz a impactos significativos sobre a morfodinâmica costeira. Essas lições são fundamentais para a compreensão dos desafios enfrentados no Parque Nacional de Jericoacoara, onde processos semelhantes podem comprometer a integridade dos sistemas dunares e a sustentabilidade da ocupação humana.

5 METODOLOGIA

5.1 Análise espacial e geoprocessamento

A análise espacial desenvolvida neste trabalho consiste em uma análise ambiental de base geográfica, fundamentada em técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, com o objetivo de compreender a organização morfo-hidrológica do relevo e sua relação com os processos ambientais atuantes na área de estudo. Essa abordagem permite integrar variáveis físicas do meio, como relevo, drenagem e uso e ocupação do solo, possibilitando a interpretação espacial dos condicionantes naturais e antrópicos da paisagem

Nesse contexto, a análise morfo-hidrológica foi precedida por uma avaliação comparativa de diferentes Modelos Digitais de Elevação (MDE), todos com resolução espacial de 30 metros. Foram considerados o SRTM (2000), o Copernicus GLO-30, cujos dados foram adquiridos pela missão TanDEM-X entre 2011 e 2015 e disponibilizados publicamente em 2019 (CDSE, 2019), o ANADEM, publicado em 2018, que corresponde a um Modelo Digital do Terreno (MDT) derivado do Copernicus GLO-30 com remoção do viés causado pela vegetação (ANA, 2018), e o FABDEM (Forests and Buildings removed Copernicus DEM), publicado em 2023, que constitui uma versão aprimorada do Copernicus GLO-30 ao eliminar distorções associadas à altura de edificações e árvores (Jeffrey; Laurence, 2023). Após a análise comparativa, optou-se pela utilização do FABDEM, por apresentar maior fidelidade à morfologia do terreno e melhor representação das feições locais.

A partir do MDE FABDEM, realizou-se a identificação automática das feições de escoamento. A rede de drenagem foi obtida no software QGIS (versão 3.42) por meio do complemento ArcGeek Calculator, utilizando a ferramenta Stream Network with Order. Este procedimento possibilitou a identificação e a hierarquização automática dos canais de acordo com o sistema de Ordem de Strahler (1957) — método no qual os canais de nascente sem tributários são classificados como de primeira ordem e a hierarquia só aumenta na confluência de dois segmentos de mesma magnitude —, permitindo assim a análise quantitativa da morfometria da bacia de drenagem local.

A organização geométrica da rede de drenagem foi avaliada por meio do cálculo da Razão de Bifurcação (R_b), conforme proposto por Horton (1945) e Strahler (1957). Esse parâmetro morfométrico quantifica o grau de ramificação dos canais e permite inferir padrões de similaridade geométrica entre as diferentes ordens fluviais.

A Razão de Bifurcação foi calculada a partir da relação entre o número de canais de uma determinada ordem (N_u) e o número de canais da ordem imediatamente superior (N_{u+1}), segundo a Equação 1:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Onde:

R_b : Razão da bifurcação;

N_u : Número de canais de uma determinada ordem;

N_{u+1} : Números de canais da ordem imediatamente superior

Os valores de R_b foram calculados para todos os pares de ordens consecutivas identificados na área de estudo, com base na rede de drenagem hierarquizada segundo o método de Strahler (1957). Posteriormente, foi determinada a Razão de Bifurcação Média (R_{bm}), obtida pela média aritmética dos valores individuais de R_b , conforme a Equação 2:

$$R_{bm} = \sum \frac{R_b}{n}$$

Em que n corresponde ao número de pares de ordens analisados. Esse procedimento permitiu uma avaliação integrada do padrão de ramificação da drenagem e de sua relação com os condicionantes morfoestruturais e topográficos da área de estudo.

Para identificar variações de elevação e avaliar a influência do uso e ocupação do solo, foram elaborados perfis topográficos de ocupação, traçados ao longo das principais trilhas e estradas ativas da área de estudo. As vias foram mapeadas a partir de uma imagem de satélite (CBERS-4A) de alta resolução, referente ao ano de 2025, enquanto os valores de elevação (Z) foram extraídos do MDE FABDEM, correspondente ao período de 2011–2015.

A diferença temporal entre o MDE (2011–2015) e a imagem de 2025 é reconhecida como limitação, mas a adoção do FABDEM é justificada por sua maior qualidade para representar feições geomorfológicas de fundo. Assim, os perfis de ocupação gerados sobre esse MDE permitem estabelecer uma linha de base da topografia pré-existente interceptada pelas vias e correlacionar a localização atual das trilhas com áreas mais vulneráveis à erosão e alagamento, como canais de drenagem e depressões interdunares.

A extração dos valores de elevação para cada perfil foi realizada por meio da ferramenta *Profile Tool* do QGIS, e os dados brutos de Distância Acumulada e Elevação foram exportados para planilhas para geração de gráficos de alta resolução e cálculo de métricas

geomorfológicas (declividade média e alívio total). Essa abordagem integrada sustenta uma análise robusta sobre a relação entre a alteração do relevo causada pelas vias e a dinâmica hídrica local.

Para a análise do uso e ocupação do solo, realizou-se a fotointerpretação de imagens referentes a dois períodos distintos. A primeira corresponde a uma imagem aérea de 1958, com resolução espacial de 9 metros, obtida junto ao banco de dados do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), a qual foi previamente ortorretificada e georreferenciada. A segunda refere-se a uma imagem do satélite CBERS-4A, de 2025, com resolução espacial de 2 metros, disponibilizada pela plataforma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Ambos os mapeamentos foram processados e produzidos no software QGIS 3.42, possibilitando a comparação temporal da expansão antrópica e das transformações paisagísticas no Parque Nacional de Jericoacoara.

5.2 Coleta e análise laboratorial

Foram utilizados materiais geológicos previamente coletados em diferentes compartimentos morfodinâmicos da área de estudo, abrangendo praias de barlavento e sotavento, superfícies de deflação externa e interna, dunas, afloramentos do Grupo Barreiras e o Morro do Serrote, no âmbito do projeto *Granular electrification in aeolian sand transport: Paradox or enigma?* (Autorização nº 85505-1 SISBIO) (Figura 2). As amostras foram obtidas em campanhas de campo realizadas entre 2022 e 2023, sendo, no presente estudo, empregada exclusivamente a base de dados sedimentológicos e o material já coletado, sem a realização de novas coletas em campo.

As coordenadas geográficas das amostras foram registradas com GPS e integradas aos mapas temáticos gerados no QGIS, assegurando a correlação espacial dos dados. A seleção dos pontos de coleta considerou a diversidade morfológica, tipos de cobertura do solo e proximidade com áreas de uso humano (Quadro 1).

Figura 10 – Mapa de localização dos pontos de coleta



Fonte: Banco de dados do Projeto *Granular electrification in aeolian sand transport: Paradox or enigma?* (Autorização No. 85505-1 9 SISBIO).

Quadro 1 – Descrição das amostras

Descrição	Amostra					
Praia - Barlavento	P1		P2		P3	
Praia - Sotavento	P5		P6		P7	
Superfície de deflação externa	PDE 1			PDE 2		
Superfície de deflação interna	PDI 1 e 2	PDI 3	PDI 4	PDI 5	PDI 6	PDI 7
Duna	D1	D2	D3	D4	D5	
Barreiras	B1			B2		
Morro	M1			M2		

Fonte: elaborado pela autora.

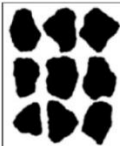
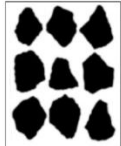
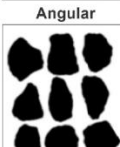
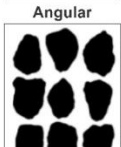
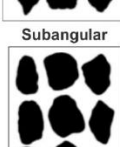
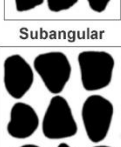







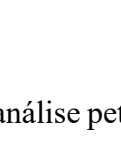
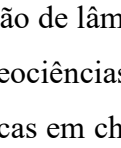
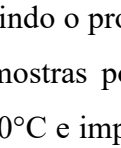
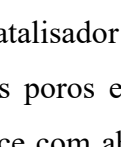
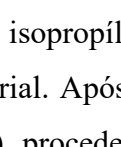
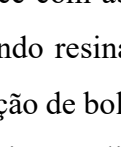
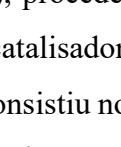
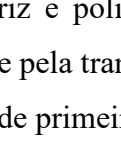
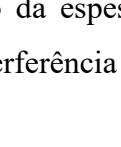
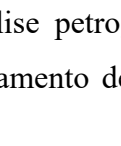
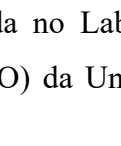


As análises sedimentológicas foram realizadas no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG), vinculado ao Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A análise granulométrica utilizou a metodologia de peneiramento

mecânico e úmido (Suguio, 1973), utilizando um agitador eletromagnético de peneiras com 13 peneiras entre 0,063 mm e 4,00 mm de abertura. O material retido em cada peneira foi pesado em balança de precisão, e os dados granulométricos foram processados no software ANASED 5.0 (Lima *et al.*, 2001), para o cálculo dos parâmetros estatísticos de granulometria (média, desvio padrão, assimetria e curtose). A caracterização das amostras seguiu a classificação de Folk e Ward (1957).

O teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) foi determinado pelo método de Calcímetro de Bernard (Lamas *et al.*, 2005), baseado na reação de 0,5 g de sedimento com 2 ml de HCl a 10%, que quantifica o volume de CO_2 liberado. A matéria orgânica (MO) foi estimada por meio da técnica de perda por ignição (LOI) (Davies, 1974), em que 2 g de sedimento foram aquecidos a 450 °C por 2 horas em forno mufla, calculando-se a diferença entre os pesos antes e após a ignição.

Após o peneiramento, as frações granulométricas entre 0,707 mm e 0,177 mm foram analisadas sob lupa binocular para avaliação do grau de esfericidade e de arredondamento, com base em uma adaptação da metodologia de Krumbein (1941), a partir da contagem de 300 grãos de quartzo por amostra (figura 3). Paralelamente, a partir dessas mesmas frações granulométricas, procedeu-se à análise composicional, por meio da seleção aleatória de 300 grãos por amostra, visando à identificação dos constituintes sedimentares. As classes composicionais identificadas compreenderam quartzo, minerais pesados, fragmentos de rocha, minerais acessórios, matéria orgânica e bioclastos, estes últimos representados por espículas e fragmentos de algas, fragmentos de carapaças e conchas, além de foraminíferos.

Figura 11 – Ficha de análise morfológica

Esfericidade Baixa										Esfericidade Alta											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Angular											Angular										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Subangular											Subangular										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Subarredondado											Subarredondado										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Arredondado											Arredondado										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100		91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Bem Arredondado											Bem Arredondado										

Fonte: adaptado de Krumbein, 1941.

Complementarmente, realizou-se a análise petrográfica das amostras de *beachrocks* através da confecção de lâminas delgadas, seguindo o protocolo do Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da UFPA para amostras porosas e fraturadas. Inicialmente, as amostras foram secas em chapa aquecedora a 50°C e impregnadas com uma solução de resina epóxi GY-250, catalisador YY95C e álcool isopropílico (na proporção 3:1), visando o preenchimento dos poros e a coesão do material. Após a cura de 18 horas em capela e o nivelamento da face com abrasivos (lixa 600#), procedeu-se à colagem em lâminas de vidro fosqueadas utilizando resina epóxi CY-280 e catalisador CH-957 (3:1), também aquecidos a 50°C para eliminação de bolhas. A etapa final consistiu no corte do excesso de rocha e desbaste gradual em serratriz e politriz até a obtenção da espessura padrão de 30 µm, monitorada microscopicamente pela transição da cor de interferência dos cristais de quartzo (de amarelado para branco/cinza de primeira ordem).

A análise petrográfica foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME) do Departamento de Geologia (DEGEO) da Universidade Federal do Ceará (UFC),

utilizando um microscópio petrográfico (luz polarizada plana e cruzada) acoplado a uma câmera digital e operado através do software NIS-Elements. Esse sistema permitiu a captura de imagens e a realização de medidas em escala micrométrica para identificar os componentes detríticos, a textura da rocha e, principalmente, caracterizar o cimento carbonático. A classificação dos tipos de cimento (acicular, fibroso, micrítico, etc.), da porosidade e das microfácies seguiu os critérios estabelecidos por Flügel (2010) e Tucker e Wright (1990).

6 RESULTADOS

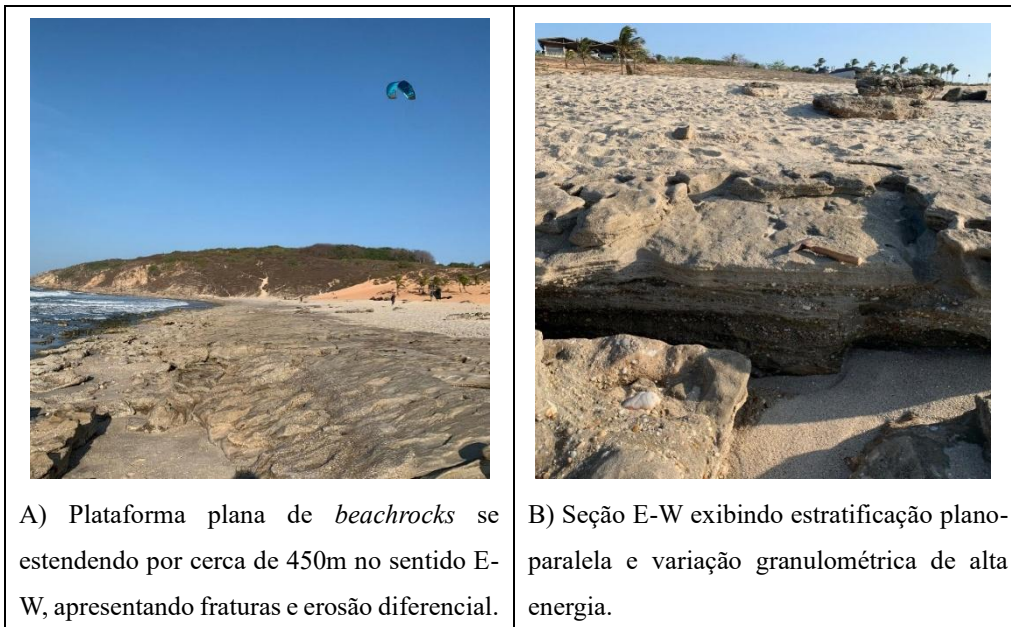
6.1 Aspectos sedimentológicos

6.1.1 Ocorrência de beachrocks em Jericoacoara

Em Jericoacoara, especificamente na Praia da Malhada, os *beachrocks* se distribuem continuamente na forma de uma plataforma plana ao longo de cerca de 800m, com largura no entorno de 20m e espessura aparente de cerca de 1m, exibindo inclinação no entorno de 15 graus para NW e NNE (figura 3A), além de ocorrerem de forma descontínua depositados sobre o Embasamento Pré-Cambriano. O topo da camada é composto por arenito médio a grosso, gradando para um arenito cascalhoso na base, mas exibindo alguns níveis ou lâminas de arenitos grossos entre os cascalhosos (figura 3B).

Macroscopicamente, a rocha sedimentar exibe coloração cinza esbranquiçada, sendo caracterizada como arenito estratificado grosso no topo e muito grosso na base, com grãos variando de 0,5 até 4,00 mm.

Figura 12 – Beachrocks de Jericoacoara



Fotografia: Alexandre Carvalho (2022).

Ao microscópio (Figura 4), a litofácies analisada, correspondente ao topo do depósito, é caracterizada como um arenito grosso a muito grosso, com matriz composta por

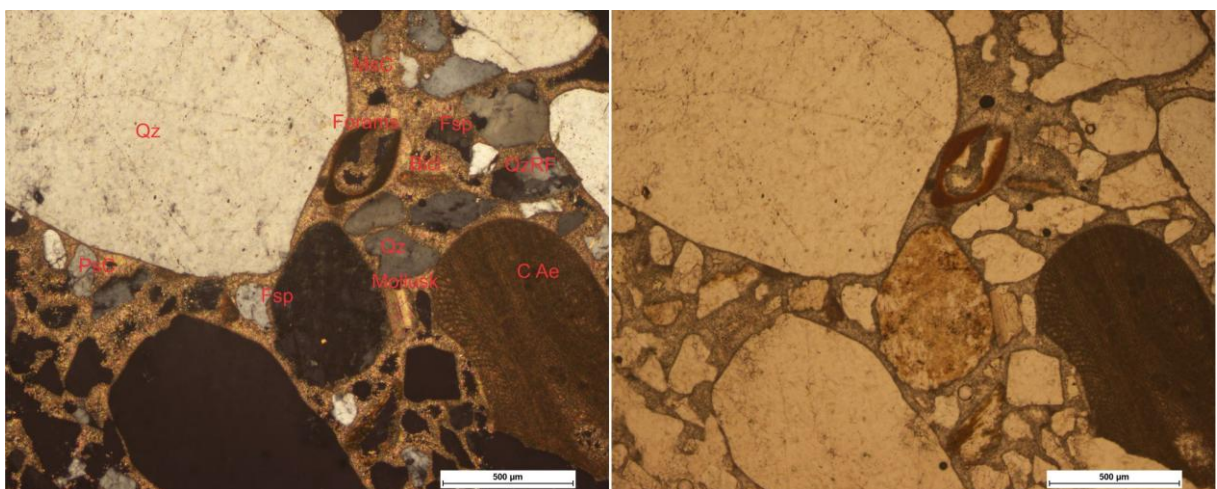
arenitos finos a médios, variando de pobre a moderadamente selecionado. A rocha é cimentada por carbonato de cálcio, com textura variando entre 5,00 e 40,00 μm , correspondendo a cerca de 26,35% da amostra. O cimento é predominantemente microespático e, secundariamente, pseudoespático, apresentando formas aciculares no entorno dos grãos, além da ocorrência pontual de cimento espático.

Os grãos são subangulosos e de baixa a média esfericidade, predominantemente flutuando na matriz/cimento e com raros contatos tangenciais, normalmente separados por cimento carbonático.

Exibe uma composição de grãos representada por cerca 69,80% de terrígenos, distribuídos entre 47,32% quartzo, 15,97% de feldspatos, distribuídos entre microclina, feldspato potássio e plagioclásio, variando de bem preservados a muito alterados. Essa rocha também apresenta 4,73% de fragmentos de rochas quartzíticas e 0,30% de micas (biotitas e moscovitas) e 1,48% de minerais pesados.

Também apresenta um conteúdo de 3,85% de bioclastos e carapaças carbonáticas de organismos distribuídas entre algas coralíneas (1,01%), foraminíferos (0,18%), bivalves (0,30%), moluscos (0,41%) e bioclastos não identificáveis (1,95%).

Figura 13 – Amostra J-1.1: Seção delgada com e sem nicois cruzados, respectivamente à esquerda e direita da foto. Mostra uma composição predominantemente formada por quartzo(Qz) e feldspatos(Fsp) e fragmentos de rochas quartzíticas(QzRF), além de bioclastos(Bicl) não identificados, algas coralinas(CAe), moluscos(Mollusk) e foraminíferos(Forams). O cimento nesta seção é predominantemente microespático(MsC) e pseudoespático(PsC).



Fonte: elaborado pela autora.

6.1.2 Praia

As amostras da faixa praial revelaram contrastes marcantes entre os setores de barlavento e sotavento, tanto na granulometria quanto nos parâmetros estatísticos, morfoscópicos e composicionais (quadro 2). No setor de barlavento (P1, P2 e P3), predominou a areia grossa, embora com diferenças notáveis entre as amostras. A amostra P1 apresentou baixa seleção, sendo classificada como pobremente selecionada, com curtose mesocúrtica e distribuição aproximadamente simétrica. Em P2, a seleção foi mais eficiente, caracterizando-a como bem selecionada, ainda com curtose mesocúrtica e assimetria positiva, indicando maior homogeneidade no transporte sedimentar. Já a P3 destacou-se pela maior heterogeneidade, sendo classificada como muito pobremente selecionada, com curtose muito leptocúrtica e assimetria muito positiva.

Os parâmetros morfoscópicos também variaram dentro do barlavento. P1 apresentou baixa esfericidade e grãos predominantemente angulares, enquanto P2 e P3 exibiram grãos subarredondados, porém com esfericidade distinta, baixa em P2 e alta em P3. Do ponto de vista composicional (gráfico 1), P1 apresentou 55,34% de quartzo, com expressiva presença de bioclastos (31,66%), seguida por fragmentos de rocha (7,33%), minerais pesados (5,33%) e traços de minerais acessórios (0,33%). Em P2, o quartzo manteve-se dominante (53%), com aumento dos bioclastos para 38,99%, fragmentos de rocha em 8%, e ausência de minerais pesados. P3 apresentou 57% de quartzo, 31,33% de bioclastos e elevação nos fragmentos de rocha (11,67%), sem registro de minerais pesados, acessórios ou matéria orgânica.

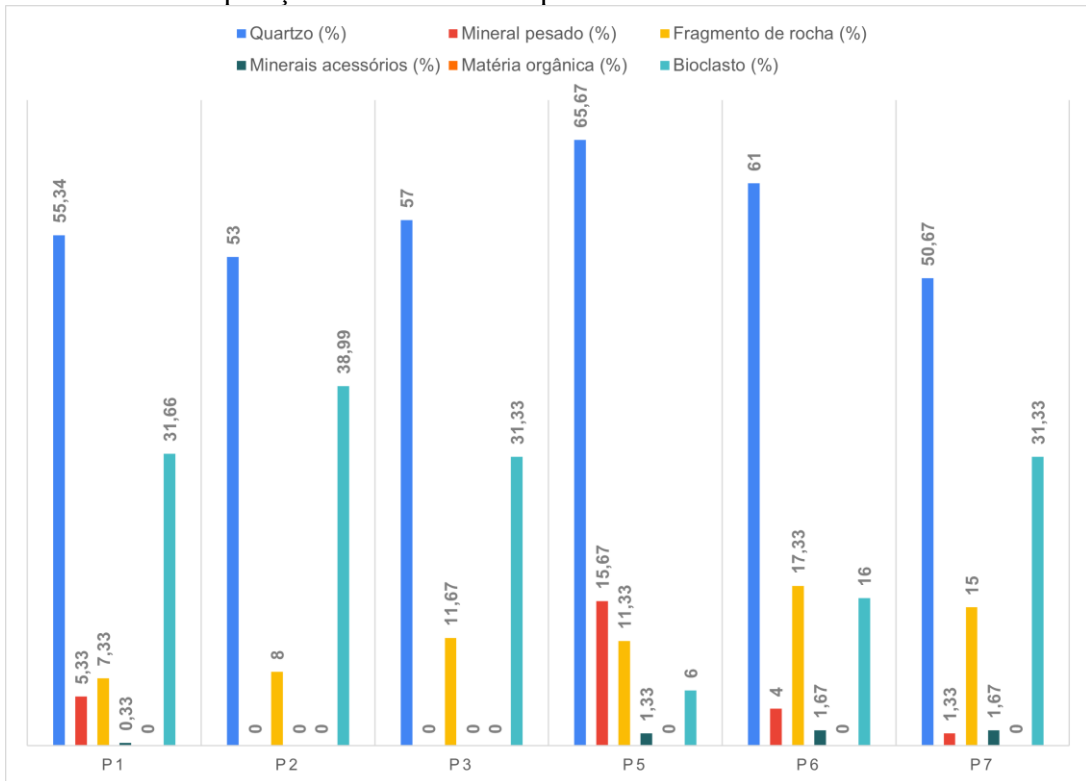
Quadro 2 – Parâmetros granulométricos das amostras de praia

Amostra	Classificação	Grau de seleção	Curtose	Assimetria	Esfericidade	Arredondamento
P1	Areia Grossa	Pobremente Selecionado	Mesocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Baixa	Angular
P2	Areia Grossa	Bem Selecionado	Mesocúrtica	Positiva	Baixa	Subarredondado
P3	Areia Grossa	Muito Pobremente Selecionado	Muito Leptocúrtica	Muito Positiva	Alta	Subarredondado
P5	Areia Média	Moderadamente Selecionado	Mesocúrtica	Negativa	Baixa	Subarredondado
P6	Areia Fina	Moderadamente selecionado	Platicúrtica	Aproximadamente Simétrica	Alta	Subangular
P7	Areia Fina	Moderadamente selecionado	Platicúrtica	Aproximadamente Simétrica	Alta	Subangular

Fonte: elaborado pela autora.

