

MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOECOLÓGICAS DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS PEQUENOS LENÇÓIS, MARANHÃO, BRASIL

JOSÉ DE RIBAMAR PINHEIRO JÚNIOR

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Ceará (UFC).

Email: pinheirojr@email.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8316-6262>

EDSON VICENTE DA SILVA

Doutor em Geografia Física. Professor Titular da Universidade Federal do Ceará (UFC)

Email: cacauceara@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5688-750X>

LEONARDO SILVA SOARES

Doutor em Oceanografia. Professor da Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Email: leonardo.soares@ufma.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0373-2971>

ALLANA PEREIRA COSTA

Doutoranda em Desenvolvimento em Meio Ambiente. Universidade Federal do (UFMA)

Email: allanacostageo@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7458-6540>

JORDANE DE OLIVEIRA BORGES

Doutora em Geografia. Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Email: jordane-borges@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2313-7670>

Recebido:02/26 Avaliado:05/26 Publicado:07/26

RESUMO

A Área de Proteção Ambiental (APA) dos Pequenos Lençóis, localizada no litoral oriental do estado do Maranhão, Brasil, configura-se como um sistema ambiental de elevada complexidade e sensibilidade ecológica, inserido em um contexto de crescentes pressões antrópicas e ausência de instrumentos efetivos de ordenamento territorial. O presente trabalho tem como objetivo mapear e caracterizar as unidades geológicas da APA dos Pequenos Lençóis, com base nos pressupostos teórico-metodológicos da Geologia das Paisagens, integrados ao uso de geotecnologias. A pesquisa adotou uma abordagem sistêmica e interdisciplinar, estruturada em fases sequenciais de organização, inventário e análise integrada, contemplando levantamentos de dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, hidrológicos, vegetacionais e de uso e cobertura da terra, complementados por atividades de campo e processamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A análise geológica permitiu a identificação e delimitação de quatro unidades geológicas principais: planícies flúvio-marinhas, planícies fluviais ou flúvio-lacustres, planícies costeiras e campos de dunas, cada uma subdividida em subunidades segundo suas características estruturais, dinâmicas e funcionais. A classificação da fragilidade ambiental, fundamentada na integração entre os pressupostos ecodinâmicos de Tricart e a análise empírica de Ross, evidenciou predominância de ambientes com fragilidade alta e muito alta, associada à instabilidade morfodinâmica, à sensibilidade dos ecossistemas costeiros e à vulnerabilidade frente às intervenções antrópicas. Os resultados demonstram que a compartimentação geológica constitui instrumento técnico-científico fundamental para subsidiar o planejamento e a gestão ambiental da APA, ao fornecer base cartográfica e analítica para a proposição de estratégias diferenciadas de uso, conservação e recuperação, compatíveis com a capacidade de suporte dos sistemas ambientais costeiros e flúvio-marinhos.

Palavras-chave: Geologia das Paisagens; Unidades Geológicas; Fragilidade Ambiental; APA dos Pequenos Lençóis; Geotecnologias.

MAPPING AND CHARACTERIZATION OF THE GEOECOLOGICAL UNITS OF THE PEQUENOS LENÇÓIS ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA, MARANHÃO, BRAZIL

ABSTRACT

The Pequenos Lençóis Environmental Protection Area (EPA), located on the eastern coast of Maranhão State, Brazil, constitutes a highly complex and ecologically sensitive environmental system, subject to increasing anthropogenic pressures and lacking effective territorial management instruments. This study aims to map and characterize the geoeological units of the Pequenos Lençóis EPA, based on the theoretical and methodological framework of Landscape Geoecology, integrated with geospatial technologies. The research adopted a systemic and interdisciplinary approach, structured in sequential phases of organization, inventory, and integrated analysis, encompassing geological, geomorphological, pedological, climatic, hydrological, vegetation, and land use and land cover surveys, complemented by fieldwork and Geographic Information System (GIS) processing. The geoeological analysis enabled the identification and delineation of four main geoeological units: fluvio-marine plains, fluvial or fluvio-lacustrine plains, coastal plains, and dune fields, each subdivided into subunits according to their structural, dynamic, and functional characteristics. The environmental fragility classification, based on the integration of Tricart's ecodynamic framework and Ross's empirical analysis, revealed a predominance of environments with high and very high fragility, associated with morphodynamic instability, coastal ecosystem sensitivity, and vulnerability to anthropogenic interventions. The results demonstrate that geoeological compartmentalization constitutes a fundamental technical-scientific instrument for supporting the planning and environmental management of the EPA, providing a cartographic and analytical basis for proposing differentiated strategies of use, conservation, and recovery, compatible with the carrying capacity of coastal and fluvio-marine environmental systems.

Keywords: Landscape Geoecology; Geoeological Units; Environmental Fragility; Pequenos Lençóis EPA; Geospatial Technologies.

INTRODUÇÃO

As interações entre sociedade e natureza constituem um dos eixos centrais de análise das transformações territoriais contemporâneas, especialmente em contextos marcados por intensificação produtiva e reestruturação dos modos de apropriação do espaço. As zonas costeiras brasileiras, particularmente nas regiões Norte e Nordeste, configuram-se como espaços de elevada complexidade ambiental, nos quais se sobrepõem ecossistemas sensíveis e intensos processos de ocupação humana. Ambientes como dunas, restingas, manguezais, estuários e lagoas interdunares apresentam dinâmica própria, marcada por elevada variabilidade temporal e espacial, o que os torna especialmente vulneráveis a intervenções antrópicas não planejadas (Muehe, 2018).

A intensificação do turismo, a expansão urbana desordenada, a implantação de empreendimentos de infraestrutura e a pressão imobiliária têm ampliado a exposição desses sistemas a processos de degradação, como erosão costeira, perda de habitats, fragmentação da paisagem e contaminação dos recursos naturais (Araújo; Lacerda, 2020). Diante desse cenário, torna-se imprescindível a adoção de instrumentos de planejamento territorial capazes de integrar conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico, respeitando os limites ecológicos e a capacidade de suporte dos sistemas costeiros.

Nesse contexto, a Geoecologia das Paisagens consolida-se como um referencial teórico-metodológico fundamental, ao permitir a leitura sistêmica, funcional e multiescalar dos geossistemas, articulando componentes físicos, biológicos e antrópicos no suporte ao planejamento e à gestão ambiental (Monteiro, 2000; Ross, 1994; Wu, 2021). Fundamentada na perspectiva geossistêmica, essa abordagem busca compreender as interações entre os elementos naturais e antrópicos do espaço geográfico, propondo o uso equilibrado dos recursos e a conservação da biodiversidade e da geodiversidade (Rodríguez; Silva; Cavalcanti, 2007; Rodríguez; Silva, 2013).

As Áreas de Proteção Ambiental (APAs), conforme definidas pela Lei nº 9.985/2000, constituem uma das categorias mais significativas de Unidades de Conservação no planejamento territorial brasileiro, por permitirem a coexistência entre conservação ambiental, uso sustentável e atividades socioeconômicas (Brasil, 2000). Contudo, a ausência ou insuficiência de instrumentos de gestão, como planos de manejo e zoneamentos ambientais, fragiliza a efetividade dessas unidades, comprometendo a integridade dos ecossistemas protegidos (Lima; Ferreira, 2022).

A Área de Proteção Ambiental da Foz do Rio das Preguiças – Pequenos Lençóis – Região Lagunar Adjacente, denominada APA dos Pequenos Lençóis, situada no litoral oriental do Maranhão, enfrenta limitações institucionais significativas, com ausência de plano de manejo e de articulação entre os municípios inseridos na unidade. A sobreposição de usos como turismo, expansão urbana, energia eólica, extrativismo, carcinicultura e agricultura, sobre ambientes de elevada fragilidade ecológica tem intensificado conflitos socioambientais e comprometido a capacidade de suporte dos sistemas naturais.

A incorporação de geotecnologias, como o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem ampliado significativamente a capacidade de diagnóstico territorial, permitindo identificar padrões espaciais, níveis de fragilidade ambiental e dinâmicas de uso e ocupação do solo com maior precisão (Crepani et al., 2001; Jensen, 2015). Essa integração metodológica possibilita a delimitação de unidades ambientais e a elaboração de diagnósticos geoecológicos cientificamente fundamentados.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo mapear e caracterizar as unidades geoecológicas da APA dos Pequenos Lençóis, fundamentado nos princípios da Geoecologia das Paisagens e no uso integrado de geotecnologias, visando fornecer subsídios técnico-científicos para o planejamento e a gestão ambiental dessa Unidade de Conservação.