A composição bioclástica reforçou a diferenciação interna dessas amostras. Em P1, espículas e fragmentos de algas representaram 17,66%, seguidos por carapaças e conchas (8%) e foraminíferos (6%). Foram identificados foraminíferos bentônicos e planctônicos, totalizando 18 indivíduos, sendo 15 bentônicos, representados pelos gêneros *Pyrgo*, *Elphidium* e *Quinqueloculina*, e 3 planctônicos, atribuídos à espécie *Globorotalia menardii*. Em P2 e P3, a predominância foi de foraminíferos (16,33% e 15%), acompanhados por espículas e fragmentos de algas (13,33% e 12,33%) e carapaças e conchas (9,33% e 4%). Os teores de CaCO₃ variaram de 14,85% (P3) a 22,05% (P1), enquanto a matéria orgânica oscilou entre 0,6% (P1) e 1,0% (P3).

Gráfico 1 – Composição das amostras de praia



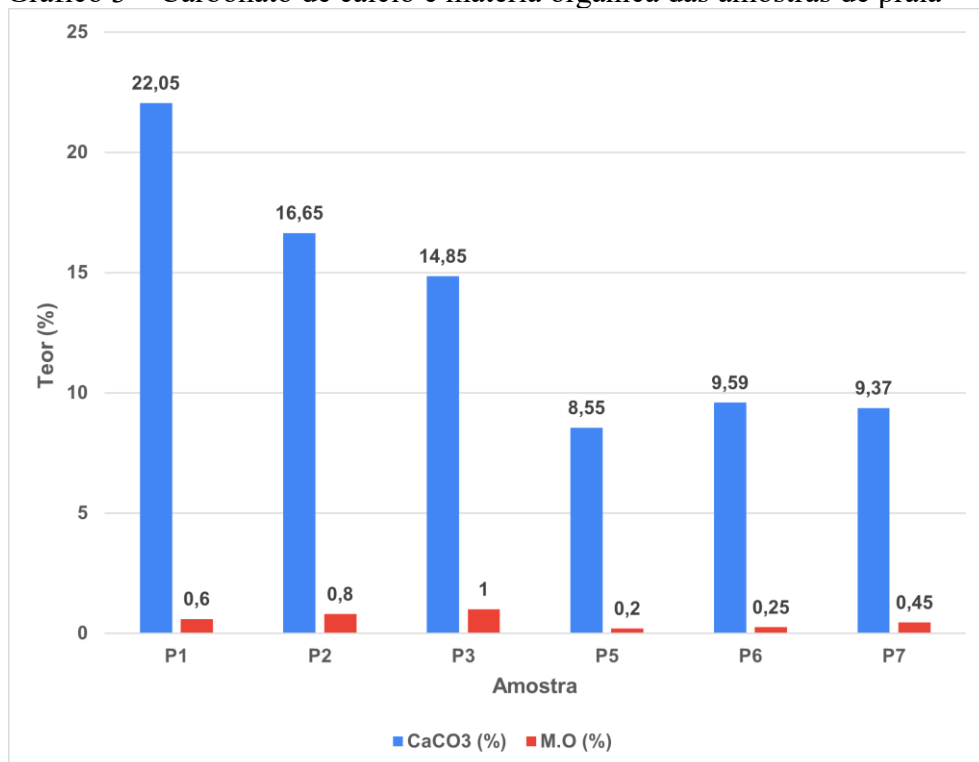
Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 2 – Composição dos tipos de grãos bioclásticos das amostras de praia



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 3 – Carbonato de cálcio e matéria orgânica das amostras de praia



Fonte: elaborado pela autora.

No setor de sotavento (P5, P6 e P7), a granulometria apresentou maior diversidade textural (quadro 2). P5 foi composta por areia média, moderadamente selecionada, com curtose mesocúrtica e assimetria negativa. As amostras P6 e P7 foram classificadas como areia fina, ambas moderadamente selecionadas, com curtose platicúrtica e assimetria aproximadamente simétrica. Nos parâmetros morfoscópicos, observou-se maior homogeneidade. P5 apresentou esfericidade baixa, com grãos subarredondados, enquanto P6 e P7 exibiram esfericidade alta e predominância de grãos subangulares.

Na composição sedimentar, o quartzo também domina o sotavento, mas com características próprias (gráfico 1). P5 apresentou 65,67% de quartzo, com baixa proporção de bioclastos (6%), fragmentos de rocha (11,32%) e minerais pesados (15,67%). Em P6, o quartzo ficou em 61%, com 16% de bioclastos, fragmentos de rocha em 17,33%, minerais pesados em 4% e minerais acessórios em 1,67%. A amostra P7 apresentou o menor teor de quartzo (50,67%) e o maior teor de bioclastos entre todas as praias do setor de sotavento (31,33%), além de fragmentos de rocha (15%), minerais pesados (1,33%) e minerais acessórios (1,67%).

A composição dos bioclastos reforça essa diferenciação (gráfico 2). Em P5 predominam espículas e fragmentos de algas (5,33%) e quase ausência de foraminíferos (0,67%), sem registro de carapaças e conchas. Já em P6 e P7, os fragmentos de carapaças e conchas são o grupo predominante (11,33% e 18,33%), seguidos por espículas e fragmentos de algas (3% e 4%) e foraminíferos (1,67% e 9%). Os teores de CaCO_3 foram inferiores aos do barlavento, variando entre 8,55% (P5) e 9,59% (P6), enquanto a matéria orgânica variou entre 0,2% (P5) e 0,45% (P7).

6.1.2 Superfície de deflação

As amostras da superfície de deflação revelaram padrões sedimentares distintos entre os setores externo (PDE) e interno (PDI), embora ambos tenham apresentado predominância de areia média (Quadro 3). Na superfície de deflação externa (PDE 1 e PDE 2), os sedimentos foram moderadamente selecionados, com curtose platicúrtica e assimetria negativa, refletindo condições deposicionais relativamente uniformes. Os parâmetros morfoscópicos mostraram baixa esfericidade em ambas as amostras, com grãos angulares em PDE 1 e subarredondados em PDE 2, indicando diferenças sutis no grau de retrabalhamento.

Na superfície de deflação interna, apesar de a areia média também predominar, observou-se maior variabilidade granulométrica e estatística. A amostra PDI 1 apresentou pobre

seleção, curtose mesocúrtica e assimetria muito negativa, indicando ambiente de maior instabilidade sedimentar. Em contraste, PDI 2 e PDI 6 exibiram seleção moderada, curtose mesocúrtica e assimetria positiva. A amostra PDI 3 destacou-se por apresentar curtose platicúrtica e assimetria muito positiva, sugerindo influência de processos que favorecem enriquecimento de caudas finas. Já PDI 4 e PDI 5 mostraram características mais equilibradas, com seleção moderada, curtose mesocúrtica e assimetria aproximadamente simétrica.

Os parâmetros morfoscópicos reforçam essa diversidade interna. PDI 1 e PDI 6 apresentaram esfericidade contrastante, baixa em PDI 1 e alta em PDI 6, embora ambas com grãos subarredondados. As amostras PDI 2 e PDI 3 mostraram esfericidade alta, com grãos subarredondados em PDI 2 e subangulares em PDI 3. As amostras PDI 4 e PDI 5 foram similares, ambas com alta esfericidade e grãos subangulares, sugerindo participação mais intensa de processos eólicos capazes de aprimorar o arredondamento e o grau de abrasão dos grãos.

Quadro 3 – Parâmetros granulométricos das amostras da superfície de deflação

Amostra	Classificação	Grau de seleção	Curtose	Assimetria	Esfericidade	Arredondamento
PDE 1	Areia Média	Moderadamente Selecionado	Platicúrtica	Negativa	Baixa	Angular
PDE 2	Areia Média	Moderadamente Selecionado	Platicúrtica	Negativa	Baixa	Subarredondado
PDI 1	Areia Média	Pobrememente Selecionado	Mesocúrtica	Muito Negativa	Baixa	Subarredondado
PDI 2	Areia Média	Moderadamente Selecionado	Mesocúrtica	Positiva	Alta	Subarredondado
PDI 3	Areia Média	Moderadamente selecionado	Platicúrtica	Muito Positiva	Alta	Subangular
PDI 4	Areia Média	Moderadamente selecionado	Mesocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Alta	Subangular
PDI 5	Areia Média	Moderadamente selecionado	Mesocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Alta	Subangular
PDI 6	Areia Média	Moderadamente selecionado	Mesocúrtica	Positiva	Alta	Subarredondado

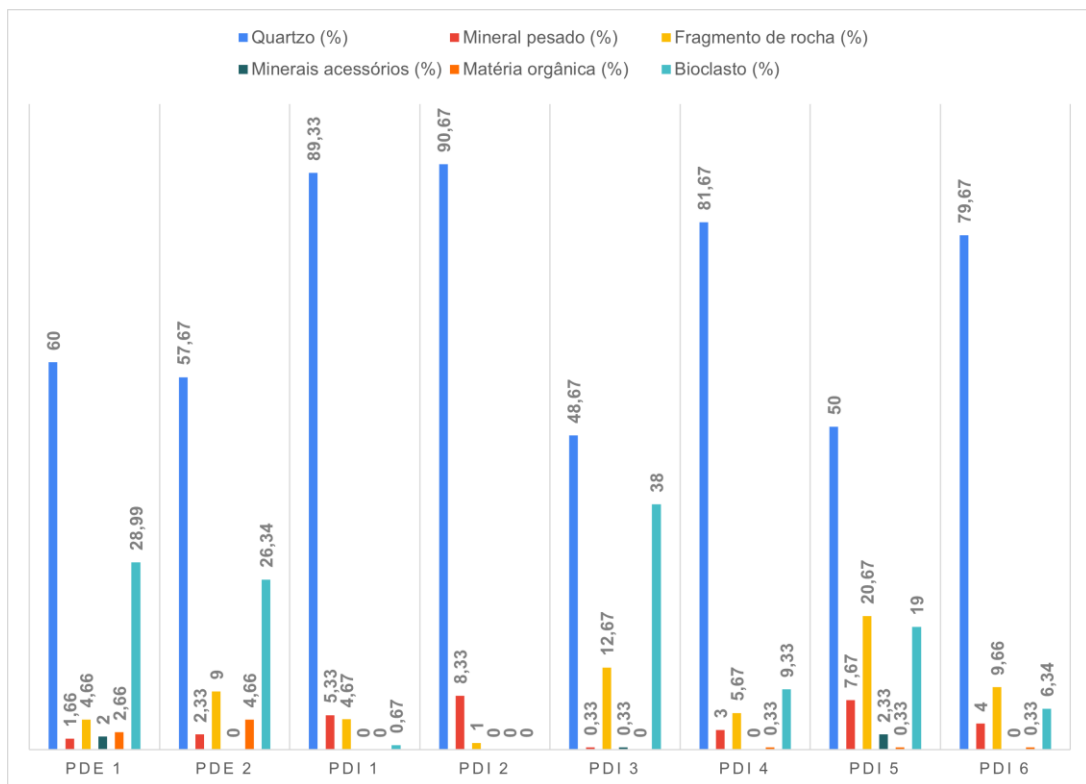
Fonte: elaborado pela autora.

A composição mineralógica evidenciou o predomínio do quartzo em todas as amostras da superfície de deflação (gráfico 1), variando de 48,67% (PDI 3) a 90,67% (PDI 2). Na planície externa, PDE 1 apresentou 60% de quartzo, com alta participação de bioclastos (28,99%), seguida por fragmentos de rocha (4,66%), minerais acessórios (2%) e minerais pesados (1,66%). PDE 2 manteve padrão semelhante, com 57,67% de quartzo, 26,34% de

bioclastos, fragmentos de rocha em 9%, maior presença de minerais pesados (2,33%) e ausência de minerais acessórios.

No setor interno, PDI 1 e PDI 2 foram as amostras mais ricas em quartzo, com 89,33% e 90,67% de quartzo, respectivamente, e quase ausência de outros componentes. Por outro lado, PDI 3 apresentou o menor teor de quartzo (48,67%), acompanhado por alto percentual de bioclastos (38%) e fragmentos de rocha (12,67%). PDI 4, PDI 5 e PDI 6 apresentaram quartzo predominante, com 81,67%, 50% e 79,67%, respectivamente, além de proporções variáveis de bioclastos (9,33%, 19% e 6,34%), fragmentos de rocha (5,67%, 20,67% e 9,66%), minerais pesados (3%, 7,67% e 4%) e minerais acessórios (0%, 2,33% e 0%).

Gráfico 4 – Composição das amostras da superfície de deflação

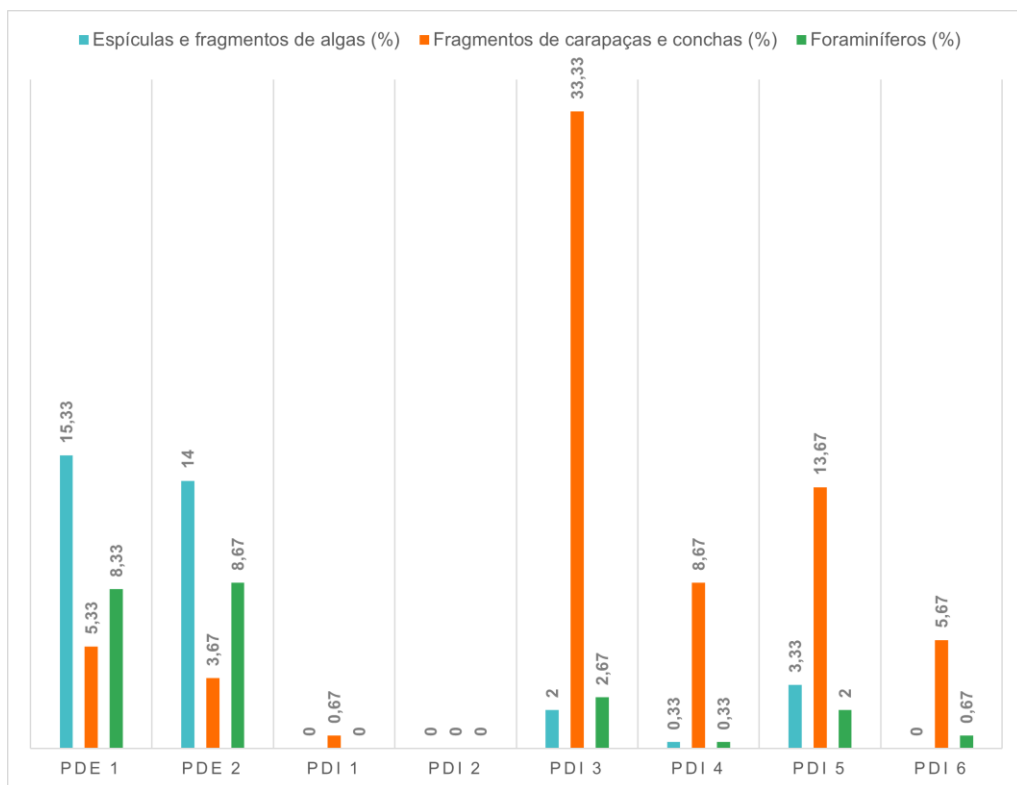


Fonte: elaborado pela autora.

A composição bioclástica apresentou padrões igualmente distintos (gráfico 5). Na planície externa, PDE 1 mostrou predominância de espículas e fragmentos de algas (15,33%), seguida por fragmentos de carapaças e conchas (5,33%) e foraminíferos (8,33%). PDE 2 apresentou composição similar, com 14% de espículas e fragmentos de algas, 3,67% de carapaças e conchas e 8,67% de foraminíferos. Em PDI 1 e PDI 2, a presença de bioclastos foi mínima ou inexistente. Em PDI 3, predominaram fragmentos de carapaças e conchas (33,33%), acompanhados por menores proporções de espículas e fragmentos de algas (2%) e foraminíferos

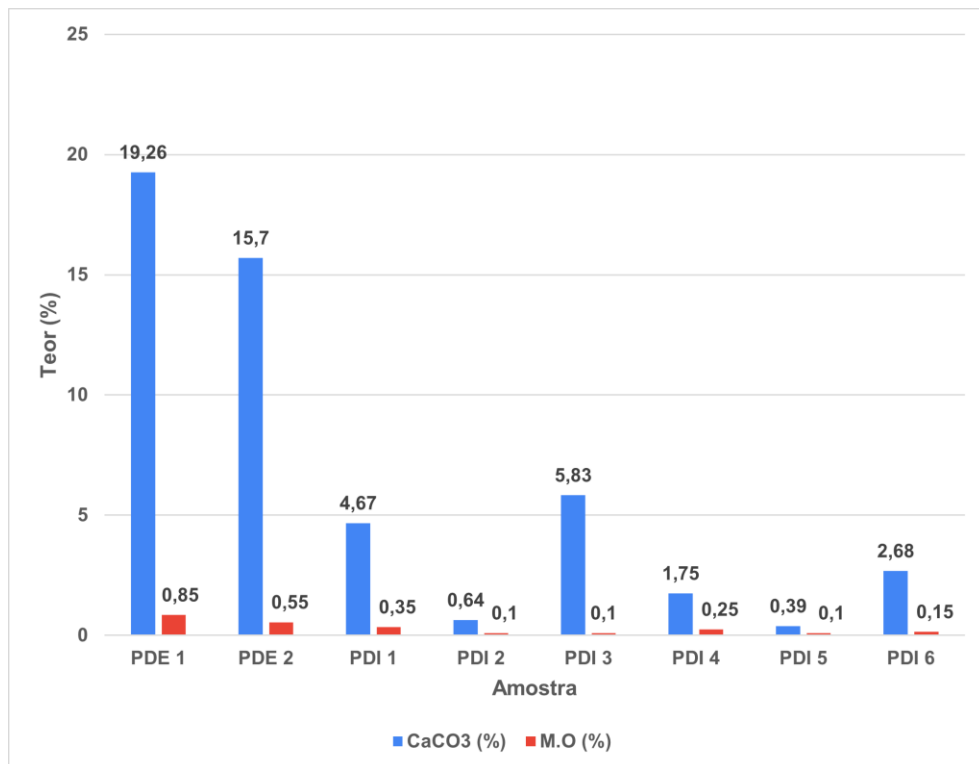
(2,67%). As amostras PDI 4, PDI 5 e PDI 6 também apresentaram domínio de carapaças e conchas (8,67%, 13,67% e 5,67%), enquanto espículas e fragmentos de algas (0,33%, 3,33% e 0%) e foraminíferos (0,33%, 2% e 0,67%) ocorreram em proporções reduzidas. Os teores de CaCO_3 na superfície de deflação variaram amplamente, refletindo a heterogeneidade da contribuição bioclástica (gráfico 6). Os valores oscilaram entre 0,39% (PDI 5) e 19,26% (PDE 1), ao passo que a matéria orgânica apresentou valores baixos, entre 0,1% (PDI 2, PDI 3 e PDI 5) e 0,85% (PDE 1).

Gráfico 5 – Composição dos tipos de grãos bioclásticos das amostras de superfície de deflação



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 6 – Carbonato de cálcio e matéria orgânica das amostras de superfície de deflação



Fonte: elaborado pela autora.

6.1.3 Dunas

As amostras coletadas nas dunas (D1 a D5) apresentaram uma predominância de areia média e fina, sendo todas classificadas com grau de seleção moderadamente selecionado (Quadro 4). Em relação aos parâmetros estatísticos, as amostras de areia média (D1 e D2) exibiram um comportamento leptocúrtico, com curtose muito leptocúrtica em D1 e leptocúrtica em D2. Ambas as amostras apresentaram assimetria voltada para as frações mais finas, sendo muito positiva em D1 e positiva em D2. Nas amostras de areia fina (D3, D4 e D5), observou-se uma maior variação nos parâmetros de curtose e assimetria. A amostra D3 apresentou curtose leptocúrtica e distribuição aproximadamente simétrica. Já a amostra D4 exibiu curtose mesocúrtica e assimetria negativa. Por fim, a amostra D5 se destacou com curtose platicúrtica e assimetria positiva. Os padrões morfoscópicos das amostras de dunas também revelaram variações. As amostras D1, D2 e D3 apresentaram baixa esfericidade, com grãos predominantemente subangulares a subarredondados. Em contraste, as amostras D4 e D5 exibiram alta esfericidade, com grãos subarredondados (D4) e subangulares (D5).