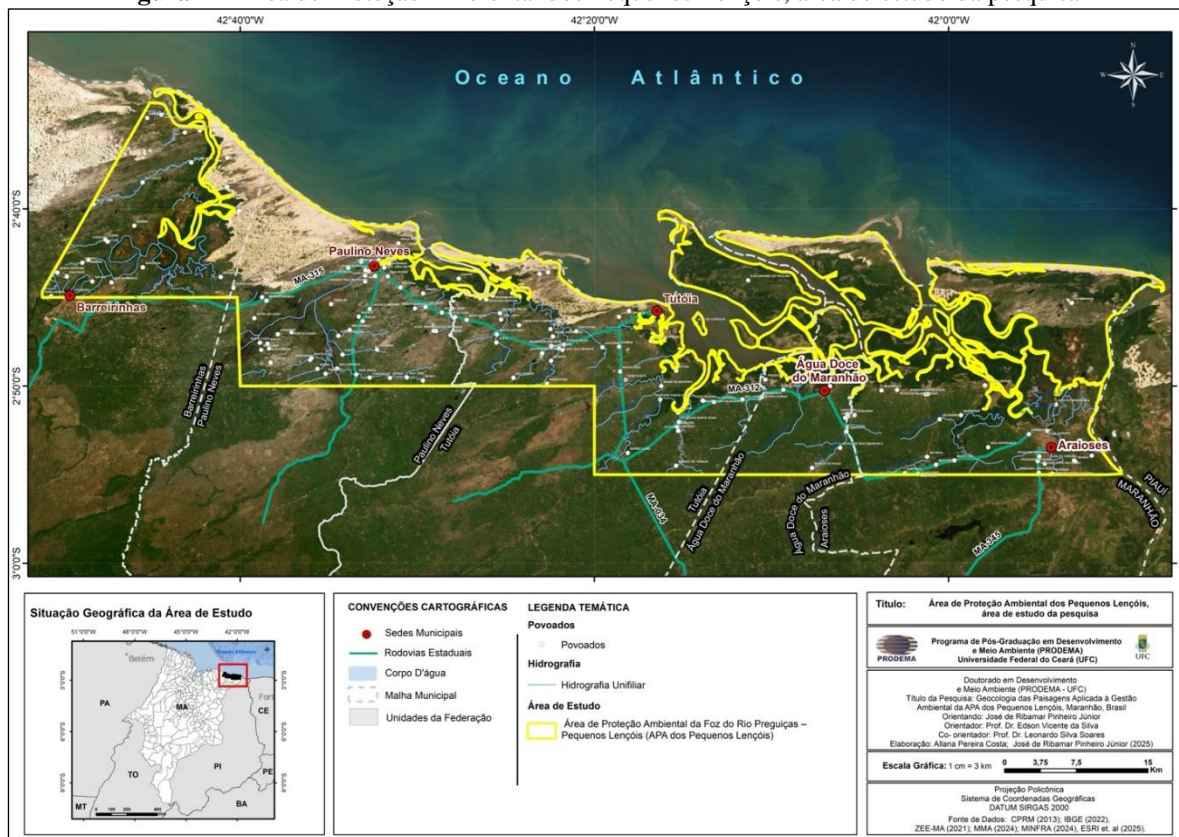
MATERIAL E METÓDOS

Área de estudo

A APA dos Pequenos Lençóis está localizada no litoral oriental do estado do Maranhão, abrangendo os municípios de Barreirinhas, Paulino Neves, Tutóia, Água Doce do Maranhão e Araióses. A unidade de conservação foi criada pelo Decreto Estadual nº 11.900, de 11 de junho de 1991, e compreende uma área aproximada de 269.684,3ha, caracterizada pela presença de ecossistemas costeiros e continentais de elevada complexidade, incluindo campos de dunas, manguezais, planícies flúvio-marinhas, planícies fluviais, restingas, vegetação de cerrado e corpos hídricos diversificados.

A área insere-se na denominada "Rota das Emoções", corredor turístico que se estende do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (MA) ao Parque Nacional de Jericoacoara (CE), o que intensifica as pressões sobre os sistemas ambientais locais em decorrência do crescimento turístico, da especulação imobiliária e da implantação de empreendimentos de infraestrutura e energia.

Figura 1 – Área de Proteção Ambiental dos Pequenos Lençóis, área de estudo da pesquisa



Elaboração: Pinheiro Júnior; Costa (2025)

Procedimentos metodológicos

A pesquisa adotou uma abordagem sistêmica e interdisciplinar, estruturada nas fases sequenciais propostas por Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2007) para a Geociologia das Paisagens aplicada ao planejamento ambiental: organização e inventário, análise integrada, diagnóstico e prognóstico.

Fase de organização e inventário

Na fase de organização e inventário, foram realizados levantamentos sistemáticos dos componentes naturais e antrópicos da paisagem, abrangendo os seguintes aspectos: geologia, geomorfologia, declividade, altimetria, pedologia, recursos hídricos, clima (incluindo classificação climática pelo método de Thornthwaite e Mather, 1955), vegetação e uso e cobertura da terra, entretanto, para esse trabalho, os dados que serão base para as elaboração dos mapas das unidades geoecológicas, utilizou-se os mapas de geomorfologia, vegetação e uso e cobertura do solo.

Os dados cartográficos vetoriais foram obtidos nas bases de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão (ZEE-MA), do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram utilizadas imagens de sensoriamento remoto dos satélites Landsat e Sentinel-2, processadas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) com o software QGIS versão 4.2.

A classificação do uso e cobertura da terra foi realizada a partir de imagens orbitais, com classes reagrupadas em cinco categorias principais: área urbana antropizada, área de solo exposto, área de vegetação florestal predominante, uso agrossilvipastoril e diversificados, e corpos d'água.

Nesta fase foram realizadas também campanhas de campo para validação e complementação dos dados cartográficos entre os anos de 2023 e 2025, identificação de feições geomorfológicas, registro fotográfico georreferenciado, reconhecimento de padrões de uso do solo e verificação da cobertura vegetal. As rotas de campo contemplaram os cinco municípios inseridos na APA, com pontos de controle distribuídos nos diferentes compartimentos geomorfológicos e unidades de paisagem.

2.2.2 Fase de análise integrada

A análise integrada consistiu na sobreposição e correlação dos componentes inventariados, visando à identificação de padrões espaciais, relações de interdependência e dinâmicas ambientais. A integração dos dados físico-bióticos e socioeconômicos foi realizada em ambiente SIG, por meio da álgebra de mapas e análise multicritério, permitindo a delimitação das unidades geológicas.

A delimitação das unidades geológicas fundamentou-se na análise conjunta dos seguintes critérios: substrato geológico, compartimentação geomorfológica, tipos de solos, cobertura vegetal, padrões de uso da terra e dinâmica hidrológica. Cada unidade foi classificada segundo sua estrutura, funcionalidade e grau de fragilidade ambiental.

2.2.3 Classificação da fragilidade ambiental

A classificação da fragilidade ambiental das unidades geológicas foi fundamentada na integração entre os pressupostos da ecodinâmica de Tricart (1977), que classifica os ambientes em estáveis, intergrades e fortemente instáveis segundo a relação entre morfogênese e pedogênese, e a análise empírica da fragilidade ambiental proposta por Ross (1994), que estabelece cinco classes de fragilidade (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) com base na integração de variáveis como declividade, tipos de solos, cobertura vegetal e uso da terra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Contextualização das Unidades e Subunidades Geológicas Naturais da APA dos Pequenos Lençóis

Para análise das interações dos processos formadores da Paisagem, os elementos condicionantes foram agrupados em 08(oito) Unidades geológicas (Figura 35), no qual objetivou-se comparar a dinâmica paisagística e espaço temporal a partir da geomorfologia e classes de uso e cobertura.

No setor setentrional da APA, ao longo da interface direta com o Oceano Atlântico, destacam-se as unidades de mar litorâneo e planícies costeiras com áreas de praia e pós-praia (Figura 35), que funcionam como zonas de recepção, redistribuição e retrabalhamento de sedimentos arenosos transportados por correntes marinhas e ventos dominantes. Essas unidades desempenham papel fundamental no abastecimento sedimentar dos campos de dunas e na manutenção do equilíbrio morfodinâmico do sistema costeiro, configurando ambientes de elevada energia e alta sensibilidade a alterações antrópicas.

A primeira unidade geológica abordada no presente estudo é o Mar litorâneo que foi delimitado considerando-se a linha de costa a 20 milhas náuticas, a importância do mar como unidade paisagística está no seu papel de interface entre o continente e o oceano, conferindo-lhe uma configuração singular na dinâmica das paisagens locais. Nesse ambiente ocorrem constantes fluxos de matéria e energia, que frequentemente modificam a paisagem, influenciando as transformações da linha de costa e a deposição de sedimentos.

As unidades geológicas associadas a planícies costeiras na APA dos Pequenos Lençóis (Figura 35) são as unidades de praia e pós-praia e as unidades ligadas aos campos de dunas. A praia e a pós-praia correspondem a faixa de areia onde o continente e o mar trocam

energias, havendo o processo de transporte de sedimentos e troca de energia que transporta o sedimento no mar litorâneo para a faixa de praia através de correntes, sofrendo ação da dinâmica eólica posteriormente. A pós-praia, apresenta uma dinâmica de fluxo de sedimentos advindo da praia em direção a unidade de campo de dunas.