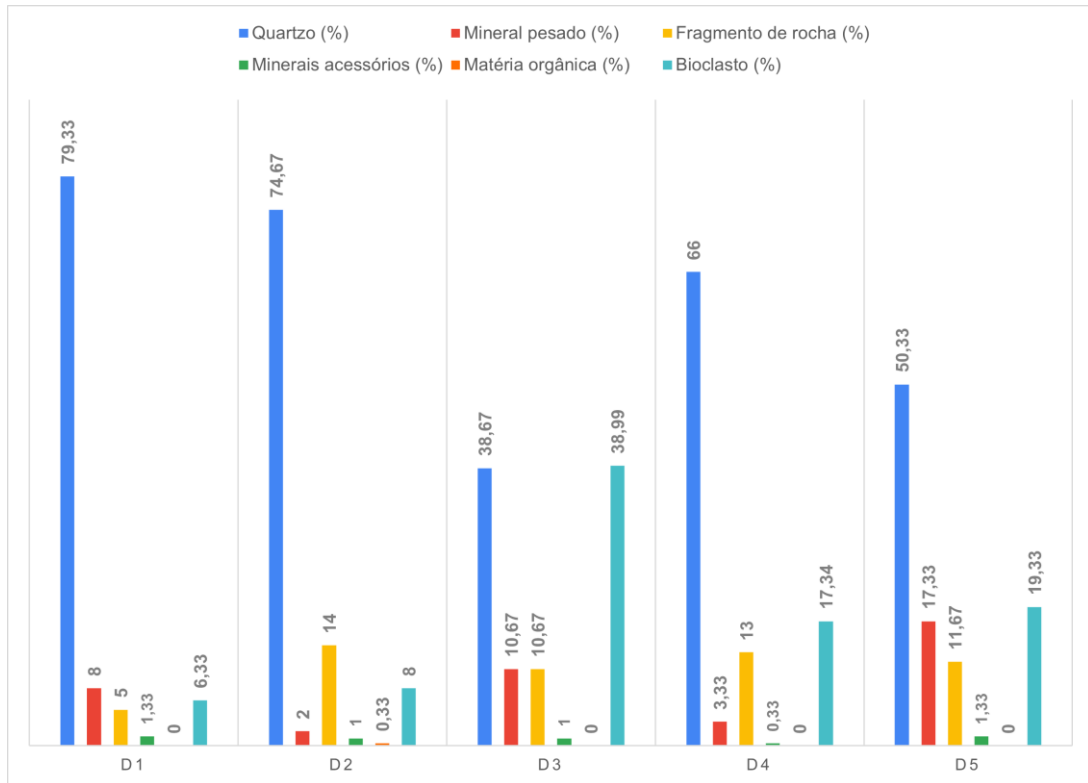
Quadro 4 – Características granulométricas das amostras de duna

Amostra	Classificação	Grau de seleção	Curtose	Assimetria	Esfericidade	Arredondamento
D1	Areia Média	Moderadamente Selecionado	Muito Leptocúrtica	Muito Positiva	Baixa	Subangular
D2	Areia Média	Moderadamente Selecionado	Leptocúrtica	Positiva	Baixa	Subangular
D3	Areia Fina	Moderadamente selecionado	Leptocúrtica	Aproximadamente Simétrica	Baixa	Subarredondado
D4	Areia Fina	Moderadamente selecionado	Mesocúrtica	Negativa	Alta	Subarredondado
D5	Areia Fina	Moderadamente selecionado	Platicúrtica	Positiva	Alta	Subangular

Fonte: elaborado pela autora.

Na composição mineralógica das dunas, o quartzo predomina (Gráfico 7), embora com variações significativas. Em D1, o quartzo representa a maior proporção (79,33%), seguido por mineral pesado (8%), bioclastos (6,33%), fragmento de rocha (5%) e minerais acessórios (1,33%). D2 manteve uma alta proporção de quartzo (74,67%), com fragmentos de rocha (14%), bioclastos (8%), mineral pesado (2%) e minerais acessórios (1%). A amostra D3 apresentou a menor porcentagem de quartzo (38,67%), com um aumento notável nos bioclastos (38,99%), mineral pesado (10,67%) e fragmentos de rocha (10,67%), além de 1% de minerais acessórios. As amostras D4 e D5 retornaram a uma alta proporção de quartzo (66% e 50,33%, respectivamente), com bioclastos de 17,34% e 19,33%, fragmentos de rocha de 13% e 11,67%, mineral pesado de 3,33% e 17,33%, e minerais acessórios de 0,33% e 1,33%.

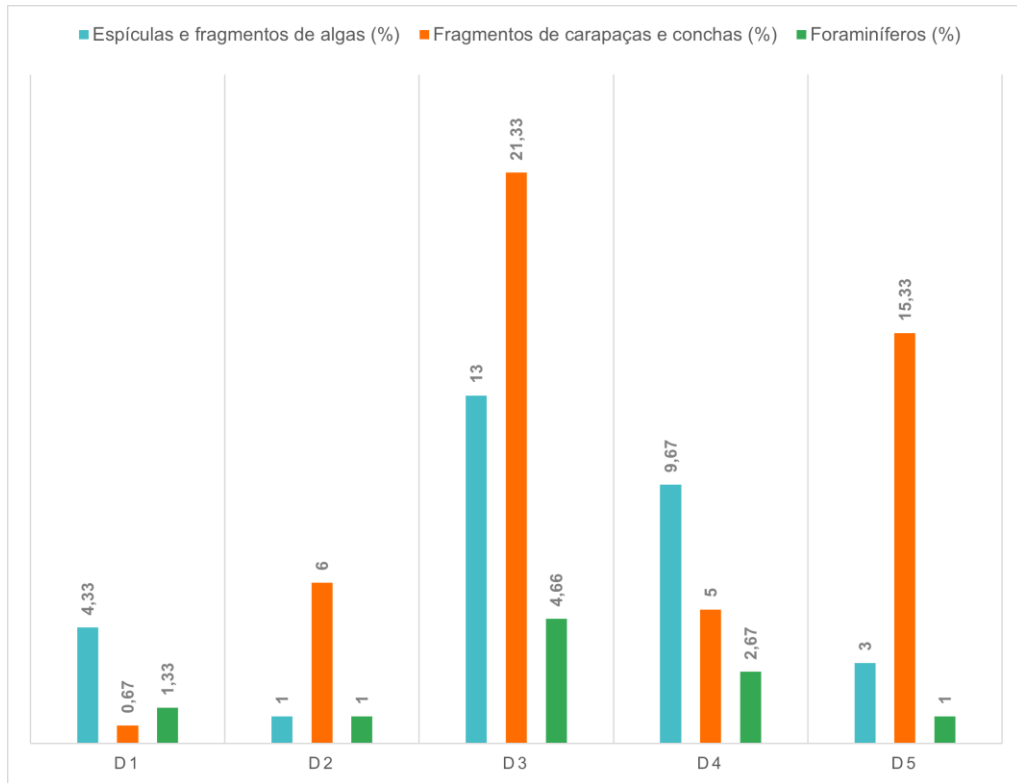
Gráfico 7 – Composição das amostras de duna



Fonte: elaborado pela autora.

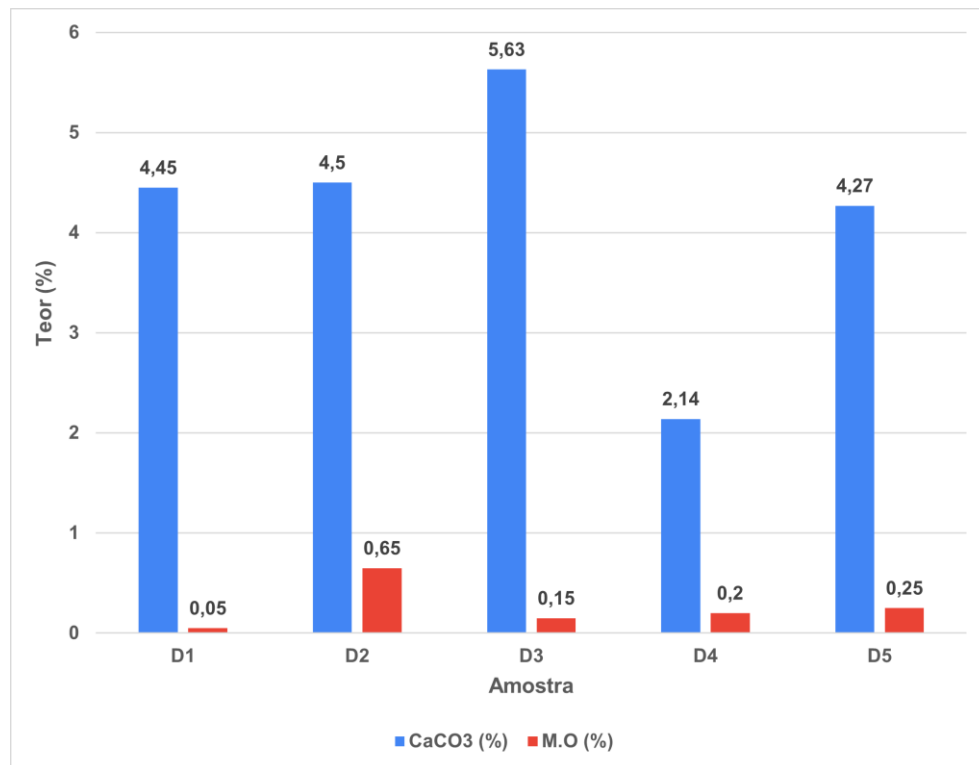
A composição dos bioclastos (Gráfico 8) também variou entre as amostras. Em D1, houve predominância de espículas e fragmentos de algas (4,33%), com pequenas proporções de fragmentos de carapaças e conchas (0,67%) e foraminíferos (1,33%). Em D2, os fragmentos de carapaças e conchas (6%) foram predominantes, com espículas e fragmentos de algas (1%) e foraminíferos (1%). D3 apresentou a maior diversidade, com fragmentos de carapaças e conchas (21,33%), espículas e fragmentos de algas (13%) e foraminíferos (4,66%). D4 mostrou predominância de espículas e fragmentos de algas (9%), enquanto D5 apresentou predominância de fragmentos de carapaças e conchas (15,33%), sendo que ambas as amostras exibiram baixa predominância de foraminíferos (2,67% e 1%, respectivamente).

Gráfico 8 – Composição dos tipos de grãos bioclásticos das amostras de duna



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 9 – Carbonato de cálcio e matéria orgânica das amostras de duna



Fonte: elaborado pela autora.

Por fim, a análise química revelou que o Carbonato de cálcio (CaCO_3) nas dunas variou de 2,14% (D4) a 5,63% (D3), e a Matéria Orgânica (M.O.) variou entre 0,05% (D1) e 0,65% (D2) (Gráfico 9).

6.1.4 Grupo Barreirass

As amostras do Grupo Barreiras (B1 e B2) foram classificadas como areia média, apresentando, em ambos os casos, um grau de seleção muito pobremente selecionado. Em relação aos parâmetros estatísticos, ambas as amostras foram caracterizadas como extremamente leptocúrticas. A assimetria foi muito positiva nas duas amostras, o que reflete um predomínio relativo de partículas mais finas, coerente com os teores de argila observados, de 6,814% na amostra B1 e 8,361% na amostra B2. Apresentaram alta esfericidade, porém com diferenças no arredondamento dos grãos: enquanto a amostra B1 foi caracterizada por grãos arredondados, a amostra B2 apresentou grãos subarredondados.

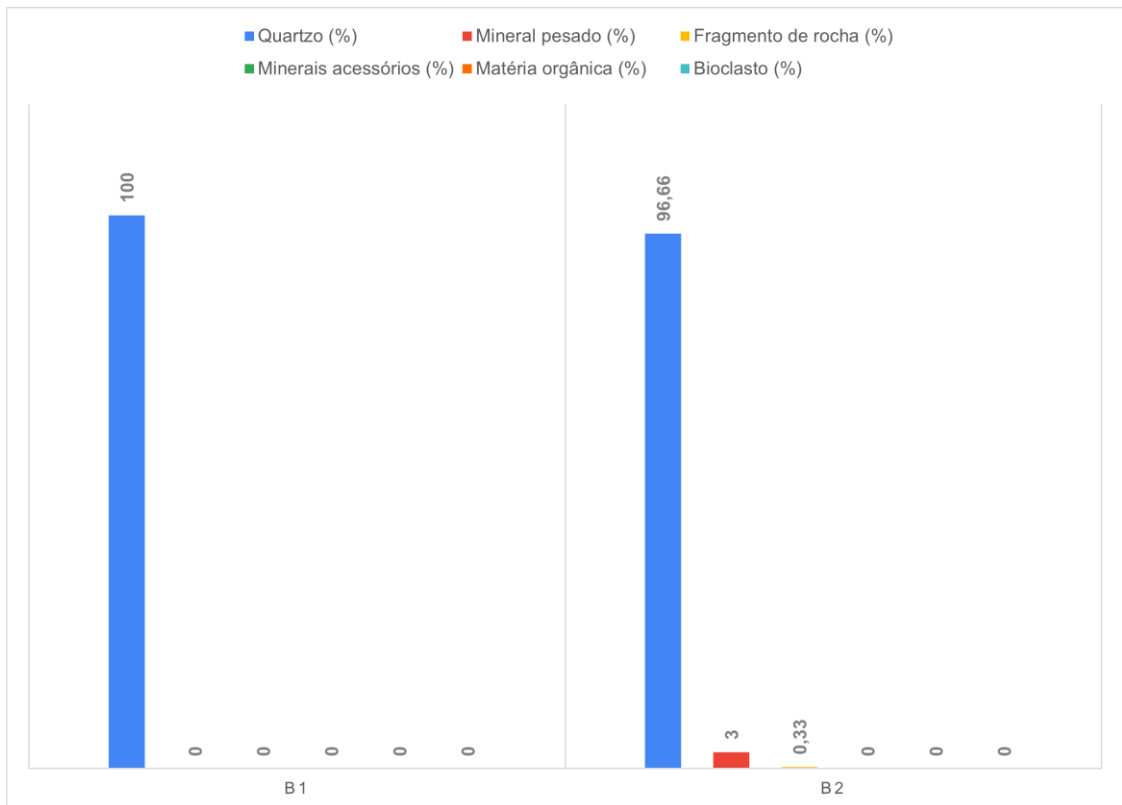
Quadro 5 – Características granulométricas das amostras do Grupo Barreiras

Amostra	Classificação	Grau de seleção	Curtose	Assimetria	Esfericidade	Arredondamento
B1	Areia Média	Muito pobremente selecionado	Extremamente Leptocúrtica	Muito Positiva	Alta	Arredondado
B2	Areia Média	Muito pobremente selecionado	Extremamente Leptocúrtica	Muito Positiva	Alta	Subarredondado

Fonte: elaborado pela autora.

Na composição mineralógica (Gráfico 10), o quartzo é praticamente exclusivo nas amostras do Grupo Barreiras. Em B1, o quartzo atinge 100%, sem qualquer presença de bioclastos, fragmentos de rocha, minerais pesados, minerais acessórios ou matéria orgânica. Em B2, o quartzo representa 96,66%, com pequenas contribuições de minerais pesados (3%) e fragmentos de rocha (0,33%). Por fim, a análise química indicou que o teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) nas amostras do Grupo Barreiras variou de 1,8% (B1) a 2,25% (B2), enquanto a Matéria Orgânica (M.O.) apresentou valores de 1,15% (B1) a 1,2% (B2).

Gráfico 10 – Composição das amostras do Grupo Barreiras



Fonte: elaborado pela autora.

6.1.5 Morro do Serrote

As amostras provenientes do Morro do Serrote (M1 e M2), coletadas na cobertura eólica de coloração branca e vermelha, foram classificadas como areia fina, ambas apresentando grau de seleção moderadamente selecionado (quadro 6). Em termos estatísticos, as duas amostras exibiram curtose mesocúrtica e assimetria negativa. Em relação à morfoscopia, as amostras (M1 e M2) apresentaram grãos subarredondados, porém com diferenças quanto à esfericidade. A amostra M1 mostrou baixa esfericidade, enquanto a M2 apresentou um valor intermediário (alta/baixa – 50%).

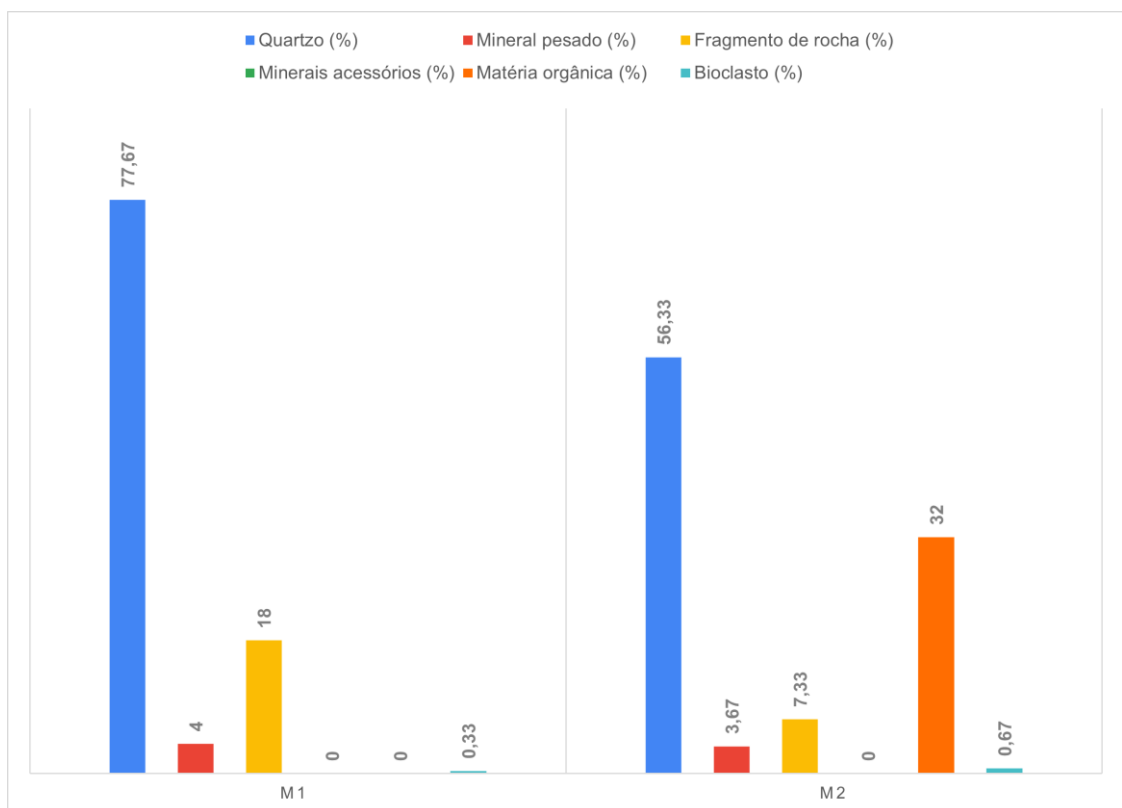
Quadro 6 – Características granulométricas das amostras do Morro do Serrote

Amostra	Classificação	Grau de seleção	Curtose	Assimetria	Esfericidade	Arredondamento
M1	Areia Fina	Moderadamente Selecionado	Mesocúrtica	Negativa	Baixa	Subarredondado
M2	Areia Fina	Moderadamente Selecionado	Mesocúrtica	Negativa	Alta/Baixa (50%)	Subarredondado

Fonte: elaborado pela autora.

Na composição mineralógica (Gráfico 11), o quartzo predomina, mas com a presença de outros materiais. Em M1, o quartzo representa 77,67%, acompanhado por fragmentos de rocha (18%), mineral pesado (4%) e bioclasto (0,33%), sem matéria orgânica ou minerais acessórios. Em M2, o quartzo diminui para 56,33%, enquanto a matéria orgânica aumenta significativamente para 32%; fragmentos de rocha (7,33%), minerais pesados (3,67%) e bioclastos (0,67%) também estão presentes. Quanto aos bioclastos (Gráfico 11), a amostra M1 apresenta apenas fragmentos de carapaças e conchas (0,33%), e M2 mostra um pequeno aumento desse componente (0,67%), enquanto espículas e fragmentos de algas e foraminíferos estão ausentes em ambas. Por fim, os teores de Carbonato de cálcio (CaCO_3) no Morro oscilaram entre 0,85% (M2) e 1,48% (M1), enquanto a Matéria Orgânica (M.O.) variou de 0,3% (M1) a 0,9% (M2).

Gráfico 11 – Composição das amostras do Morro do Serrote



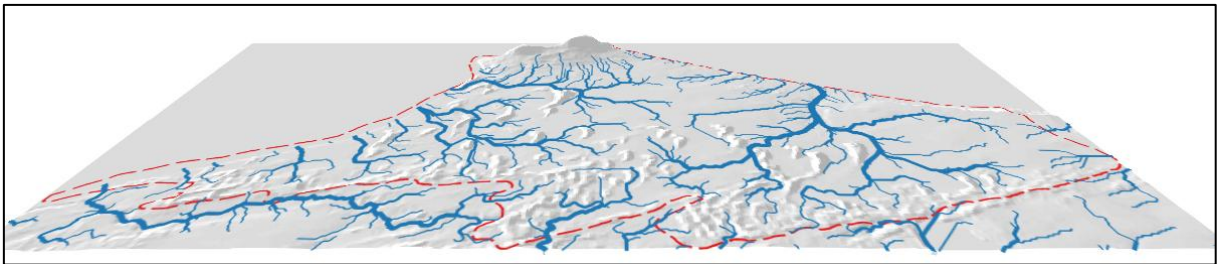
Fonte: elaborado pela autora.

6.2 Drenagem superficial e perfis topográficos

6.2.1 Análise da rede de drenagem e hierarquização fluvial

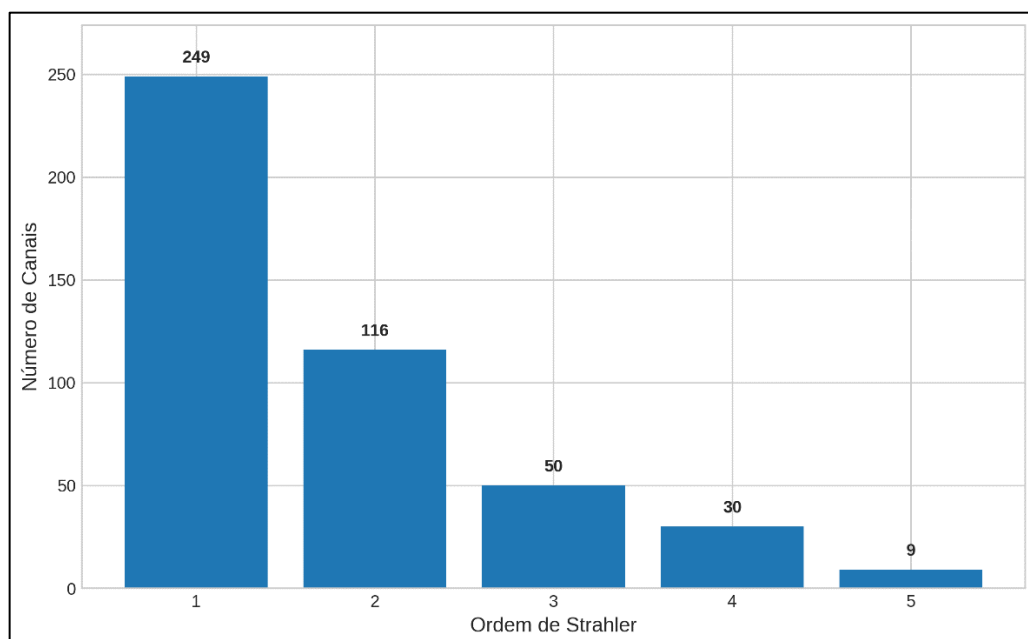
A caracterização da rede de drenagem da área de estudo foi realizada a partir do MDE (FABDEM, 2023), permitindo a extração dos canais e sua classificação hierárquica (figura 5). A distribuição quantitativa dos canais, classificados segundo o método de Strahler, revelou um total de 454 segmentos fluviais mapeados. A análise da frequência por ordem hierárquica demonstrou uma predominância dos canais de menor ordem, com um decréscimo numérico conforme o aumento da hierarquia, conforme apresentado no gráfico de distribuição. Os dados obtidos indicam a seguinte contagem absoluta para cada ordem (gráfico 12):

Figura 14 - Representação tridimensional do relevo e da rede de drenagem da área de estudo



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 12 – Distribuição do número de canais por ordem de Strahler



Fonte: elaborado pela autora.