As planícies costeiras constituem ambientes extremamente sensíveis a intervenções antrópicas, uma vez que alterações na linha de costa, na cobertura vegetal ou na dinâmica hidrossedimentar podem comprometer a estabilidade do sistema como um todo. Do ponto de vista geológico, essas unidades apresentam alta fragilidade ambiental, exigindo critérios rigorosos de uso e ocupação, especialmente em áreas de turismo e infraestrutura costeira (Ross, 1994; IBGE, 2012).

Os campos de dunas representam a unidade geológica dominante da APA dos Pequenos Lençóis, constituindo extensos compartimentos moldados por processos eólicos associados à disponibilidade de sedimentos arenosos e à ação dos ventos dominantes. Esses campos apresentam diferentes graus de mobilidade e estabilização, refletidos nas subunidades mapeadas.

Os campos de dunas livres ou móveis, com escassa ou inexistente cobertura vegetal, correspondem a ambientes de elevada dinâmica morfossedimentar, nos quais a migração das dunas ocorre de forma contínua. Já os campos de dunas com vegetação de influência marinha arbustiva indicam estágios intermediários de estabilização, nos quais a vegetação exerce papel parcial na fixação das areias, reduzindo a mobilidade eólica, mas sem eliminar completamente a dinâmica dunar.

Do ponto de vista geológico, essas subunidades configuram sistemas instáveis e altamente sensíveis a perturbações, sendo reconhecidas como áreas prioritárias para conservação e manejo restritivo, conforme os princípios da ecodinâmica propostos por Tricart (1977).

Associadas a essas planícies costeiras desenvolvem-se extensos campos de dunas, que constituem a unidade geológica dominante da APA. Esses campos apresentam diferentes estágios de mobilidade e estabilização, refletidos nas subunidades identificadas no mapa. Os campos de dunas livres ou móveis, com cobertura vegetal incipiente ou ausente, expressam ambientes de elevada dinâmica eólica, com intensa migração das formas dunares. Já os campos de dunas com vegetação de influência marinha arbustiva representam áreas de transição, onde a colonização vegetal começa a atuar como elemento de fixação parcial das areias, reduzindo a mobilidade dos sedimentos.

Em setores mais interiores e topograficamente mais elevados, observam-se os campos de dunas com savana arborizada e savana florestada, subunidades que indicam maior grau de estabilização morfossedimentar. Nessas áreas, a presença de cobertura vegetal arbóreo-arbustiva mais densa exerce papel decisivo na contenção dos processos eólicos, favorecendo o desenvolvimento de solos arenosos incipientes e a consolidação de um equilíbrio geológico relativamente mais estável. Essas subunidades configuram ambientes ecotonais, nos quais coexistem processos típicos dos campos dunares com características fitofisionômicas associadas a formações savânicas costeiras, sendo reconhecidas como áreas de elevada fragilidade ambiental diante de supressões vegetais ou alterações no uso do solo.

Campos de dunas com savana florestada correspondem a unidades geológicas de caráter ecotonal, nas quais campos dunares predominantemente arenosos — formados por processos eólicos costeiros recentes e retrabalhados — coexistem e se interpenetram com fitofisionomias savânicas de porte arbóreo-arbustivo, com cobertura vegetal relativamente mais densa e estratificada. Nesses ambientes, a dinâmica morfossedimentar das dunas (migração, estabilização parcial, retrabalhamento eólico) é modulada pela presença da vegetação, que atua como fator de fixação e semi-fixação das areias, reduzindo a mobilidade

dunar e permitindo o desenvolvimento de solos arenosos incipientes (neossolos quartzarenicos), com baixa fertilidade natural, elevada drenagem e forte controle climático e edáfico.

Do ponto de vista funcional e paisagístico, os campos de dunas com savana florestada expressam um equilíbrio instável entre processos geomorfológicos e biológicos, sendo fortemente condicionados por gradientes de umidade, salinidade, aporte eólico de sedimentos e proximidade de sistemas costeiros adjacentes. A savana florestada associada apresenta espécies lenhosas adaptadas ao estresse hídrico, à pobreza nutricional dos solos e à influência marinha, configurando uma paisagem mosaico, típica de áreas costeiras tropicais e subtropicais, especialmente no litoral setentrional brasileiro. Em termos de planejamento ambiental, essas unidades são reconhecidas como ambientes de alta fragilidade e sensibilidade, uma vez que alterações na cobertura vegetal tendem a reativar a mobilidade das dunas e comprometer a estabilidade geocológica do sistema.