A organização geométrica da rede de drenagem foi avaliada por meio da Razão de Bifurcação (R_b), cujos valores calculados para os pares de ordens consecutivas estão apresentados na Tabela 1. Os resultados indicam variações nos valores de R_b entre as diferentes ordens, refletindo diferenças no grau de ramificação dos canais. A Razão de Bifurcação Média (R_{bm}) obtida para a área de estudo foi de 2,3666.

Tabela 1 – Valores de razão de bifurcação (R_b) por par de ordens

Par de Ordens (u / u+1)	Nu (Canais)	Nu+1 (Canais)	Cálculo (R_b)	Resultado R_b
1 ^a / 2 ^a	249	116	249 / 116	2,1466
2 ^a / 3 ^a	116	50	116 / 50	2,3200
3 ^a / 4 ^a	50	30	50 / 30	1,6667
4 ^a / 5 ^a	30	9	30 / 9	3,3333

Fonte: elaborado pela autora.

6.2.2 Caracterização topográfica dos perfis

Para avaliar a interação entre a infraestrutura viária e a dinâmica hidrológica local, foram elaborados quatro perfis topográficos coincidentes com os eixos das principais vias de acesso (estradas/trilhas) que cortam a área de estudo (figura 6). A definição destes transectos sobre as superfícies compactadas teve como objetivo caracterizar a geometria vertical das estradas e identificar pontos de intercepção com a rede de drenagem natural. A Tabela 2 apresenta os dados morfométricos calculados para cada transecto, incluindo extensão linear, variações altimétricas e valores de declividade.

Tabela 2 – Parâmetros morfométricos dos perfis topográficos das vias de circulação

Perfil	Comprimento (m)	Alívio Total (m)	Elev. Mínima (m)	Elev. Máxima (m)	Decliv. Média (%)	Decliv. Máxima (%)
Estrada Principal	8.624,36	9,71	4,42	14,13	0,11	6,35
Estrada 1	3.512,00	9,67	4,79	14,46	0,28	3,58
Estrada 2	4.248,86	20,22	8,41	28,63	0,48	29,54
Estrada do Morro	1.624,46	51,4	21,83	73,23	3,16	24,07

Fonte: elaborado pela autora.

Com base nos dados apresentados e na espacialização gráfica dos perfis, detalha-se o comportamento de cada segmento:

- **Estrada do Morro:** Este perfil, com extensão de 1.624,46 m, caracteriza-se por interceptar as maiores cotas altimétricas da área, atingindo uma elevação máxima de 73,23 m. É o trecho que apresenta a maior amplitude altimétrica (Alívio Total de 51,40 m) e a maior declividade média (3,16%) entre as amostras, indicando um relevo acidentado e de forte gradiente ascendente.
- **Estrada Principal:** Sendo o transecto mais extenso, com 8.624,36 m, apresenta um relevo predominantemente suave, evidenciado pela menor declividade média do conjunto (0,11%). A variação altimétrica é baixa (alívio de 9,71 m), com a cota mínima atingindo 4,42 m na depressão central do perfil, sugerindo uma zona de acumulação ou proximidade com o nível de base local.
- **Estrada 2:** Com 4.248,86 m de comprimento, este perfil destaca-se por apresentar o maior pico de declividade máxima (29,54%), superando inclusive a Estrada do Morro neste parâmetro pontual. Embora sua elevação máxima seja de 28,63 m, a presença de variações abruptas no terreno resulta em um alívio total de 20,22 m, indicando a existência de irregularidades topográficas significativas ou feições erosivas locais ao longo do traçado.
- **Estrada 1:** Apresenta o comportamento mais regular entre os perfis analisados. Ao longo de seus 3.512,00 m, a amplitude altimétrica restringe-se a 9,67 m (similar à Estrada Principal), com declividade máxima de apenas 3,58%. As cotas oscilam suavemente entre 4,79 m e 14,46 m, denotando uma superfície de topo ou planície com pouca dissecação vertical.

Figura 15 – Mapa dos canais de drenagem e de localização dos perfis topográficos

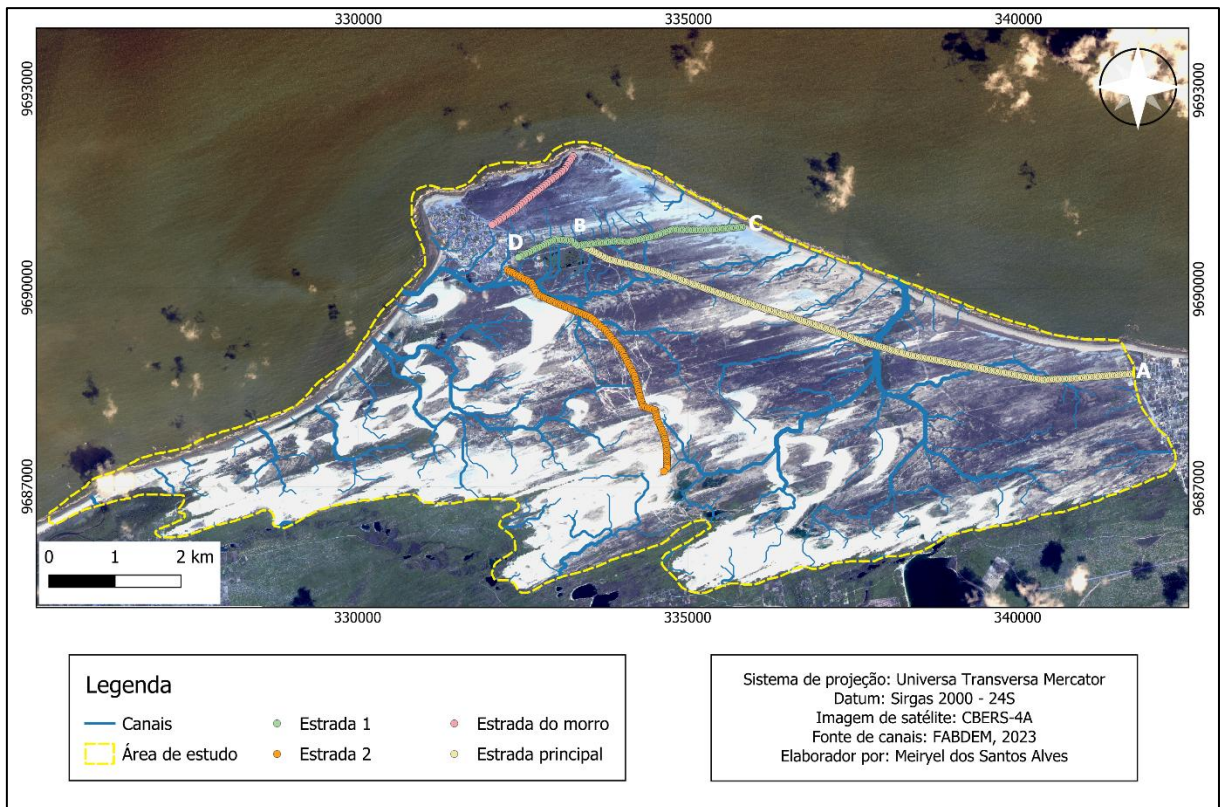
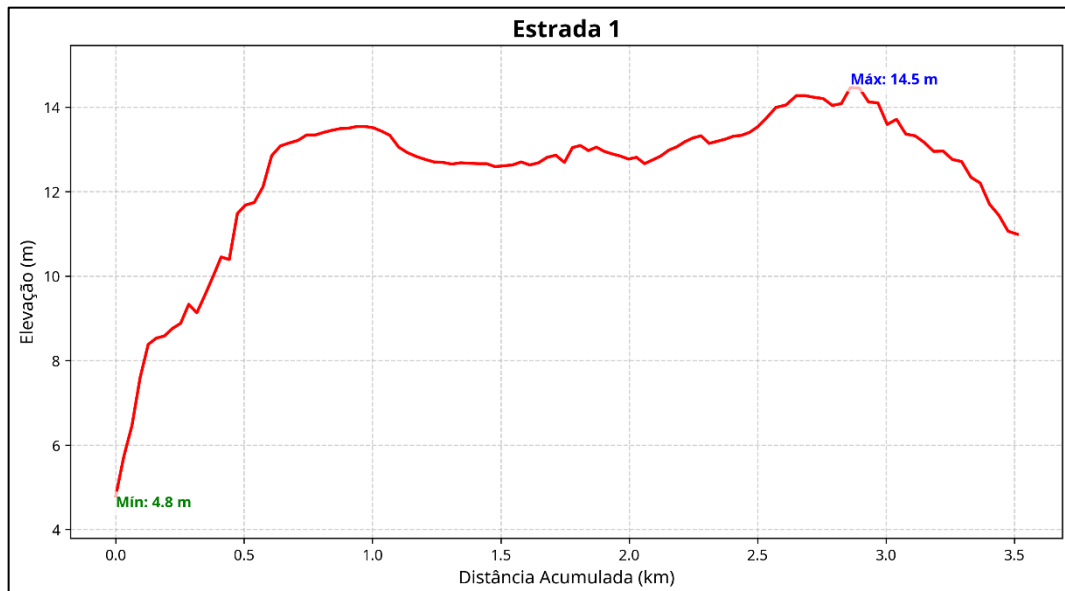
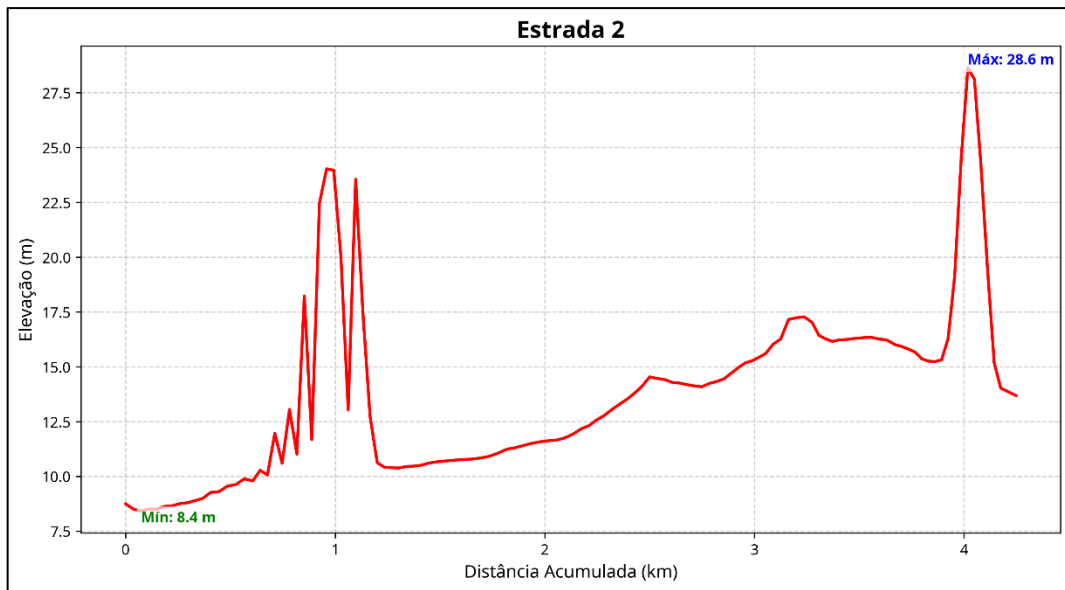


Gráfico 13 – Perfil topográfico da estrada 1, com orientação no sentido C–D



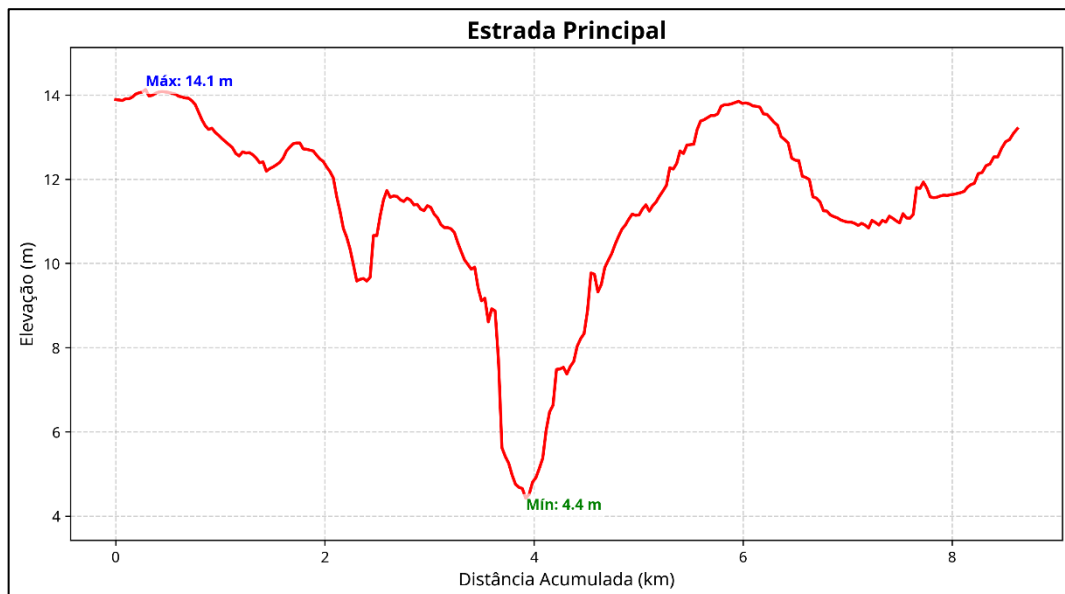
Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 14 – Perfil topográfico da estrada 2, com orientação no sentido de A-B.



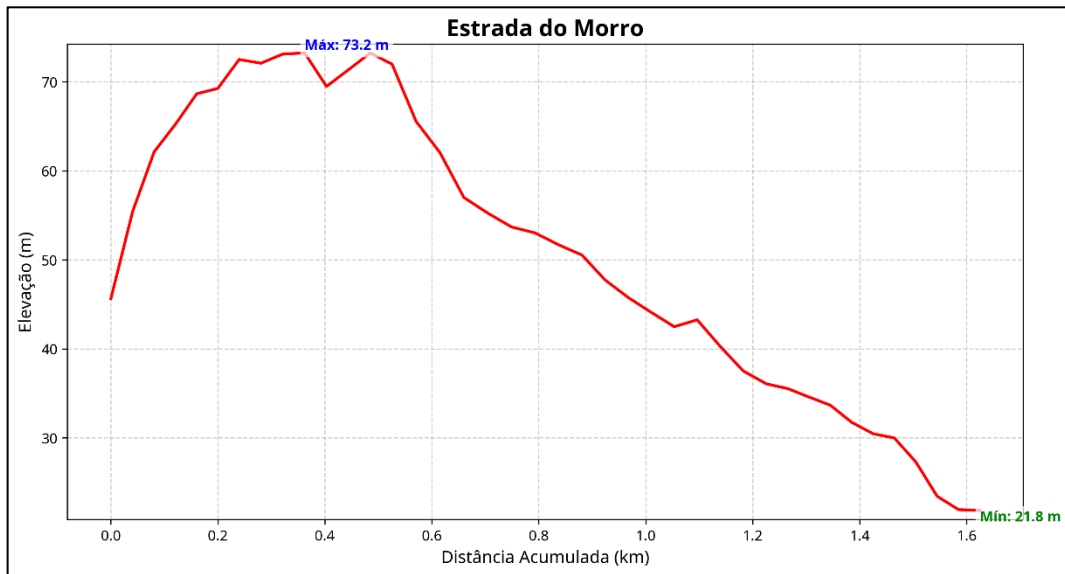
Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 15 – Perfil topográfico da estrada principal, com orientação no sentido de A-B



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 16 – Perfil topográfico da estrada do Morro do Serrote, com orientação no sentido C–D



Fonte: elaborado pela autora.

6.3 Uso e ocupação do solo (1958 e 2025)

A análise comparativa do uso e ocupação do solo no Parque Nacional de Jericoacoara entre os anos de 1958 e 2025 revela uma profunda e significativa transformação na paisagem da área de estudo, com destaque para a dinâmica eólica e a emergência da ocupação antrópica. A Tabela 3 apresenta a distribuição percentual de cada classe de uso e ocupação do solo nos dois períodos analisados, juntamente com a variação em pontos percentuais (p.p.) e a variação relativa.

Tabela 3 - Comparação do uso e ocupação do solo na área de estudo (1958 e 2025)

Uso do solo	Área (%)		Diferença (p.p)	Variação (%)
	1958	2025		
Corpos d'água	2,70	1,50	-1,20	-44,44
Cursos d'água	2,00	1,20	-0,80	-40,00
Estuário	2,10	1,20	-0,90	-42,86
Dunas móveis	56,80	22,20	-34,60	-60,92
Dunas fixas	7,20	3,40	-3,80	-52,78
Cobertura eólica	0,90	4,10	+3,20	+355,56
Spit	1,30	1,60	+0,30	+23,08
Faixa de praia	0,80	1,30	+0,50	+62,50

Superfície de deflação eólica ativa	8,50	20,20	+11,70	+131,61
Superfície de deflação eólica estabilizada	17,50	40,30	+22,80	+130,29
Manguezal	0,20	0,30	+0,10	+50,00
Apicuns e salgados	Indeterminado	0,03	-	-
Ocupação antrópica	Indeterminado	2,00	-	-

Fonte: elaborado pela autora.

6.3.1 Mapeamento de 1958

No ano de 1958, a paisagem do Parque Nacional de Jericoacoara era amplamente dominada por um sistema eólico ativo e altamente dinâmico (Figura 7). As dunas móveis constituíam a principal classe de cobertura, englobando dunas barcanas, barcanoides, parabólicas e extensos lençóis de areia, e ocupavam 56,80% da área total (Gráfico 17). Quando associadas às dunas fixas (7,20%), observa-se que as formações dunares representavam 64,00% da superfície mapeada, evidenciando a predominância de processos deposicionais. As planícies de deflação eólica, tanto ativas quanto estabilizadas, correspondiam a 25,90% da área, indicando que, embora a remoção de sedimentos já ocorresse de forma expressiva, ainda desempenhava papel secundário em relação às feições de acumulação.

As classes hídricas, compostas por corpos d'água (2,70%), estuário do Rio Guriú (2,10%) e cursos d'água (2,00%), totalizavam 6,80% da área. As feições costeiras, representadas pelo Spit (1,30%) e pela Faixa de praia (0,80%), somavam 2,10%. O Manguezal, por sua vez, apresentava cobertura reduzida, restringindo-se a 0,20% da área mapeada. Cabe destacar que, em 1958, não foram identificadas áreas de ocupação antrópica dentro da área de estudo. Apesar da ausência de registro de ocupação urbana no mapeamento, em parte devido à limitação da qualidade da imagem, a literatura indica que, até a década de 1970, a vila de Jericoacoara era marcada por um modo de vida simples, sustentado pela pesca artesanal, agricultura de subsistência e artesanato, bem como por um acesso restrito, realizado por trilhas sobre dunas ou pela via marítima, por meio dos portos de Camocim e Acaraú (Paulino, 2024). A inexistência de estruturas urbanas mais robustas explica, portanto, a dificuldade de identificação dessas áreas no mapeamento. Adicionalmente, o mapeamento das trilhas em 1958

revelou uma extensão total de aproximadamente 6 km, indicando uma circulação humana e veicular bastante limitada no interior do sistema costeiro à época.

Figura 16 – Fotografia aérea e mapeamento de 1958

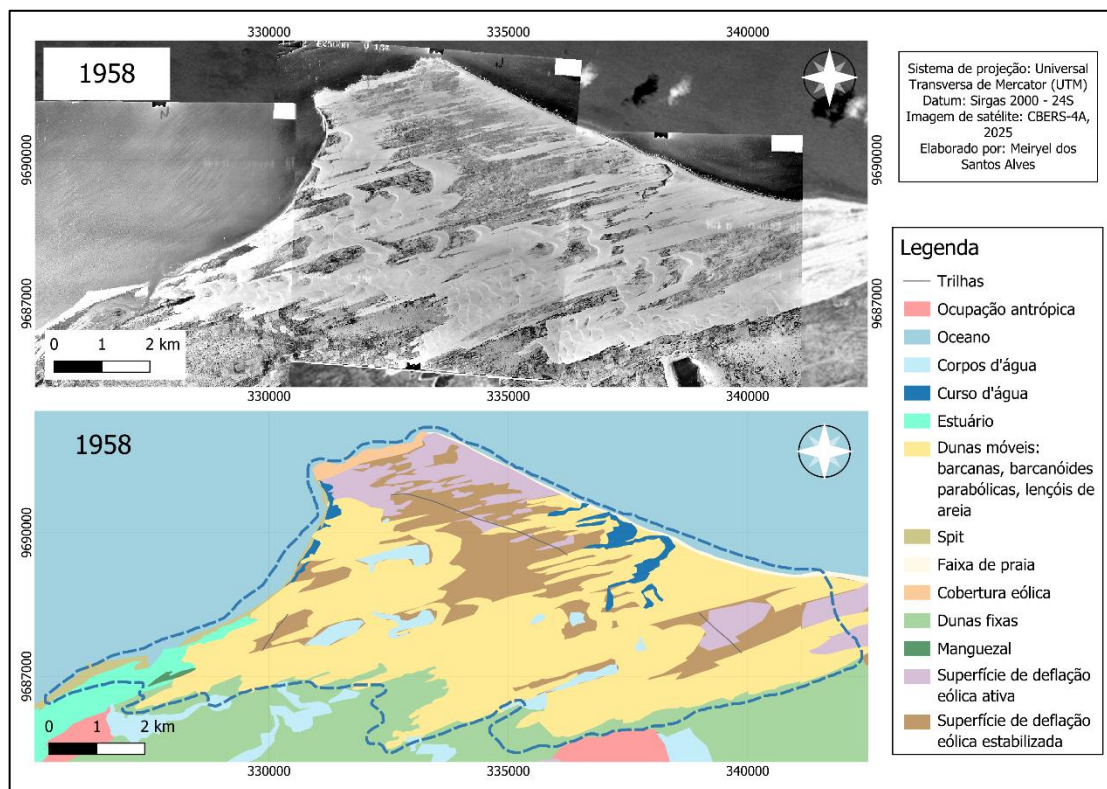
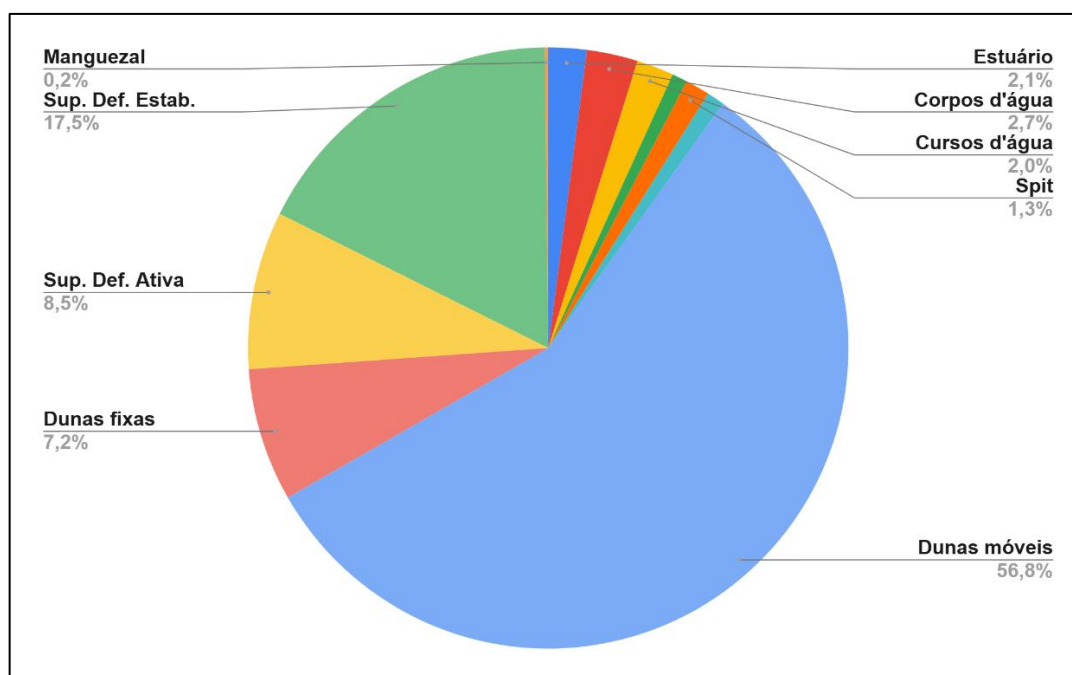


Gráfico 17 – Percentual das feições em 1958



Fonte: elaborado pela autora.

6.3.2 Mapeamento de 2025

Em 2025, a paisagem apresenta uma inversão na matriz de uso do solo (figura 8). A classe dominante passou a ser a superfície de deflação eólica estabilizada, que atingiu 40,30% da área (gráfico 18). A superfície de deflação eólica ativa também se expandiu significativamente, chegando a 20,20%. Juntas, as planícies de deflação eólica passaram a cobrir 60,50% da área.

Em contraste, as dunas móveis foram reduzidas para 22,20%. As dunas fixas também diminuíram para 3,40%. A cobertura eólica aumentou para 4,10%, sugerindo um processo de fixação da areia.

As áreas hídricas sofreram retração, com os corpos d'água reduzidos para 1,50%, o estuário do Rio Guriú para 1,20% e os cursos d'água para 1,20%. As classes costeiras mantiveram-se estáveis ou com leve aumento, como o Spit (1,60%) e a Faixa de praia (1,30%). O Manguezal e os Apicuns e salgados registraram 0,30% e 0,03%, respectivamente.

O indicador mais expressivo de transformação da paisagem é a emergência da ocupação antrópica, que passou a representar 2,00% da área total, refletindo não apenas o crescimento populacional local, mas também a intensificação das atividades turísticas e da infraestrutura associada. Coerentemente com esse processo, a extensão das trilhas mapeadas aumentou para 70,50 km, mais de dez vezes o valor registrado em 1958, evidenciando a ampliação da circulação de veículos e pessoas, bem como a reconfiguração dos fluxos internos do sistema costeiro.

Figura 17 – Imagem de satélite e mapeamento de 2025

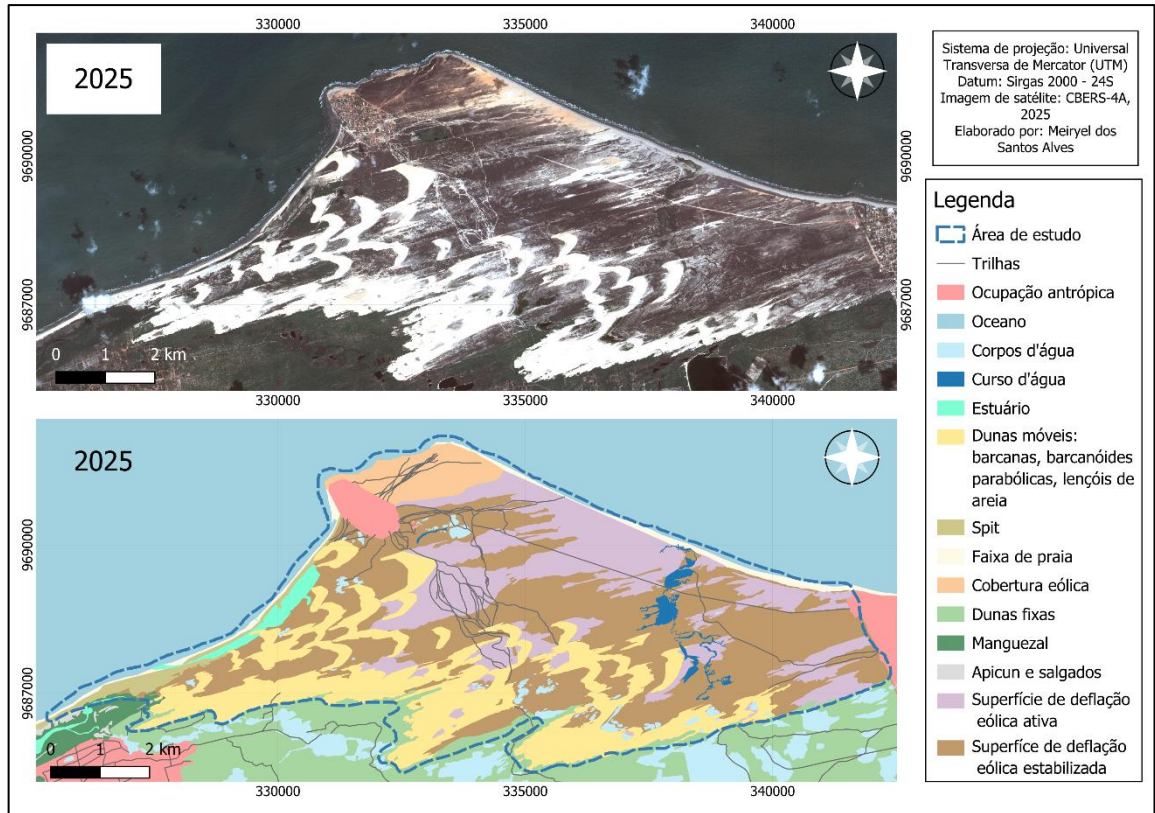
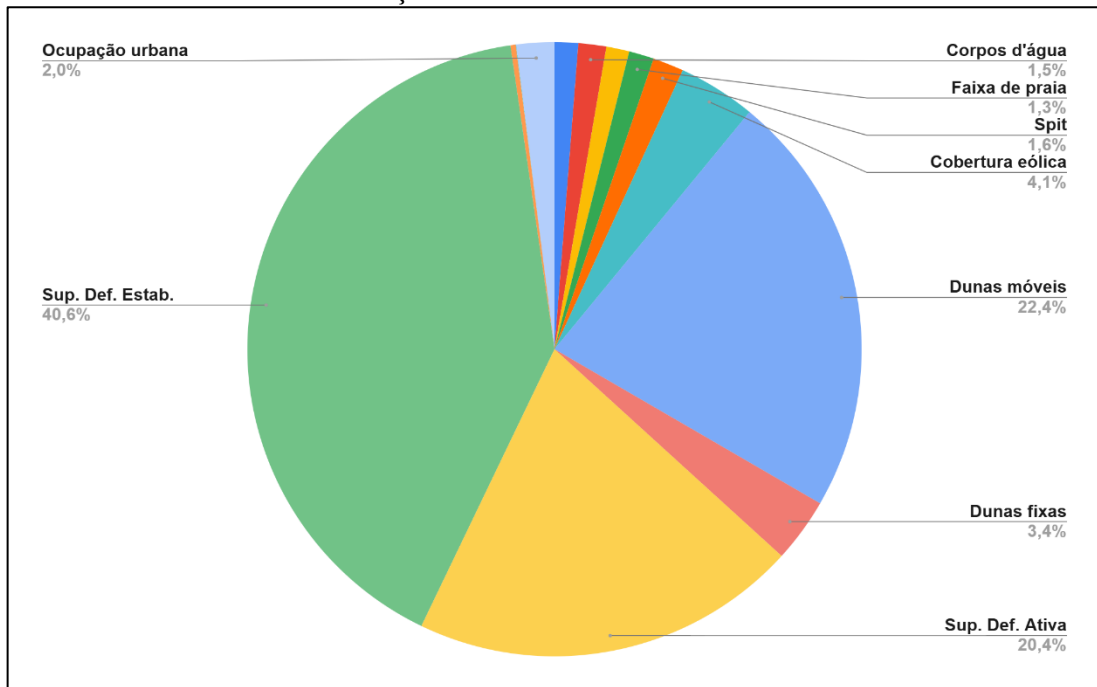


Gráfico 18 – Percentual das feições em 2025



Fonte: elaborado pela autora.

7 DISCUSSÕES

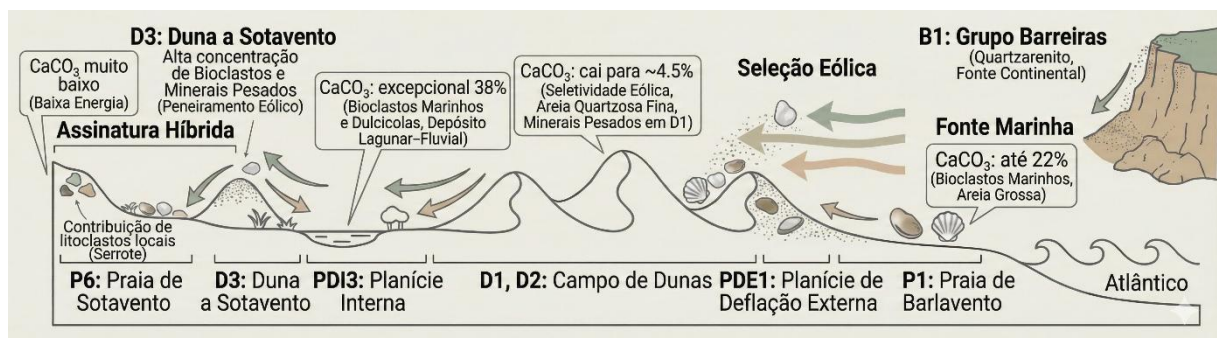
7.1 Aspectos sedimentológicos

A caracterização sedimentológica dos perfis transversais à costa do Parque Nacional de Jericoacoara permite reconstruir a sequência de processos que controlam a morfodinâmica local. Para uma compreensão mais detalhada da dinâmica costeira, foram analisados dois perfis principais e, separadamente, a porção do Morro do Serrote, devido à sua natureza geológica distinta. O Perfil 1 abrange as amostras P1 (praia de barlavento), B1 (Grupo Barreiras), PDE1 (superfície de deflação externa), D1 e D2 (dunas), PDI2 e PDI3 (superfície de deflação interna), D3 (duna) e P6 (praia de sotavento), representando a transição completa entre os ambientes de alta e baixa energia da faixa costeira. O Perfil 2, por sua vez, inclui as amostras P3 (praia de barlavento), B2 (Formação Barreiras), PDE2 (superfície de deflação externa), PDI4 (superfície de deflação interna), D4 (duna), PDI5 (superfície de deflação interna), D5 (duna) e P5 (praia de sotavento), permitindo a análise comparativa entre setores morfodinâmicos distintos.

A parte do morro foi representada pelas amostras M1 e M2, sendo a primeira amostra (M1) correspondendo à parte mais alta e a M2 à porção um pouco mais baixa do morro. Em continuidade a este perfil, a base do maciço é caracterizada pelos afloramentos de arenitos de praia (*beachrocks*), situados na zona de intermaré.

7.1.1 Perfil 1

Figura 18 - Representação esquemática dos ambientes deposicionais no perfil 1



Fonte: elaborado pela autora com inteligência artificial.

O ponto de partida deste sistema é a praia de barlavento (P1), que se caracteriza como uma zona de alimentação sedimentar de alta energia (figura 9). Isto é evidenciado pela granulometria composta por areia grossa e pela pobre seleção dos grãos, características típicas de ambientes praias sob forte influência de ondas, conforme descrito por Short (1999) em seus modelos de morfodinâmica praias. A natureza predominantemente marinha desta fonte é confirmada pelo elevado teor de carbonato de cálcio (22,05%) e pela expressiva contribuição de bioclastos (31,66%), incluindo a presença de foraminíferos planctônicos (*Globorotalia menardii*). A presença destes organismos oceânicos, transportados passivamente, funciona como um traçador da origem marinha do material que irá nutrir o campo de dunas adjacente, uma conexão fundamental em sistemas costeiros abertos (Hesp, 2002; Murray, 2006; Pye; Tsoar, 2009).

Em nítido contraste com o ambiente marinho de P1, a amostra B1 foi caracterizada como pertencente ao Grupo Barreiras, unidade geológica que serve como substrato e principal fonte de sedimentos siliciclásticos para o sistema costeiro. A sua composição monominerálica quartzosa (100% quartzo) e a ausência de bioclastos marinhos confirmam sua origem continental, alinhando-se à descrição da unidade como um quartzarenito (Costa *et al.*, 2024; Freire *et al.*, 2022). A deposição principal desta unidade ocorreu durante o Neógeno (Mioceno-Plioceno), através de sistemas de leques aluviais e rios entrelaçados (Arai, 2006). Este contexto deposicional justifica os parâmetros granulométricos obtidos: além da pobre seleção, a amostra apresentou uma assimetria muito positiva. Conforme estabelecido por Folk e Ward (1957), este parâmetro indica estatisticamente um deslocamento da curva de frequência em direção às frações mais finas (enriquecimento em finos). Em termos geológicos, essa "cauda de finos" reflete as flutuações de energia nos canais fluviais do Barreiras, onde a diminuição do fluxo permitiu que materiais mais finos (silte/argila) fossem aprisionados nos interstícios da carga de fundo mais grossa (Suguio, 1973). Apesar dessa imaturidade textural na seleção, a alta maturidade morfológica, evidenciada pelo elevado arredondamento e esfericidade dos grãos, atesta um longo histórico de transporte e retrabalhamento pré-deposicional (Pettijohn *et al.*, 1987). Adicionalmente, a presença de grãos oxidados é a assinatura microtextural dos processos de intemperismo pós-deposicionais que atuaram sobre a unidade durante sua exposição subaérea no Quaternário, sob clima tropical úmido, e que são responsáveis pela formação das crostas ferruginosas típicas da formação (Rossetti *et al.*, 2013; Boggs, 2009). Assim, a erosão contemporânea desta unidade, impulsionada pelos processos costeiros, funciona como o principal mecanismo de injeção de areia quartzosa madura no orçamento sedimentar de Jericoacoara.

A transição da superfície de deflação externa (PDE1) para o campo de dunas (D1, D2) marca o início do domínio do transporte eólico como principal escultor da paisagem. A evidência mais robusta deste processo é a acentuada queda no teor de carbonato de cálcio, que passa de mais de 19% na PDE1 para aproximadamente 4,5% nas dunas. Este fenômeno demonstra a seletividade do transporte eólico, que possui maior competência para mobilizar os grãos de quartzo, mais leves e equidimensionais, em detrimento dos bioclastos, que são geralmente mais densos e possuem formas lamelares ou irregulares que dificultam sua deflação (Pye; Tsoar, 2009; Bagnold, 1941). O aumento relativo no teor de minerais pesados, de menor tamanho que os demais, em D1 (8%) corrobora essa interpretação, indicando, em alguns trechos, a possibilidade de formação de um depósito residual resultante da remoção dos minerais mais leves, um processo clássico em ambientes eólicos (Bagnold, 1941; Sauermann et al, 2003; Katta, 2002).

A amostra PDI3, coletada em uma superfície de deflação interna, apresenta uma anomalia sedimentológica marcante que a distingue dos padrões eólicos circundantes. Neste ponto, observa-se um pico excepcional de bioclastos (38%), composto majoritariamente por fragmentos de carapaças e conchas (33,33%). Isoladamente, se poderia aventar a hipótese de um depósito de paleolaguna, onde a predominância de material grosso sobre finos (lama/argila) sugere um ambiente com maior energia de transporte. Depósitos lacustres de baixa energia são tipicamente dominados por sedimentos finos, como siltes e argilas, enquanto a concentração de material grosso, como conchas, é característica de depósitos de canal ou de zonas de maior energia (Reading, 1996). No entanto, a presença de lagoas ou alagados sazonais, onde o desenvolvimento de colônias de gastrópodes no período chuvoso, seguido por sua grande mortandade e fragmentação das carapaças nos períodos secos sob a intensificação da deflação eólica, explica melhor tanto a exibição de material grosso quanto o aumento no conteúdo de bioclastos. A alta concentração de bioclastos, bem como a mistura com fragmentos e carapaças de origem marinha, também pode resultar da ação de canais de escoamento que atravessam os campos de dunas. Mesmo efêmeros, esses canais possuem energia suficiente para erodir e concentrar seletivamente os materiais mais densos e grossos (como as conchas) em seu leito, enquanto transportam as areias mais finas (Miall, 1977). Assim, a composição bioclástica híbrida, marinha e continental, seria o resultado natural do retrabalhamento de sedimentos eólicos de origem marinha associado ao transporte de conchas provenientes de fontes de água doce a montante.

Embora a passagem de veículos em uma trilha adjacente possa contribuir para a exumação superficial deste depósito, a causa primária da anomalia é interpretada como sendo

de origem fluvial e lacustre. Assim, o ponto PDI3 representa a assinatura de um processo fluvio-lacustre sob a dinâmica eólica, onde um fluxo de água concentrado contribuiu como agente responsável pela criação de um depósito sedimentar distinto, cuja exposição atual permite vislumbrar a complexa interação entre a drenagem superficial e a dinâmica eólica na paisagem interna do parque.

A amostra D3, coletada em uma duna posicionada imediatamente a sotavento de PDI3, exibe uma composição sedimentológica que confirma a interação entre os processos fluviais-lacustres e eólicos. A duna apresenta um pico excepcional de bioclastos (38,99%), um valor atípico para depósitos eólicos que, por norma, são mais pobres em carbonatos devido à seleção durante o transporte (Pye; Tsoar, 2009). Crucialmente, a composição destes bioclastos, com uma mistura marinha e dulcícola, espelha perfeitamente a assinatura híbrida do depósito inferido para PDI3.

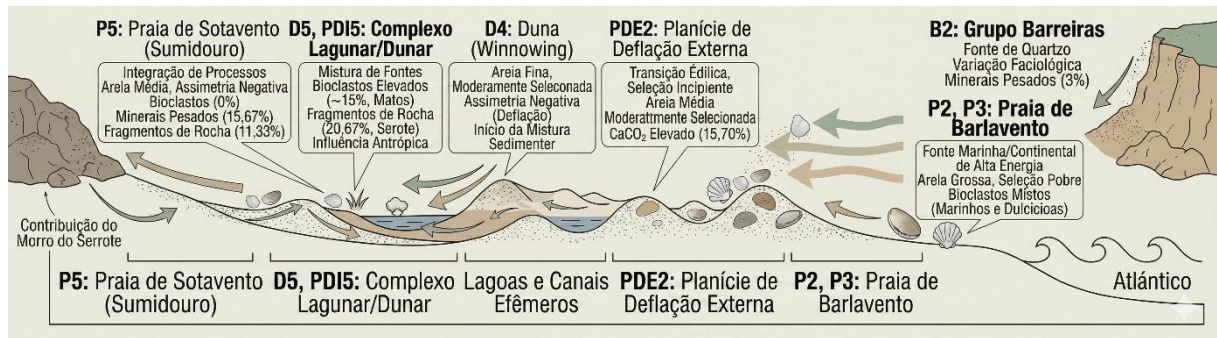
Este fato demonstra que o fluxo de vento, ao passar sobre a superfície de deflação, possui competência para erodir e transportar os componentes mais finos do depósito do tipo lag, de PDI3, incorporando-os à duna D3. A granulometria fina da amostra D3, apesar do alto teor de bioclastos, sugere que o vento seleciona e transporta apenas os fragmentos de concha de menor tamanho e/ou menor densidade, deixando os fragmentos maiores para trás, a exemplo do local da amostra PDI3. Este processo de "peneiramento" eólico de um depósito fluvio-lacustrino preexistente cria um depósito eólico secundário com uma assinatura composicional herdada (Pye; Tsoar, 2009; Boggs, 1995). A alta concentração de minerais pesados (10,67%) reforça a interpretação de um corredor de vento de alta energia, capaz de concentrar eficientemente os materiais mais densos (Bagnold, 1941).

A praia de sotavento (P6) representa o compartimento deposicional terminal do sistema, caracterizado como um ambiente de baixa energia pela predominância de areia fina, em conformidade com os modelos de morfodinâmica praial que correlacionam granulometria e energia de ondas (Wright; Short, 1984; Komar, 1976). Esta diminuição é a evidência macro do processo de seleção eólica ocorrido ao longo de todo o campo de dunas, onde os bioclastos, mais densos, são transportados com menor eficiência que os grãos de quartzo (Pye; Tsoar, 2009). A análise de proveniência (Pettijohn *et al.*, 1987) revela a sobreposição de múltiplas fontes: (i) a fração eólica quartzosa de longa distância; (ii) a herança diluída do material flúvio-lacustrino-eólico de PDI3; e (iii), a contribuição geológica local, evidenciada pela expressiva fração de fragmentos de rocha (17,33%). Infere-se que estes litoclastos também derivam da erosão de afloramentos rochosos distribuídos ao longo da costa, a exemplo do formador do Morro do

Serrote, um processo fundamental em costas rochosas (Pettijohn *et al.*, 1987, Dickinson, 1985; Boggs, 1995).

7.1.2 Perfil 2

Figura 19 - Representação esquemática dos ambientes deposicionais no perfil 2



Fonte: elaborado pela autora com inteligência artificial.

A análise inicia-se na praia de barlavento (amostras P2 e P3), que se configura como a principal zona de alimentação sedimentar de alta energia (figura 10). A granulometria composta por areia grossa e a seleção pobre a muito pobre observadas nesses pontos são compatíveis com um ambiente dominado por ondas intensas, típicas de regiões expostas à ação direta do mar aberto (Short, 1999). Contudo, o ponto P3 introduz uma complexidade importante: a presença de bioclastos de origem dulcícola misturados aos marinhos, evidenciando a contribuição de águas continentais, possivelmente por escoamento superficial ou influência dos cursos fluviais diretamente sobre a linha de costa.

Adjacente à praia, a amostra B2 (Grupo Barreiras) reafirma seu papel como fonte de quartzo, porém se distingue da amostra homóloga do Perfil 1 pela ocorrência de uma pequena, mas significativa, fração de minerais pesados (3%), sugerindo uma variação faciológica local (Arai, 2006; Morton; Hallsworth, 1999). A superfície de deflação PDE2, situada a sotavento, representa a transição para o domínio eólico, caracterizando-se por areia média moderadamente selecionada. Seu teor de carbonato de cálcio ainda elevado (15,70%), aliado à presença de foraminíferos desgastados, indica que o processo de seleção eólica ainda é incipiente, com o sistema apenas iniciando o “peneiramento” dos sedimentos praias (Franceschini; Compton, 2007).

O trecho central do perfil é onde a complexidade do sistema se intensifica. Essa porção é marcada pela presença de lagoas interdunares e canais de drenagem efêmeros, que

funcionam como fontes locais de sedimento. Neste contexto, a amostra D4, classificada como areia fina moderadamente selecionada, apresenta um parâmetro estatístico diagnóstico, a assimetria negativa. Diferente das dunas típicas de acumulação, essa assimetria indica uma distribuição com uma "cauda" voltada para as frações mais grossas. Isso reflete a atuação de processos de deflação (*winnowing*), onde a competência do vento remove seletivamente as partículas mais finas, deixando um resíduo enriquecido em grãos ligeiramente mais grossos e de alta esfericidade (Friedman, 1961; Suguio, 1973).

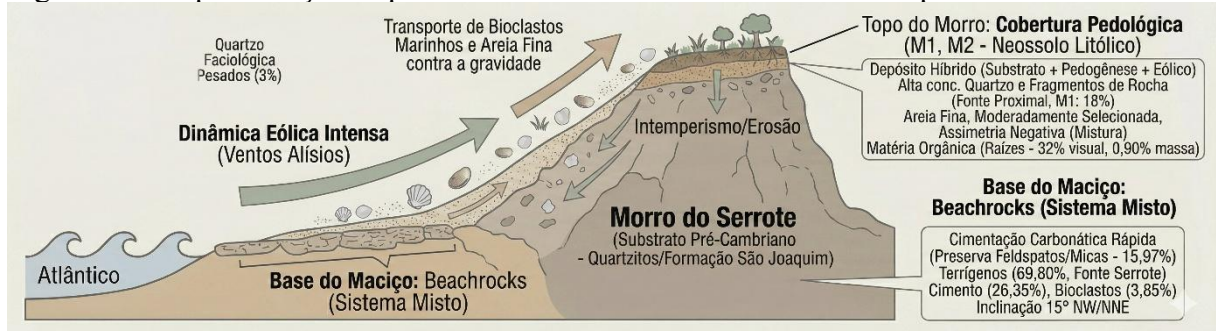
Essa assinatura granulométrica em D4 não é um acaso, mas o registro físico do início da mistura sedimentar, pois, a partir desta amostra, o teor de bioclastos passa a variar significativamente, atingindo 15,33% de fragmentos de conchas em D5 e mantendo-se elevado em PDI5 (13,67%). A mistura de conchas de água doce e marinha confirma a hipótese de que o vento erode e incorpora sedimentos oriundos das lagoas e canais adjacentes (Pye; Tsoar, 2009; Hesp, 2002).

Além disso, PDI5 apresenta 20,67% de fragmentos de rocha, percentual expressivamente maior que nas feições de barlavento. Esse dado pode indicar que a influência do Morro do Serrote, composto pela Formação São Joaquim, não se limita à praia terminal. O material erodido do morro é transportado pelo vento para o interior do campo de dunas, passando a se misturar aos sedimentos eólicos já neste setor. Essa variabilidade composicional é intensificada pela proximidade da vila, onde a atividade antrópica promove desorganização superficial e favorece a mistura de sedimentos de múltiplas origens (Schlacher *et al.*, 2007).

Por fim, a praia de sotavento (P5), que funciona como sumidouro do perfil, reflete a integração de todos esses processos. Observa-se uma redução abrupta no teor de fragmentos de conchas (0%), enquanto a concentração de minerais pesados (15,67%) e fragmentos de rocha (11,33%) permanece elevada. A característica granulométrica mais distintiva de P5 é ser a única amostra de praia de sotavento composta por areia média e com assimetria negativa. Essa assimetria, que indica a adição de uma população de grãos mais grossos (Boggs, 2009), constitui a "impressão digital" da contribuição predominante do Morro do Serrote, cujos litoclastos e minerais densos enriquecem essa fração mais grossa. A proximidade com a vila pode ainda acentuar essa assinatura por meio de contaminação antrópica ou alterações na hidrodinâmica local (Nordstrom, 2000; Schlacher *et al.*, 2007; Defeo *et al.*, 2009). Assim, a composição final de P5 representa o resultado da interação entre o aporte eólico, o material geológico local e a influência humana, evidenciando a complexidade do sistema desde sua zona fonte até o ambiente de deposição final.

7.1.3 Dinâmica sedimentar do complexo do Morro do Serrote

Figura 20 – Representação esquemática da dinâmica sedimentar do complexo do Morro do Serrote



Fonte: elaborado pela autora com inteligência artificial.

A análise sedimentológica das amostras M1 e M2, coletadas no topo do Morro do Serrote, revela um depósito sedimentar de natureza híbrida, cuja gênese é controlada pela interação entre o substrato rochoso pré-cambriano, a pedogênese local e a intensa dinâmica eólica atuante no Parque Nacional de Jericoacoara (figura 11). A Ponta de Jericoacoara constitui a porção mais setentrional de um promontório que preserva registros de colisões continentais neoproterozoicas, apresentando-se estrutural e litologicamente resistente aos processos erosivos costeiros (CPRM, 2014).

O arcabouço geológico do Serrote, composto predominantemente por quartzitos e quartzitos ferruginosos da Formação São Joaquim, desempenha papel fundamental na composição sedimentar observada (Julio *et al.*, 2012).

A alta concentração de quartzo (77,67% em M1 e 56,33% em M2) é uma herança direta da desagregação deste substrato (Fetter, 2000). Contudo, o indicador mais expressivo da proveniência local é a presença de fragmentos de rocha, notadamente na amostra M1 (18%). Estes constituintes líticos indicam uma imaturidade composicional e uma proximidade extrema da área-fonte, sugerindo que o sedimento é, em parte, produto de intemperismo *in situ* que não sofreu transporte significativo, alinhando-se ao conceito de depósito proximal de Pettijohn, Potter e Siever (1987).

Esta assinatura de proveniência local observada no topo do promontório encontra seu correlato litoestratigráfico na base do maciço, onde ocorrem os arenitos de praia (*beachrocks*). Segundo Ximenes Neto (2020), a zona costeira do Ceará é caracterizada pela ocorrência destes sistemas deposicionais de natureza mista (siliciclástico-carbonático), onde a interação entre o aporte sedimentar continental e a precipitação química marinha preserva indicadores cruciais da paleogeografia.

Em Jericoacoara, estes *beachrocks* se distribuem continuamente na forma de uma plataforma de abrasão ao longo de cerca de 800m, assentados sobre o embasamento. A petrografia da rocha confirma o modelo de sistema misto, exibindo uma composição dominada por terrígenos (69,80%), herdados da erosão do Serrote e compostos por quartzo (47,32%) e fragmentos de rochas quartzíticas (4,73%), mas cimentados por uma fase química carbonática que compõe 26,35% da amostra.

A comparação entre a cobertura do topo e os *beachrocks* da base revela um contraste diagenético fundamental. Enquanto o topo sofre intensa pedogênese e lixiviação, os *beachrocks* preservam uma assembleia mineralógica instável, incluindo 15,97% de feldspatos (microclina e plagioclásio) e micas. A preservação destes minerais na base deve-se à rápida cimentação carbonática (microespática a acicular) típica de ambientes marinhos vadosos ou freáticos (Tucker, 1990). O cimento atua "congelando" a textura e protegendo os grãos do intemperismo químico agressivo que, por sua vez, degradou esses minerais no solo do topo do morro. Além disso, a disposição destes corpos rochosos, com inclinação de 15° para NW/NNE, atua como um *proxy* de variações do nível relativo do mar, marcando a posição de antigas linhas de costa (Ximenes Neto, 2020).

Retornando à cobertura superficial do morro, os parâmetros texturais evidenciam a complexidade do ambiente deposicional atual em contraste com o registro litificado da base. A classificação como areia fina moderadamente selecionada aponta para a atuação do vento como agente selecionador da matriz. Entretanto, a assimetria negativa observada reflete a mistura de duas populações distintas, a areia fina eólica (trazida do campo de dunas) e a fração mais grossa de fragmentos locais ou agregados pedogenéticos. A morfoscopia corrobora essa dualidade, enquanto o arredondamento subarredondado sugere abrasão eólica pretérita, a baixa esfericidade denota a herança da forma original dos cristais da rocha metamórfica.

Um aspecto diagnóstico crucial da cobertura pedológica foi identificado na composição da amostra M2, onde a análise visual revelou uma concentração de 32% de matéria orgânica. A discrepância entre este alto volume visual e o baixo teor de massa obtido na queima (0,90%) evidencia a natureza do depósito: trata-se do horizonte superficial de um Neossolo Litólico. A abundância de raízes observada na microscopia é o registro físico da vegetação de porte herbáceo e arbustivo que coloniza as fendas do maciço, atuando na estabilização do regolito (Embrapa, 2018).

Por fim, a conexão sistêmica entre a base (praia/*beachrock*) e o topo (cobertura) é selada pelos bioclastos. Os *beachrocks* apresentam 3,85% de conteúdo biogênico (algas coralíneas, foraminíferos e bivalves), confirmando a disponibilidade de carbonato na zona de

espraiamento. A identificação de bioclastos marinhos nas amostras de solo do topo (M1/M2), ainda que em baixos teores, demonstra a competência dos ventos alísios em remobilizar estas partículas da praia e transportá-las contra a gravidade para o topo do promontório, integrando o sistema misto descrito por Ximenes Neto (2020) à dinâmica eólica atual (Goudie; Middleton, 2006).

7.2 Morfodinâmica fluvial e interações antrópicas

7.2.1 Análise morfométrica e padrão de drenagem

A análise quantitativa da rede de drenagem revelou uma Razão de Bifurcação Média (R_{bm}) de 2,366. Este valor, situando-se ligeiramente abaixo da faixa padrão de 3,0 a 5,0 estipulada por Strahler (1957) e Horton (1945), aponta para um sistema de drenagem desenvolvido sobre litologias com reduzido controle estrutural tectônico (Schumm, 1956). Contudo, a distribuição de frequências por ordem revela uma dinâmica específica. A predominância absoluta de canais de primeira ordem (249 feições) sugere uma textura de drenagem fina nas cabeceiras, o que em contextos geomorfológicos típicos indicaria baixa permeabilidade (Shekar; Mathew, 2024). No entanto, o sistema está inserido em um relevo controlado por feições eólicas (dunas), caracterizado por alta permeabilidade (Goggin *et al.*, 1988; Hesp, 2002; Barboza *et al.*, 2011).

Essa aparente contradição é resolvida pela dinâmica hidrogeomorfológica local. A alta permeabilidade do substrato eólico permite a rápida infiltração da água, formando um lençol freático elevado. A alta frequência de canais de primeira ordem, neste caso, não é resultado do escoamento superficial direto, mas sim da exfiltração do lençol freático em áreas de menor elevação ou depressões interdunares, alimentando uma rede densa de pequenos canais perenes ou intermitentes. Essa configuração, onde a água se infiltra rapidamente e ressurge em áreas de menor elevação, é um processo de dinâmica hidrogeomorfológica descrito por Christofolletti (1980) que é observada em sistemas costeiros como o de Jericoacoara por Meireles (2011).

A análise detalhada dos pares de ordens reforça essa interpretação. Observa-se uma oscilação significativa entre o par de 3^a/4^a ordem (R_b = 1,66\$) e o par de 4^a/5^a ordem (R_b = 3,33). A queda acentuada para 1,66 sugere que a confluência dos canais intermediários ocorre de forma mais direta, possivelmente devido ao estreitamento topográfico imposto pela morfologia

das dunas. Já o aumento para 3,33 nas ordens finais indica que o canal principal (5ª ordem) exerce maior controle no baixo curso, comportando-se como um coletor regional eficiente em direção ao exutório.

Sob a ótica do risco, essa morfometria, combinando alta permeabilidade e R_{bm} baixa, favorece a dissipação da energia hidráulica. Segundo Villela e Mattos (1975), a ramificação extensa dos tributários de 1ª ordem atua retardando o tempo de concentração. Portanto, a bacia apresenta uma tendência natural a amortecer picos de cheia, reduzindo a propensão a inundações repentinas (*flash floods*), exceto em eventos de precipitação extrema onde a capacidade de infiltração do solo arenoso seja superada.

7.2.2 Conflitos hidrogeomorfológicos e a interferência na malha viária

A sobreposição dos vetores da malha viária à rede de drenagem e aos perfis topográficos permitiu identificar graves conflitos hidrológicos na área de estudo. É fundamental pontuar que as vias analisadas constituem trilhas consolidadas pelo tráfego intenso de veículos traçados (4x4) sobre substrato arenoso, sem sistemas de drenagem ou pavimentação. Essa interação mecânica direta altera a funcionalidade da bacia hidrográfica em três escalas distintas.

A "Estrada Principal" apresenta o conflito hidrológico mais severo. A análise espacial demonstra que esta via se sobrepõe longitudinalmente ao eixo de drenagem principal da bacia. A correlação com o perfil topográfico confirma este diagnóstico. Observa-se uma depressão acentuada na cota de 4,42 m, ladeada por rampas mais elevadas. Esta configuração indica que a trilha foi estabelecida sobre o próprio talvegue natural. Segundo Forman e Alexander (1998), estradas em zonas de talvegue tendem a capturar o fluxo hídrico.

A compactação do solo causada pelo tráfego de veículos 4x4 reduz drasticamente a taxa de infiltração, fenômeno documentado por Vieira, Calliari e Oliveira (2004) em ambientes costeiros brasileiros e por Webb e Wilshire (1983) em estudos sobre veículos *off-road*. Goossens e Buck (2009) demonstram que o tráfego repetido em substratos arenosos altera permanentemente as propriedades físicas do solo, reduzindo a porosidade e aumentando a densidade aparente. Conseqüentemente, a trilha impede a recarga do lençol freático e acelera o escoamento superficial em direção à depressão topográfica identificada, criando zonas críticas de alagamento e transformando a via em um canal artificial que transporta sedimentos e poluentes difusos diretamente para as áreas de acumulação.

No setor do Serrote de Jericoacoara, a "Estrada do Morro" apresenta uma dinâmica distinta. A análise espacial revela que, diferentemente das demais vias, este traçado não intercepta transversalmente a rede de drenagem. Contudo, sua localização em relevo de alta declividade impõe alterações ao regime de escoamento. O perfil topográfico indica declividades que atingem 24,07%. Ao percorrer a encosta sem drenagem, a trilha passa a funcionar como um canal longitudinal de alta energia. Em condições naturais, a água escoaria de forma difusa pela vegetação; com a abertura da trilha, ocorre a captura desse fluxo para os trilhos de roda. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), a concentração do escoamento em rampas desprotegidas desencadeia erosão linear acelerada. Assim, a Estrada do Morro atua como uma zona ativa de geração de sedimentos, transportando material erodido do topo para a base do Serrote, onde promove o assoreamento de áreas a jusante.

A "Estrada 2" secciona transversalmente o campo de dunas. Os dados mostram que a via interrompe conexões entre lagoas interdunares, e os picos abruptos no perfil (declividade máxima de 29,54%) indicam cortes profundos no relevo eólico gerados pela tração dos veículos. Esta disposição cria um efeito de barramento. De acordo com Gomes *et al.* (2004), a dinâmica das lagoas depende do equilíbrio entre o afloramento do lençol e o escoamento superficial. A compactação da trilha fragmenta essa conectividade, isolando lagoas e alterando o hidroperíodo natural, o que compromete a sustentabilidade dos ecossistemas úmidos adjacentes.

7.3 Transformações na paisagem e pressão antrópica no Parque Nacional de Jericoacoara (1958-2025)

A análise da evolução do uso e ocupação do solo no Parque Nacional de Jericoacoara (PNJ) entre 1958 e 2025 revela um cenário de intensa transformação geomorfológica e antrópica, que reflete a complexa interação entre a dinâmica natural costeira e a crescente pressão humana, especialmente após a consolidação do turismo na região.

7.3.1 Transformações da dinâmica eólica e estabilização da paisagem

O resultado mais notável é a inversão da matriz eólica, caracterizada pela drástica redução das dunas móveis (que passaram de 56,80% em 1958 para 22,20% em 2025) e pela retração das dunas fixas (de 7,20% para 3,40%), em detrimento da expansão das planícies de deflação eólica (ativas e estabilizadas). Juntas, as planícies de deflação saltaram de 26,00% para 60,50% da área total. Processos similares de estabilização de dunas costeiras têm sido

documentados em ambientes tropicais, onde a fixação de areia por vegetação pioneira promove sucessão ecológica e reduz a mobilidade dunar (Elko *et al.*, 2016; Hesp; Martínez, 2007). Especificamente em Jericoacoara, Meireles (2011) já havia documentado alterações espaciotemporais na composição morfológica dos campos de dunas, indicando uma dinâmica ativa sensível a variações ambientais e antrópicas.

Essa transformação sugere um processo acelerado de estabilização do campo de dunas. As dunas móveis são formas ativas que dependem de um suprimento constante de areia e da ação desimpedida do vento (Pye; Tsoar, 2009). A redução expressiva dessas formas (queda de 60,92% em sua área relativa) e o aumento das planícies de deflação estabilizadas (que cresceram 131,61%) e da cobertura eólica (aumento de 355,56%) indicam que a areia está sendo fixada, seja por processos naturais de sucessão ecológica (colonização por vegetação pioneira) ou por intervenções antrópicas diretas ou indiretas (Maun, 2009; Doing, 1985).

A estabilização da paisagem eólica, embora possa ser vista como uma redução da dinâmica natural, é um fenômeno comum em áreas costeiras sob pressão, onde a fixação da areia é incentivada para proteger infraestruturas (Elko *et al.*, 2016). Silva *et al.* (2018) documentaram que a paisagem costeira de Jericoacoara reflete uma complexa relação sociedade-natureza, onde impactos antropogênicos têm alterado significativamente a geomorfologia local. Estudos comparativos em sistemas costeiros tropicais, como o realizado por Villate *et al.* (2020) no Caribe colombiano, demonstram que o desenvolvimento turístico está diretamente associado a alterações na morfodinâmica costeira e na vegetação dunar, reforçando a interpretação de que processos similares podem estar ocorrendo no PNJ.

7.3.2 Ocupação antrópica e pressão sobre a unidade de conservação

A emergência da ocupação antrópica, que era não identificada (indeterminada) no mapeamento de 1958 e passa a ocupar 2,00% da área em 2025, é o principal indicador da pressão humana direta. O Parque Nacional de Jericoacoara foi criado em 2002 (Brasil, 2002) com o objetivo de proteger os ecossistemas costeiros. No entanto, o intervalo temporal analisado abrange a transição de uma vila de pescadores com modos de vida tradicionais e acesso restrito para um polo de atração turística internacional (Silva *et al.*, 2018; Gondim et al., 2024

O percentual de 2,00% de ocupação antrópica em 2025, embora numericamente pequeno, representa a invasão física de uma área que era, em 1958, integralmente dominada

por processos naturais e usos de subsistência de baixo impacto. Essa ocupação está diretamente ligada à infraestrutura turística e ao crescimento urbano. Soares *et al.* (2022) alertam que a ocupação de dunas móveis representa riscos à integridade geomorfológica e à segurança hídrica regional, visto que essas áreas desempenham funções essenciais na recarga de aquíferos.

O aumento exponencial da extensão das trilhas mapeadas (de aproximadamente 6 km em 1958 para 70,50 km em 2025) é um indicador ainda mais sensível dessa pressão. Esse crescimento de mais de dez vezes reflete a intensificação do tráfego de veículos e pessoas. Estudos em áreas similares, como em Fraser Island (Schlacher; Thompson, 2009), demonstram que o tráfego de veículos *off-road* elimina a vegetação pioneira, compacta o sedimento e altera a morfologia dunar. Em Jericoacoara, a vasta rede de trilhas observada em 2025 fragmenta os sistemas dunares e potencializa processos erosivos, corroborando as preocupações sobre a capacidade de carga do ambiente.

A discussão deve enfatizar que essa expansão ocorreu em um contexto de Unidade de Conservação de Proteção Integral. Isso levanta questões sobre a eficácia do zoneamento e do Plano de Manejo (Brasil, 2011) em conter a expansão urbana e o fluxo turístico desordenado. Como destacam Elko *et al.* (2016) e Meireles e Gorayeb (2018), a mitigação desses impactos depende não apenas da criação de leis, mas de implementação rigorosa e controle efetivo de acesso, algo desafiador diante da pressão econômica do turismo na região.

7.3.3 Alterações na hidrografia local

A redução generalizada das classes hídricas, corpos d'água (-44,44%), Estuário (-42,86%) e cursos d'água (-40,00%), sugere uma diminuição na disponibilidade hídrica superficial. Este fenômeno pode ser multifatorial, envolvendo aspectos geomorfológicos, climáticos e antrópicos que interagem de forma complexa em sistemas costeiros (Meireles, 2011; Soares *et al.*, 2022).

Primeiramente, a dinâmica eólica tem um papel fundamental. A estabilização das dunas e a expansão das planícies de deflação podem alterar a recarga e a manutenção dos lençóis freáticos e das lagoas interdunares. Soares *et al.* (2022) destacam que as dunas costeiras são reconhecidas como zonas importantes de recarga subterrânea, e que alterações na dinâmica dunar e ocupação podem reduzir essa funcionalidade, ameaçando a segurança hídrica regional, particularmente crítica no contexto do semiárido nordestino. A fixação da areia pode levar ao aterramento de corpos d'água ou à interrupção de canais de drenagem. Meireles (2011b)

documentou em Jericoacoara o avanço de uma flecha de areia de aproximadamente 1.060 m em direção à margem do rio Guriú, evidenciando o potencial de assoreamento e alteração de corpos hídricos costeiros por processos sedimentares.

Em segundo lugar, fatores climáticos como a intensificação de períodos de seca no Nordeste brasileiro podem ter contribuído para a retração desses corpos d'água (Morais *et al.*, 2006). Soares *et al.* (2022) enfatizam que a insegurança hídrica do semiárido nordestino e a sensibilidade das dunas costeiras a pressões antrópicas são riscos que ampliam os efeitos da seca sobre recursos hídricos costeiros, criando um cenário de vulnerabilidade ampliada para ecossistemas e comunidades dependentes desses recursos.

Por fim, a ocupação antrópica e o aumento da demanda por água para consumo humano e atividades turísticas podem estar exercendo pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos, afetando indiretamente os corpos d'água superficiais. Soares *et al.* (2022) apontam que o aumento da demanda hídrica ligada ao turismo em zonas costeiras protegidas é um fator significativo de pressão sobre recursos subterrâneos e segurança hídrica regional, especialmente quando a gestão e a capacidade de infraestrutura são insuficientes para atender à demanda crescente de forma sustentável.

A redução do estuário do Rio Guriú (-42,86%), em particular, pode indicar alterações no fluxo de água doce ou na sedimentação costeira, com implicações diretas para a ecologia do manguezal, que, apesar de ter apresentado um leve aumento (0,1 p.p.), é sensível a essas mudanças. Silva *et al.* (2018) descrevem que a plataforma costeira de Jericoacoara integra campos de dunas e ecossistema manguezal em uma relação dinâmica, onde deslocamentos sedimentares alteram a margem e a interação sedimento-mangue, com potenciais riscos ecossistêmicos. Maia *et al.* (2006), em seu atlas dos manguezais do Nordeste, destacam a sensibilidade desses ecossistemas a alterações hidrológicas e sedimentares, reforçando a necessidade de monitoramento integrado dessas mudanças.

Em suma, as transformações observadas apontam para uma paisagem em transição, onde a dinâmica eólica natural está sendo substituída por um ambiente mais estável e onde a presença humana, antes quase inexistente, se estabelece como um fator de pressão significativo, exigindo uma gestão atenta e eficaz dos recursos naturais do Parque Nacional de Jericoacoara. As evidências científicas de estudos locais (Meireles, 2011; Meireles; Gorayeb; Pereira Filho 2018; Silva *et al.*, 2018; Gondim *et al.*, 2024) e comparativos internacionais (Schlacher; Thompson, 2009; Thompson; Schlacher, 2008; Villate *et al.*, 2020) convergem para demonstrar que a combinação de estabilização de dunas, expansão de infraestrutura turística, intensificação de trilhas e pressão sobre recursos hídricos representa um desafio complexo de gestão que

demanda ações integradas de monitoramento, controle de acesso e restauração ecológica, conforme preconizado por Elko *et al.* (2016) e reforçado pelas diretrizes do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Brasil, 2000) e pelo Plano de Manejo do PNJ (Brasil, 2011).

8 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo central compreender as inter-relações entre o uso e a ocupação do solo e os processos morfodinâmicos costeiros no Parque Nacional de Jericoacoara (PNJ). Os resultados obtidos, por meio de uma abordagem integrada de geoprocessamento multitemporal, análise morfo-hidrológica e caracterização sedimentológica, confirmam que a crescente pressão antrópica, impulsionada pela expansão do turismo entre 1958 e 2025, atua como o principal agente geomórfico de alteração na paisagem.

A principal evidência dessa transformação reside na inversão da matriz eólica, caracterizada pela drástica redução das dunas móveis (de 58,60% para 22,2%) e pela expansão das planícies de deflação (de 26% para 60,5%). Este processo acelerado de fixação da areia, combinado com o aumento exponencial da extensão da malha viária turística (de 6 km para 70,50 km), demonstra que a morfodinâmica natural está sendo substituída por um sistema dominado pela intervenção humana, conforme o modelo de Sistemas Costeiros Dominados pelo Homem (Nordstrom, 2000).

A contribuição mais significativa deste trabalho reside na identificação e quantificação dos conflitos hidrogeomorfológicos gerados pela ocupação. A análise espacial e topográfica demonstrou que as trilhas consolidadas pelo tráfego intenso de veículos 4x4, ao se sobreporem longitudinalmente a talwegues e canais de drenagem, atuam como canais artificiais de erosão e escoamento. Essa compactação do solo e o redirecionamento do fluxo hídrico desorganizam o sistema de drenagem, acelerando a degradação do substrato arenoso e comprometendo a recarga do lençol freático.

Em um nível mais detalhado, a caracterização sedimentológica reforça a vulnerabilidade do sistema. A alta seletividade do transporte eólico, evidenciada pela segregação de bioclastos e quartzo, e a assinatura sedimentológica híbrida (marinha, eólica e fluvio-lacustre) das planícies de deflação internas, revelam que a dinâmica natural é facilmente contaminada e desorganizada pela ação antrópica. Adicionalmente, a identificação do Morro do Serrote como uma fonte sedimentar local, que enriquece a praia de sotavento com fragmentos de rocha e minerais pesados, demonstra a complexidade da proveniência e a necessidade de considerar o substrato geológico na gestão do orçamento sedimentar costeiro.

As implicações desses achados são de natureza ecológica e de gestão: a estabilização da paisagem eólica, embora possa parecer benéfica para a infraestrutura, representa uma ameaça crítica ao ciclo sedimentar que nutre as praias e, mais gravemente, à

recarga do lençol freático que sustenta os ecossistemas úmidos interdunares. A redução generalizada dos corpos d'água superficiais (-44,44%) e a fragmentação da conectividade entre lagoas, causadas pela compactação das trilhas, sinalizam uma perda de resiliência do sistema costeiro frente às mudanças climáticas e à intensificação de secas.

A manutenção da beleza cênica e da integridade ecológica, que são a base do atrativo turístico, depende criticamente da reversão imediata dos processos de degradação aqui quantificados. Para tanto, as diretrizes de manejo devem focar na restrição e restauração ecológica das trilhas que se sobrepõem aos eixos de drenagem, na recuperação da conectividade hídrica e na aplicação rigorosa do Plano de Manejo, reafirmando o compromisso do PNJ como uma Unidade de Conservação de Proteção Integral.

Apesar da robustez dos resultados, este estudo reconhece a limitação temporal imposta pela diferença entre o MDE (2011–2015) e a imagem de 2025, o que exige cautela na correlação direta entre a topografia e a ocupação mais recente. Para aprofundar a compreensão da morfodinâmica costeira de Jericoacoara, sugere-se uma agenda de pesquisa futura focada em três eixos: (i) Monitoramento Hidrológico: instalação de piezômetros para quantificar o impacto da compactação do solo na recarga do aquífero; (ii) Modelagem de Cenários: utilização de modelos numéricos para simular o impacto da estabilização das dunas no balanço sedimentar da praia de sotavento; e (iii) Análise de Gestão: avaliação da eficácia do Plano de Manejo do PNJ em mitigar os conflitos hidrogeomorfológicos identificados, propondo zonas de exclusão veicular e estratégias de restauração ecológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **ANADEM – Modelo Digital de Terreno das Bacias Hidrográficas do RS** (Resolução Espacial de 30 metros). Brasília, DF: ANA, 2018. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/06eb254d-e45a-4c2b-9226-8e30d6afaa0d>. Acesso em: 1 set. 2025.
- ALMEIDA, F. F. M.; BRITO, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth-Science Reviews**, v. 50, n. 1-2, p. 77-111, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00072-0). Acesso em: 11 set. 2025
- ANDREWS, B. D.; GARES, P. A.; COLBY, J. D. Techniques for GIS modeling of coastal dunes. **Geomorphology**, Estados Unidos, v. 48, n. 1-3, p. 289-308, nov. 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00186-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00186-1). Acesso em: 12 ago. 2025.
- AQUINO, L. R. **Ocupação urbana em áreas de dunas na comunidade de Uruaú/Beberibe-CE**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/e3665af5-e3dc-4b9f-9099-8689cb5d501c/content>. Acesso em: 12 ago. 2025.
- AQUINO, M. D.; MOTA, S.; PITOMBEIRA, E. S. Impactos ambientais da ocupação desordenada da praia da Caponga-Ce. *In: CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DA ZONA COSTEIRA DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 2., 2003, Recife. Anais...* Recife: [s.n.], 2003. p. 1-4. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/9270>. Acesso em: 12 ago. 2025.
- ARAI, M. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Geologia USP. Série Científica**, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300002>. Acesso em: 30 ago. 2025.
- ARENS, S. M. *et al.* Air flow over foredunes and implications for sand transport. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 20, n. 1, p. 31-42, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/esp.3290200403>. Acesso em: 12 ago. 2025.
- ARRUDA, M. G. C. **Parque Nacional de Jericoacoara: Zoneamento Ambiental para o plano de manejo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/8224>. Acesso em 25 ago. 2025.
- ASSIS, W. R.; FRANKLIN, E. M. Morphodynamics of barchan-barchan interactions investigated at the grain scale. **Journal of geophysical research: earth surface**, v. 126, n. 8, p. e2021JF006237, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2021JF006237>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- BAGNOLD, R. A. **The physics of blown sand and desert dunes**. Londres: Dover Publications, 1941. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-009-5682-7>. Acesso em: 19 ago. 2025.

BARBOZA, E. G. *et al.* Evolution of the Holocene Coastal Barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) - a new approach with GPR data. **Journal of Coastal Research**, SI 64, p. 646-650, 2011. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26482251>. Acesso em: 26 ago. 2025,

BARNOAIEA, I. Using satellite image classification and digital terrain modelling to assess forest species distribution on mountain slopes – a case study in Varatec Forest District. *In: Carbon stock in European Forests: State of the Art, Uncertainties and Political Challenges*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 53. Disponível em: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/integrated_management_environmental_resources_2017.pdf. Acesso em: 14 ago. 2025.

BARROS, M. C. V. *et al.* Mapeamento do uso e ocupação do solo da zona costeira Sul do estado da Paraíba. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 31876-31886, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-585>. Acesso em: 03 set. 2025.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012.

BEZERRA, L. J. C. **Caracterização dos tabuleiros pré-litorâneos do Estado do Ceará**. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/11465>. Acesso em: 12 set. 2025.

BEZERRA, J. L. C.; MAIA, L. P. Caracterização sedimentológica dos tabuleiros pré-litorâneos do Estado do Ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 45, n. 1, p. 47-55, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/8411>. Acesso em: 12 set. 2025.

BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, p. 689-703, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228544768_Shoreline_Definition_and_Detection_A_Review. Acesso em: 16 ago. 2025.

BOGGS JR., S. **Principles of sedimentology and stratigraphy**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

BOGGS JR., S. **Petrology of sedimentary rocks**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

BORRINI-FEYERABEND, G. *et al.* **Governança de Áreas Protegidas: da compreensão à ação**. Suíça: UICN, 2017. 124 p. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/PAG-020-Pt.pdf>. Acesso em: 01 set. 2025.

BRAGA, M. O. **Gradientes da vulnerabilidade à contaminação aquífera do Parque Nacional/ Vila de Jericoacoara/CE**. 2018. 126 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/49875>. Acesso em: 20 ago. 2025.

BRANDÃO, A. L. R.; CORIOLANO, L. N. M. T. Eixos do Turismo: convencional e contra-hegemônico em Jericoacoara–CE. **Revista Formação**, v. 3, n. 23, 2016. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/3835>. Acesso em: 28 ago. 2025.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 19 jul. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 13 ago. 2025.

BRASIL. Lei nº 11.486, de 15 de junho de 2007. Altera os limites do Parque Nacional de Jericoacoara. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 18 jun. 2007. Disponível em:

BRASIL. Decreto s/nº, de 4 de fevereiro de 2002. Cria o Parque Nacional de Jericoacoara, nos Municípios de Jijoca de Jericoacoara, Cruz e Camocim, no Estado do Ceará, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 5 fev. 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/2002/dnn9492.htm. Acesso em: 06 set. 2025.

BRASIL. **Destino referência em turismo de sol e praia**: Jericoacoara, CE. Goiânia: Instituto Casa Brasil de Cultura, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/turismo/pt-br/centrais-de-conteudo-/publicacoes/destinos-referencia-em-segmentos-turisticos/destino-referencia-em-turismo-de-sol-e-praia-jericoacoara-ce.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2025.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). **Relatório do Meio Físico**: Subsídios ao Plano de Manejo do Parque Nacional de Jericoacoara. Brasília: ICMBio, 2009a. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/parna-de-jericoacoara/arquivos/relatorio_meiofisico.pdf. Acesso em: 09 ago. 2025.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). **Relatório dos pesquisadores**: Subsídios ao Plano de Manejo do Parque Nacional de Jericoacoara. Brasília: ICMBio, 2009b. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/parna-de-jericoacoara/arquivos/relatorio_pesquisadores.pdf. Acesso em: 09 ago. 2025.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de manejo do Parque Nacional de Jericoacoara**: Encarte 2. Brasília: ICMBio, 2011a. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/parna-de-jericoacoara>. Acesso em: 09 ago. 2025.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de manejo do Parque Nacional de Jericoacoara**: Encarte 3. Brasília: ICMBio, 2011b. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/parna-de-jericoacoara>. Acesso em: 09 ago. 2025.

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). **Anexo A - Área de Concessão**. Brasília: ICMBio, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/editais-diversos/editais-diversos-2022/area_de_concessao.pdf. Acesso em: 20 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Estratégia de Zona Costeira. *In*: BRASIL. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**: relatório de monitoramento 2016-2017. Brasília: MMA, 2021. Disponível em:

<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/clima/repositorio/relatoriomonitoramento.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2025.

CADEE, G. C. Eolian transport and left/right sorting of *Mya* shells (Mollusca, Bivalvia). **Palaios**, p. 198-202, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3514930>. Acesso em: 25 nov. 2025.

CARRIÇO, J. M.; PINHO, R. M. L. A urbanização na zona costeira e os impactos ambientais – o caso da RMBS no estado de São Paulo. **Revista eletrônica Leopoldianum**, v. 47, n. 131, p. 20-20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.58422/releo2021.e1117>. Acesso em: 29 ago. 2025.

CARVALHO, A. M.; MAIA, L. P.; DOMINGUEZ, J. M. L. Caracterização Do Processo De Migração Das Dunas de Flexeiras, Baleia, Paracuru e Jericoacoara, Costa Noroeste do Ceará. **Arquivo de Ciências do Mar**. Fortaleza, v.39. n. 1, p.44-52. 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/53937>. Acesso em: 10 set. 2025.

CARVALHO, A. M. *et al.* Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil – Registro ímpar de um paleo-sistema costeiro. *In*: WINGE, M. (Ed.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, 2009. v. 2. Disponível em: https://www.sigep.eco.br/sitio118/sitio118_impreso.pdf. Acesso em: 01 set. 2025.

CARVALHO, A. M. *et al.* Using wind direction and shoreline morphology to model sand dune mobilization. **Journal of Coastal Research**, v. 32, n. 5, p. 1005-1015, 2016. Disponível em: 10.2112/JCOASTRES-D-14-00258.1. Acesso em: 13 set. 2025.

CASTRO, P. M. N. **Mapeamento e evolução da área útil de praias em imagens de satélite**. 2022. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10451/59283>. Acesso em: 11 set. 2025.

CAVALCANTE, I. N. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. 1998. 153 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-12112015-140423/publico/Cavalcante_Doutorado.pdf. Acesso em: 27 set. 2025.

CEARÁ. [Constituição (1989)]. **Constituição do Estado do Ceará**. Fortaleza: Assembleia Legislativa, 1989. Disponível em: <https://www.al.ce.gov.br/paginas/constituicao-do-estado-do-ceara>. Acesso em: 14 ago. 2025.

CEARÁ. IPECE. **Análise do PIB dos Municípios Cearenses – 2020**. Ceará: IPECE, 2022. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2022/12/PIB_Municipal_2020.pdf. Acesso em: 14 ago. 2025.

CHEN, Z. *et al.* Geomorphological analysis using unpiloted aircraft systems, structure from motion, and deep learning. *In*: IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS (IROS), 2020. **Proceedings... IEEE**, 2020. p. 1276-1283. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/349902053_Geomorphological_Analysis_Using_U

npiloted_Aircraft_Systems_Structure_from_Motion_and_Deep_Learning. Acesso em: 20 ago. 2025.

CHMIELOWSKA, D.; WORONKO, B.; DOROCKI, S. Applicability of automatic image analysis in quartz-grain shape discrimination for sedimentary setting reconstruction. **Catena**, v. 207, p. 105602, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105602>. Acesso em: 23 set. 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CLAUDINO-SALES, V. C. **Les Littoraux du Ceará**: Evolution géomorphologique de la zone côtière de l'Etat Du Ceará, Brésil – Du long terme au court terme. 2002. 511 f. Thèse (Doctorat) – Université Paris Sorbonne, Paris, 2002.

CLAUDINO-SALES, V. Os litorais cearenses. *In*: BORZACCIELLO, J. S. et al. **Ceará: um novo olhar geográfico**. 1. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2005. p. 231-260.

CLAUDINO-SALES, V.; PEULVAST, J. P. Geomorfologia da zona costeira do Ceará. *In*: DANTAS, E. W. C.; MEIRELES, A. J. A.; ZANELLA, M. E. (Orgs.). **Litoral e sertão: natureza e sociedade no Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006. v. 1. Disponível em: <https://www.ppggeografia.ufc.br/index.php/pt-br/colecao-de-estudos-geograficos/35-livros-em-pdf/206-pdf-livro-litoral-e-sertao>. Acesso em: 30 ago. 2025.

CLAUDINO-SALES, V.; PEULVAST, J. P. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 20, p. 1–21, 2007. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15469/8757>. Acesso em: 30 ago. 2025.

CLAUDINO-SALES, V.; WANG, P.; CARVALHO, A. M. Interactions between various headlands, beaches, and dunes along the coast of Ceará state, Northeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 34, n. 2, p. 413-428, 2017. Disponível em: 10.2112/JCOASTRES-D-16-00173.1. Acesso em: 05 set. 2025.

COPERNICUS DATA SPACE ECOSYSTEM (CDSE). **Copernicus DEM - Global and European Digital Elevation Model**. CDSE, 2019. Disponível em: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/copernicus-contributing-missions/collections-description/COP-DEM>. Acesso em: 1 set. 2025.

COSTA, I. M. **Morfologia e morfoscopia das coberturas pedológicas às margens do rio Uruguai em águas do Chapecó (SC)**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2015. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/1429>. Acesso em:

COSTA, M. C. O. *et al.* Sedimentary and hydraulic characterization to identify hydrofacies in Barreiras Formation, Rio de Janeiro state-Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 143, p. 104987, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104987>. Acesso em: 21 ago. 2025.

COSTAS, S. *et al.* Foredune initiation and early development through biophysical interactions. **Science of The Total Environment**, v. 940, p. 173548, 2024.. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173548>. Acesso em: 07 ago. 2025.

CPRM. **Mapa geológico do estado do Ceará**. Ceará: CPRM, 2003. 1 mapa color. Escala: 1:500.000. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/2355>. Acesso em: 15 ago. 2025.

CPRM. **Mapa geodiversidade do estado do Ceará**. Ceará: CPRM, 2014. 1 mapa color. Escala: 1:500.000. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/2355>. Acesso em: 15 ago. 2025.

CROSSLAND, C. J. *et al.* **Coastal fluxes in the Anthropocene**: The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme. Berlin: Springer, 2005.

DAVIDSON-ARNOTT, R. G. D. *et al.* Assessing the impact of hurricane Fiona on the coast of PEI National Park and implications for the effectiveness of beach-dune management policies. *Journal of Coastal Conservation*, v. 28, n. 3, p. 52, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11852-024-01050-5>. Acesso: 31 ago. 2025.

DAVIES, B. E. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v. 38, n. 1, p. 150-151, 1974. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1974.03615995003800010046x>. Acesso em: 15 set. 2025.

DEFEO, O. *et al.* Threats to sandy beach ecosystems: a review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 81, n. 1, p. 1-12, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.022>. Acesso em: 02 ago. 2025.

DEVALL, M. S. The biological flora of coastal dunes and wetlands. 2. *Ipomoea pes-caprae* (L.) Roth. **Journal of Coastal Research**, p. 442-456, 1992. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4297988>. Acesso em: 24 ago. 2025.

DIAS, R. Impactos climáticos em ecossistemas costeiros. **Revista Sociedade Científica**, v. 7, n. 1, p. 426-454, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.61411/rsc202420517>. Acesso em: 18 ago. 2025.

DICKINSON, W. R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. *In*: ZUFFA, G. G. (Ed.). **Provenance of arenites**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1985. p. 333-361. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2809-6_15. Acesso em: 30 out. 2025.

DIPAOLA, F.; BHARDWAJ, A.; SAM, L. Generating an interactive online map of future sea level rise along the North Shore of Vancouver: methods and insights on enabling geovisualisation for coastal communities. **arXiv preprint arXiv:2304.07469**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.07469>. Acesso em: 16 ago. 2025.

DOING, H. Coastal fore-dune zonation and succession in various parts of the world. **Vegetatio**, v. 61, n. 1, p. 65-75, 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00039811>. Acesso em: 05 dez. 2025.

EL BELRHITI, H.; DOUADY, S. Equilibrium versus disequilibrium of barchan dunes. *Geomorphology*, v. 125, n. 4, p. 558-568, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.10.025>. Acesso em: 01 set. 2025.

ELKO, N. *et al.* Dune Management Challenges on Developed Coasts. **Shore & Beach**, v. 84, n. 1, p. 15-28, 2016. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/html/tr/AD1028246/>. Acesso em: 05 dez. 2025.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2025.

FAÇANHA, M. C. *et al.* Erosão costeira da praia do Icarai (Caucaia/CE). Os **Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 2946-2952, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2165>. Acesso em: 01 set. 2025.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira: províncias florísticas**. 3ed. Fortaleza: Realce, 2006.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 15-26, 2005. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/72077>. Acesso em:

FETTER, A. H. *et al.* U–Pb and Sm–Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent “Atlantica”. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 102-106, 2000. Disponível em: <https://ppegeo.igc.usp.br/portal/wp-content/uploads/tainacan-items/15906/42716/10928-13141-1-SM.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

FLÜGEL, E.; MUNNECKE, A. **Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application**. Berlin: Springer, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-03796-2>. Acesso em: 30 nov. 2025.

FOLK, R. L.; WARD, W. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>. Acesso em: 01 ago. 2025.

FONTELES, J. O. **Turismo e os impactos socioambientais**. São Paulo: Aleph, 2004.

FORMAN, R. T. T.; ALEXANDER, L. E. Roads and their major ecological effects. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 29, n. 1, p. 207-231, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207>. Acesso em: 06 dez. 2025.

FRANCESCHINI, G.; COMPTON, J. S. Abrasion of foraminifera tests along an active dune cordon: Western Cape, South Africa. **Palaios**, v. 22, n. 6, p. 686-690, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.2110/palo.2006.p06-102r>. Acesso em: 20 nov. 2025.

FREIRE, L. V. *et al.* Caracterização química, mineralógica e geotécnica de sedimentos da formação barreiras e pós-barreiras-litoral sul do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 8, n. 2, p. 76-90, 2022. DOI: 10.21680/2447-3359.2022v8n2ID23638. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/23638>. Acesso em: 20 nov. 2025.

FRIEDMAN, G. M. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. **Journal of Sedimentary Research**, v. 31, n. 4, p. 514-529, 1961. Disponível em: <https://doi.org/10.1306/74D70BCD-2B21-11D7-8648000102C1865D>. Acesso em: 20 nov. 2025.

FRIEDMAN, G. M. Comparison of moment measures for sieving and thin-section data in sedimentary petrological studies. **Journal of Sedimentary Research**, v. 32, n. 1, p. 15-25, 1962. Disponível em: <https://doi.org/10.1306/74D70C36-2B21-11D7-8648000102C1865D>. Acesso em: 20 nov. 2025.

G1. **Tráfego irregular de veículos ameaça dunas em paraísos turísticos no Ceará**; veja o que diz a legislação. G1 – CE, 29 mar. 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2025/03/29/trafego-irregular-de-veiculos-ameaca-dunas-em-paraissos-turisticos-no-ceara-veja-o-que-diz-a-legislacao.ghtml>. Acesso em: 22 ago. 2025.

GEORGEN, J. **Área de Proteção Ambiental Jericoacoara**. Fortaleza: PRINTER; UECE/NUGA; SUDEC/DRN; PRMA/DF; PMA/CE; CEDCT/CE; GTZ, 1985.

GOGGIN, D. J. *et al.* Patterns of permeability in eolian deposits: Page Sandstone (Jurassic), northeastern Arizona. **SPE Formation Evaluation**, v. 3, n. 02, p. 297-306, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.2118/14893-PA>. Acesso em: 01 dez. 2025.

GOMES, A. H. P. *et al.* Recarga artificial do lençol freático como controle dos impactos da urbanização na bacia hidrográfica. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13, 2004, Cuiabá **Anais** [...]. São Paulo: Revista Água Subterrâneas, 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/download/23612/15692>. Acesso em: 02 dez. 2025.

GONDIM, J. H. A. *et al.* Percepção Socioambiental e Transformação da Paisagem Dunar: Análise Comparativa da Duna do Pôr do Sol, Jericoacoara – Ceará. **Revista Contexto Geográfico**, v. 9, n. 18, p. 143–155, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.28998/contegeo.9i.18.16702>. Acesso em: 12 out. 2025.

GOOSSENS, D.; BUCK, B. Dust emission by off-road driving: Experiments on 17 arid soil types, Nevada, USA. **Geomorphology**, v. 107, n. 3-4, p. 118-138, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.12.001>. Acesso em: 27 nov. 2025.

GOUDIE, A. S.; MIDDLETON, N. J. **Desert dust in the global system**. Berlin: Springer, 2006.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GURGEL, G. A. S. *et al.* Zoneamento Eólico e Transporte dos Sedimentos na área dos Corredores Eólicos do PARNA de Jericoacoara, Ceará, Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 11, n. 1, p. 489-503, 2025. DOI: 10.21680/2447-3359.2025v11n1ID32625. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/32625>. Acesso em: 13 ago. 2025.

HESP, P. A. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**, v. 48, n. 1-3, p. 245-268, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00184-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00184-8). Acesso em: 29 set. 2025.

HESP, P. A.; MARTÍNEZ, M. L. Disturbance processes and dynamics in coastal dunes. *In*: JOHNSON, E. A.; MIYANISHI, K. (Ed.). **Plant disturbance ecology: the process and the response**. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 215-247.

HOEFEL, F. G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica**. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 1998. 92 p.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2). Acesso em: 29 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Jijoca de Jericoacoara: Panorama**. Brasília: IBGE, 2025. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/jijoca-de-jericoacoara/panorama>. Acesso em: 25 ago. 2025.

JACKSON, D. W. T.; COOPER, J. A. G.; GREEN, A. N. A preliminary classification of coastal sand dunes of KwaZulu-Natal. **Journal of Coastal Research**, n. 70, p. 718-722, 2014.

JACOMINE, P. K. T. ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Recife: SUDENE-DRN; Brasília, DF: MA-Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. 2 v.

JEFFREY, N.; LAURENCE, H. **FABDEM V1-2**. Reino Unido: Universidade de Bristol, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5523/bris.s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>. Acesso em: 1 set. 2025.

JENSEN, J. R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2007.

JIOCA DE JERICOACOARA (CE). Lei Complementar nº 108, de 12 de maio de 2017. Institui o Plano Diretor Participativo do Município de Jijoca de Jericoacoara e dá outras providências. **Diário Oficial do Município**, Jijoca de Jericoacoara, 2017. Disponível em: <https://www.jijocadejericoacoara.ce.gov.br/leis.php?id=179>. Acesso em: 12 ago. 2025.

JULIO, K. **A ponta de Jericoacoara e seu potencial como sítio geológico do Brasil no patrimônio mundial (World Heritage Committee - UNESCO)**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade

Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/11547>. Acesso em: 13 set. 2025.

JULIO, K. D. *et al.* Ponta de Jericoacoara, CE – Belo promontório de rochas neoproterozoicas associadas a praias e dunas quaternárias com registros de variações do nível do mar. *In*: WINGE, M. *et al.* (Ed.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, 2012. v. 3, p. 85-98. Disponível em: <https://www.sigep.eco.br/sitio059/sitio059.pdf>. Acesso em: 13 set. 2025.

KATTAA, B. Heavy mineral survey of the Syrian beach sands, south of Tartous: Their nature, distribution and potential. **Exploration and Mining Geology**, v. 11, n. 1-4, p. 31-41, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250083982_Heavy_Mineral_Survey_of_the_Syrian_Beach_Sands_South_of_Tartous_Their_Nature_Distribution_and_Potential. Acesso em: 05 nov. 2025.

KLEIN, A. H. F. *et al.* **Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras**: litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável, 2016. Disponível em: https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/metodologia_quantificacao_riscos_costeiros_e_projecao_linhas_de_costa_futuras_litoral_norte_de_sta_catarina_.pdf. Acesso em: 30 ago. 2025.

KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. New Jersey: Prentice Hall, 1976.

KRUMBEIN, W. C. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Research**, v. 11, n. 2, p. 64-72, 1941. Disponível em: <https://doi.org/10.1306/D42690F3-2B26-11D7-8648000102C1865D>. Acesso em: 03 set. 2025.

LAMAS, F. *et al.* Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls. **Engineering geology**, v. 81, n. 1, p. 32-41, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.07.005>. Acesso em: 03 set. 2025.

LIMA, S. F. *et al.* **ANASED 5.0i**, Programa de Análise, Classificação e Arquivamento de Parâmetros sedimentológicos. 2001.

LONGLEY, P. A. *et al.* **Geographic Information Science and Systems**. 4. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2015.

MAGARITZ, M.; ENZEL, Y. Standing-water deposits as indicators of Late Quaternary dune migration in the northwestern Negev, Israel. **Climatic Change**, v. 16, n. 3, p. 307-318, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00144506>.

MAIA, A. M. G. *et al.* A interferência do fluxo turístico no Parque Nacional de Jericoacoara (CE). **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 18, n. 2, p. 01-13, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/revconv.18n.2-334>.

- MAIA, L. P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE Brasil)**: implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral. 1998. 269 f. Tese (Doutorado em Ciências do Mar) – Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, 1998. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/40>. Acesso em: 08 ago. 2025.
- MAIA, L. P. *et al.* **Atlas dos manguezais do nordeste do Brasil**: avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Fortaleza: SEMACE, 2006. Disponível em: <https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2020/12/Atlas-dos-manguezais-do-nordeste-do-Brasil.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- MALVÁREZ, G. C. *et al.* A Conceptual Model for Dune Morphodynamics of the Corralejo Dune System, Fuerteventura, Spain. **Journal of Coastal Research**, Special Issue 65, p. 123-128, 2013.
- MAPBIOMAS. **Coleção 8.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 set. 2025.
- MARTÍNEZ, M. L.; PSUTY, N. P.; LUBKE, R. A. What Are Sand Dunes? *In*: MARTÍNEZ, M. L.; PSUTY, N. P. **Coastal dunes**. Berlin: Springer Verlag, 2004.
- MARTINS, J. C. *et al.* Trajetória e perspectivas do turismo com cavalos-marinhos no Parque Nacional de Jericoacoara, Ceará. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 3, p. 234-248, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v12i3.1988>. Acesso em: 07 ago. 2025.
- MATIAS, L. Q.; NUNES, E. P. Levantamento florístico da área de proteção ambiental de Jericoacoara, Ceará. **Acta Botanica Brasilica**, v. 15, p. 35-43, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000100005>. Acesso em: 26 ago. 2025.
- MAUN, M. A. **The biology of coastal sand dunes**. Oxford: Oxford University Press, 2009.
- MCKEE, E. D. **A study of global sand seas**. Washington: U.S. Geological Survey Professional Paper 1052, 1979.
- MCKEE, E. D. **Sedimentary structures in dunes**. Washington: U.S. Geological Survey Professional Paper 1226, 1982.
- MEDVEDEV, A. *et al.* The use of UAV-derived ultrahigh resolution data for the assessment of semiarid badland exposure to hazardous geomorphological processes: case of the Eastern Caucasus foothills. *In*: EGU GENERAL ASSEMBLY CONFERENCE ABSTRACTS. 2022. p. EGU22-9087. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022EGUGA..24.9087M/abstract>. Acesso em: 12 set. 2025.
- MEIRA, S. A. **Pedras que cantam**: o patrimônio geológico do Parque Nacional de Jericoacoara, Ceará, Brasil. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=83987>. Acesso em: 28 ago. 2025.

MEIRELES, A. J. A. **Morfologia y Sistema Evolutivo de la Zona Costera de Ceará Nordeste de Brasil**. 2001. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidad de Barcelona, Barcelona, 2001.

MEIRELES, A. J. A. **Geomorfologia Costeira: funções ambientais e sociais**. Fortaleza: Edições UFC, 2011a.

MEIRELES, A. J. A. Geodinâmica dos campos de dunas móveis de Jericoacoara/CE-BR. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, p. 169-190, maio/ago. 2011b. Disponível em:

MEIRELES, A. J. A.; DANTAS, E. W. C.; SILVA, E. V. **Parque Nacional de Jericoacoara: trilhas para a sustentabilidade**. Fortaleza: Edições UFC, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2736/273619427012.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2025.

MEIRELES, A. J. A.; GORAYEB, A.; PEREIRA FILHO, N. S. Campos de dunas em Jericoacoara: intervenções humanas como possível indicador de mudança na dinâmica morfológica. **Confins**, [s. l.], n. 34, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.12884>. Acesso em: 11 set. 2025.

MEIRELES, A. J. A.; RAVENTOS, J. S. Um modelo geomorfológico integrado para a planície costeira de Jericoacoara/Ceará. **Mercator**, v. 1, n. 1, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/rm.v1i1.197>. Acesso em: 22 ago. 2025.

MIALL, A. D. A review of the braided-river depositional environment. **Earth-Science Reviews**, v. 13, n. 1, p. 1-62, 1977.

MORAIS, J. O. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. *In*: LIMA, L. C. *et al.* **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000. p. 106-184.

MORAIS, J. O. *et al.* Erosão e progradação do litoral do Ceará. *In*: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação do litoral do Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2006. p. 131-154. v. 1.

MORTON, A. C.; HALLSWORTH, C. R. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. **Sedimentary geology**, v. 124, n. 1-4, p. 3-29, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(98\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(98)00118-3), Acesso em: 20 nov. 2025.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 211-252.

MURPHY, C. P. **Thin Section Preparation of Soils and Sediments**. Berkhamsted: A B Academic Publishers, 1986.

MURRAY, J. W. **Ecology and applications of benthic foraminifera**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

- NASCIMENTO, F. R.; CUNHA, S. B.; ROSA, M. F. Classes de solos e unidades morfopedológicas na bacia hidrográfica do rio Acaraú – Ceará. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA*, 6., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2006. p. 01-11.
- NIELD, J. M. Surface moisture-induced feedback in aeolian environments. **Geology**, v. 39, n. 10, p. 915-918, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1130/G32151.1>.
- NIMER, E. Climatologia da Região Nordeste do Brasil: introdução à climatologia dinâmica: subsídios à geografia regional do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 2, p. 3-51, abr./jun. 1972.
- NORDSTROM, K. F. **Beaches and dunes of developed coasts**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- PAROPKARI, A. L. *et al.* Depositional environments inferred from variations of calcium carbonate, organic carbon, and sulfide sulfur: a core from southeastern Arabian Sea. **Geo-Marine Letters**, v. 11, n. 2, p. 96-102, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02431036>.
- PARTELI, E. J. R. *et al.* Morphodynamic modeling of aeolian dunes: Review and future plans. **The European Physical Journal Special Topics**, v. 223, n. 11, p. 2269-2283, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1140/epjst/e2014-02263-2>. Acesso em: 19 ago. 2025.
- PATI, R. **Lideranças denunciam descaso com preservação ambiental em praias do Ceará**. Correio Braziliense, Brasília, 15 mar. 2024. Disponível em: <https://www.correio braziliense.com.br/brasil/2024/03/6819435-liderancas-denunciam-descaso-com-preservacao-ambiental-em-praias-do-ceara.html>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- PAULINO, N. **De vila de pescadores a paraíso turístico**: como Jericoacoara se tornou um destino internacional? *Diário do Nordeste*, Ceará, 23 nov. 2024. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/de-vila-de-pescadores-a-paraiso-turistico-como-jericoacoara-se-tornou-um-destino-internacional-1.3585685>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- PAULINO, N. **Como a especulação em Jericoacoara tem ajudado a desconstruir um paraíso turístico no Ceará**. *Diário do Nordeste*, Ceará, 11 jun. 2025. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/como-a-especulacao-em-jericoacoara-tem-ajudado-a-desconstruir-um-paraiso-turistico-no-ceara-1.3656996>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- PEREIRA FILHO, N. S. **Análise da dinâmica espaço-temporal (1973 a 2014) das dunas de Jericoacoara, Ceará, Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/16900>. Acesso em: 02 ago, 2025.
- PEREIRA, R. C. M.; SILVA, E. V. Solos e vegetação do Ceará: características gerais. *In: SILVA, J. B.; CAVALCANTE, T. C.; DANTAS, E. W. C. (Orgs.). Ceará: um novo olhar geográfico*. 2. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. p. 189-210.
- PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E.; SIEVER, R. **Sand and sandstone**. New York: Springer Science & Business Media, 1987.

PINHEIRO, L. S. *et al.* Dunas móveis: áreas de preservação permanente?. **Sociedade & Natureza**, v. 25, p. 595-607, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/dC6rgQS7Cv9C9Q4rpLzQbyd/?lang=pt>. Acesso em: 02 set. 2025.

PINHEIRO, M. V. A. **Evolução geoambiental das dunas de transpasse do estado do Ceará**. 2015. 152 f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/17602>. Acesso em: 03 set. 2025.

PINHO, T. R. R. **Mudanças socioambientais promovidas pelo turismo litorâneo em comunidades que dão acesso a parques nacionais**. 2019. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/45382>. Acesso em: 05 set. 2025.

POPP, J. H. **Geologia geral**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2012. 352 p.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Planta, 2001. 328 p.

PYE, K. (Ed.). **Sediment transport and depositional processes**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994.

PYE, K.; TSOAR, H. **Aeolian sand and sand dunes**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2009.

READING, H. G. (Ed.). **Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy**. Oxford: Blackwell Publishing, 1996.

RILEY, G. A. Particulate organic matter in sea water. *In: Advances in Marine Biology*. Academic Press, 1971. p. 1-118.

ROSSETTI, D. F.; BEZERRA, F. H. R.; DOMINGUEZ, J. M. L. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. **Earth-Science Reviews**, v. 123, p. 87–112, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.005>. Acesso em: 13 nov. 2023.

SALIM, F. Z. *et al.* Application of a geomatics approach for the diachronic study of the mediterranean coastline case of tangier bay. **International Journal of Geosciences**, v. 9, n. 6, p. 320-336, 2018. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=85514>. Acesso em: 19 set. 2025.

SAUERMAN, G. *et al.* Wind velocity and sand transport on a barchan dune. **Geomorphology**, v. 54, n. 3-4, p. 245-255, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00359-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00359-8). Acesso em: 22 nov. 2025.

SCHLACHER, T. A. *et al.* Sandy beaches at the brink. **Diversity and Distributions**, v. 13, n. 5, p. 556-560, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00363.x>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SCHLACHER, T.; THOMPSON, L. Changes to dunes caused by 4WD vehicle tracks in beach camping areas of Fraser Island. *In: QUEENSLAND COASTAL CONFERENCE, 2., 2009. Proceedings...* SEQ Catchments Ltd., 2009. Disponível em: <https://research.usc.edu.au/esploro/outputs/conferencePaper/Changes-to-dunes-caused-by-4WD/99449526102621>. Acesso em: 05 dez. 2025.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2). Acesso em: 30 nov. 2025.

SHEKAR, P. R.; MATHEW, A. Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. **Watershed Ecology and the Environment**, v. 6, p. 13-25, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.001>. Acesso em: 15 nov. 2025.

SHERMAN, D. J. *et al.* Aeolian Saltation Flux Profiles: Comparison of Representation and Measurement Methods. **Geosciences**, v. 15, n. 8, p. 323, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/geosciences15080323>. Acesso em: 13 nov. 2025.

SHORT, A. D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester: John Wiley & Sons, 1999.

SHORT, A. D.; HESP, P. A. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. **Marine Geology**, v. 48, n. 3-4, p. 259-284, 1982. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(82\)90100-1](https://doi.org/10.1016/0025-3227(82)90100-1).

SÍGOLO, J. B. Processos eólicos e produtos sedimentares. *In: TEXEIRA, W. et al. (Org.). Decifrando a Terra*. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 421-442.

SILVA, E. V. **Dinâmica da paisagem**: estudo de ecossistemas do litoral de Huelva (Espanha) e Ceará (Brasil). 1993. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1993.

SILVA, J. A. L. Futuros conflitantes, perspectivas distantes: uma análise socioambiental de Jericoacoara. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFAS E GEÓGRAFOS, 8., 2024, São Paulo. Anais...* São Paulo: Associação dos Geógrafos Brasileiros (AGB), 2024. Disponível em: <https://www.cbg2024.agb.org.br/trabalho/view?q=eyJwYXJhbXMiOiJ7XCJjRjF9UUKFCQUxIT1wiOlwiMzY2NlwiSIsImgiOiIzZDM3ZjcyNTRIYzAwYmI1NzU4ZTQ0MDQxZTBIMDFhYSJ9>. Acesso em: 20 set. 2025.

SILVA, M. A. C.; BARCELLOS, R. L. Características dos sedimentos subsuperficiais do manguezal da praia da Pedra, Rio Formoso (PE). **Tropical Oceanography**, v. 49, n. 2, p. 13-16, 2022. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9259409>.

SILVA, M. J. L. **Uso e ocupação do solo e a transformação da paisagem na faixa litorânea da Via Costeira, município de Natal/RN**. 2015. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/20299>. Acesso em: 16 nov. 2025.

SILVA, R. L. A. S. *et al.* Paisagem costeira: refletindo a geomorfologia de Jericoacoara (Brasil) a partir da relação sociedade/natureza. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, 2018. Disponível em: <https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/124>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SINGH, C. K. *et al.* Depositional environment in great Indian desert using grain size parameters and its chemical characterization. **Journal of the Geological Society of India**, v. 86, n. 4, p. 412-420, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12594-015-0329-x>.

SIQUEIRA, A. C. A. **Geoquímica das laterais de domínio médio Coreau - Noroeste do Estado do Ceará**. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/4805>. Acesso em: 15 ago. 2025.

SOARES, M. O.; BARROS, E. L.; GUERRA, R. G. P. Not just sand: The folly of dismantling the environmental protection of dunes in Brazil. **Land Use Policy**, v. 112, p. 105803, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105803>. Acesso em: 5 dez. 2025.

SOUSA, L. B.; COSTAS, S.; FERREIRA, O. Morphological parameters to assess the state of coastal dunes. *In: EGU GENERAL ASSEMBLY CONFERENCE ABSTRACTS*. 2022. p. EGU22-12029. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-12029>, 2022.

SOUZA, T. A.; OLIVEIRA, R. C. Modificações do uso da terra em paisagens costeiras: a Ilha Comprida (SP) como estudo de caso. **Geographia Meridionalis**, v. 2, n. 1, p. 84-108, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.15210/gm.v2i1.7621>. Acesso em: 19 set. 2025.

ST. PIERRE, K. A. *et al.* Seasonally and spatially variable organic matter contributions from watershed, marine macrophyte, and pelagic sources to the Northeast Pacific coastal ocean margin. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 863209, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.863209>.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of American Geophysical Union**, Washington, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957. Disponível: <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>. Acesso em: 12 nov. 2025.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1973.

TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 17, p. 11–23, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/download/47271/51007/0>. Acesso em: 16 set. 2025.

THOMPSON, L. M. C.; SCHLACHER, T. A. Physical damage to coastal dunes and ecological impacts caused by vehicle tracks associated with beach camping on sandy shores: a case study from Fraser Island, Australia. **Journal of Coastal Conservation**, v. 12, n. 2, p. 67-82, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11852-008-0032-9>. Acesso em: 09 nov. 2025.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007.

TUCKER, M. E.; WRIGHT, V. P. **Carbonate Sedimentology**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1990.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UECE). **Estudo de capacidade de suporte ou de carga da Vila de Jericoacoara, município de Jijoca de Jericoacoara, Ceará, tendo como fator limitante os recursos hídricos**. Fortaleza: UECE, 2022. Disponível em: https://ceartransparente.ce.gov.br/attachments/c41ddeb3bbe45edf4ade390e4a5348563cdda7fb/store/7396d912ef7199f2075f25a8d2a8b4a260ecc3f93ea58694f38584967da8/universidade-estadual-do-ceara-estudo-de-capacidade-da-vila-de-jericoacoara_final-1.pdf. Acesso em: 14 set. 2025.

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. Disponível em: https://jbb.ibict.br/bitstream/1/397/1/1991_classificacaovegetal_Velloso1991.pdf. Acesso em: 02 ago. 2025.

VIEIRA, H.; CALLIARI, L. J.; OLIVEIRA, G. O estudo do impacto da circulação de veículos em praias arenosas através de parâmetros físicos: um estudo de caso. **Engevista**, v. 6, n. 3, p. 54-63, dezembro 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Lauro-Calliari/publication/26514318_O_estudo_do_impacto_da_circulacao_de_veiculos_em_praias_arenosas_atraves_de_parametros_fisicos_um_estudo_de_caso/links/0c96051e3e27d4f13400000/O-estudo-do-impacto-da-circulacao-de-veiculos-em-praias-arenosas-atraves-de-parametros-fisicos-um-estudo-de-caso.pdf. Acesso em: 07 out. 2025.

VILLATE, D. A. *et al.* Human disturbances of shoreline morphodynamics and dune ecosystem at the Puerto Velero spit (Colombian Caribbean). **Journal of Coastal Research**, SI 95, p. 711-716, 2020.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WANG, X. *et al.* Geomorphology of sand dunes in the Northeast Taklimakan Desert. **Geomorphology**, v. 42, n. 3-4, p. 183-195, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00085-X). Acesso em: 15 out. 2025.

WARD, N. D. *et al.* Representing the function and sensitivity of coastal interfaces in Earth system models. **Nature Communications**, v. 11, n. 2458, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16236-2>. Acesso em: 20 out. 2025.

WASSON, R. J.; HYDE, R. F. Factors determining desert dune type. **Nature**, v. 304, n. 5924, p. 337-339, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/304337a0>. Acesso em: 11 out. 2025.

WEBB, R. H.; WILSHIRE, H. G. (Org.). **Environmental effects of off-road vehicles: impacts and management in arid regions**. New York: Springer-Verlag, 1983. 534 p.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, n. 1-4, p. 93-118, 1984. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2). Acesso em: 19 out. 2025.

XIMENES NETO, A. R. **Indicadores geológico-geomorfológicos de variação do nível relativo do mar em sistemas de natureza mista (siliciclástico-carbonático): costa do Ceará, NE Brasil**. 2020. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: <http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=96270>. Acesso em: 05 dez. 2025.

ZANELLA, M. E. As características climáticas e os recursos hídricos do Estado do Ceará. *In*: SILVA, J. B. et al. (Org.). **Ceará: um novo olhar geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2005. p. 480.

ZHANG, C.; TAN, N.; LI, J. Aeolian Desertification Dynamics from 1995 to 2020 in Northern China: Classification Using a Random Forest Machine Learning Algorithm Based on Google Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 16, n. 1, p. 1-20, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs16163100>. Acesso em: 20 out. 2025.

ZHOURI, A. Justiça ambiental, diversidade cultural e accountability: desafios para a governança ambiental. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 23, p. 97-107, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcsoc/a/gL9s5ytDQ9jvzVH5GvtsbXw/>. Acesso em: 05 out. 2025.