Interpenetrando o sistema dunar, sobretudo nos setores centrais e orientais da APA, destacam-se a unidade geocológica de planícies flúvio-marinhas com predominância de manguezais, que acompanham os principais estuários, canais de maré e áreas de influência das bacias hidrográficas locais. Essas unidades desempenham função ecológica estratégica, atuando como zonas de amortecimento hidrossedimentar, retenção de nutrientes, proteção da linha de costa e suporte à biodiversidade aquática e terrestre. Associadas a elas, porém atuando de forma independente ocorrem as unidades geocológicas de planícies fluviais ou flúvio-lacustres, que refletem ambientes de menor energia, sujeitos a inundações periódicas e forte controle hidrológico. São caracterizadas por regimes de inundação periódica e forte controle hidrológico. Do ponto de vista da geocologia da paisagem, esses ambientes atuam como zonas de amortecimento hidrossedimentar, fundamentais para a estabilidade funcional do sistema costeiro como um todo (IBGE, 2012).

Do ponto de vista funcional, a organização espacial das unidades geocológicas da APA dos Pequenos Lençóis revela um gradiente ambiental contínuo, que se estende do mar litorâneo até os compartimentos continentais interiores, passando por sistemas de praia, dunas, planícies flúvio-marinhas e áreas de transição savânica. Essa continuidade reforça a compreensão da APA como um sistema ambiental integrado, no qual intervenções localizadas especialmente sobre a cobertura vegetal dos campos de dunas ou sobre os sistemas flúvio-marinhas tendem a produzir efeitos cumulativos e sinérgicos em toda a paisagem.

Assim, a leitura geocológica das unidades e subunidades mapeadas fornece base técnico-científica essencial para o planejamento e a gestão ambiental da APA, ao evidenciar áreas de maior fragilidade, setores estratégicos para conservação e zonas onde o uso sustentável deve ser rigorosamente compatibilizado com a dinâmica natural dos sistemas costeiros e continentais que estruturam o território da UC estudada.

Sob a perspectiva da geocologia das paisagens, a compartimentação em unidades e subunidades geocológicas não representa a fragmentação do território, mas um instrumento analítico que permite compreender a funcionalidade (Quadro 1), a estabilidade relativa e os fluxos de matéria e energia que estruturam o sistema paisagístico (Bertrand, 1972; Tricart, 1977). Nesse sentido, o mapa das Unidades Geocológicas Ambientais da APA evidencia um arranjo espacial contínuo e interdependente, fundamental para subsidiar ações de planejamento e gestão ambiental.

A leitura integrada das unidades e subunidades geocológicas da APA dos Pequenos Lençóis revela um gradiente ambiental contínuo, que se estende do mar litorâneo até os compartimentos continentais interiores. Essa continuidade reforça a compreensão da APA como um sistema ambiental aberto e interdependente, no qual intervenções localizadas tendem a produzir efeitos cumulativos e sinérgicos em escala regional.

Nesse contexto, a compartimentação geocológica constitui base fundamental para o zoneamento ambiental, a identificação de áreas de maior fragilidade e a definição de diretrizes diferenciadas de uso e ocupação do solo. A aplicação dos princípios da geocologia das paisagens permite, assim, subsidiar estratégias de gestão ambiental compatíveis com a dinâmica natural dos sistemas costeiros e flúvio-marinhos que estruturam a APA, contribuindo para a efetividade das ações de conservação e desenvolvimento sustentável.

Quadro 1 – Relação entre unidades e subunidades geocológicas da APA dos Pequenos Lençóis e classes de fragilidade ambiental

| Unidade / Subunidade Geocológica | Principais características geocológicas | Dinâmica dominante (Tricart) | Classe de fragilidade ambiental (Ross) | Justificativa técnico-científica |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mar litorâneo | Ambiente marinho raso, de elevada energia hidrodinâmica, com intensos processos de erosão, transporte e deposição sedimentar | Sistema ecodinâmico fortemente instável | Muito Alta | Elevada instabilidade natural, forte mobilidade de sedimentos e extrema sensibilidade a intervenções antrópicas, com impactos amplificados e difícil reversibilidade |
| Planícies costeiras (praia e pós-praia) | Superfícies arenosas recentes, sujeitas à ação direta das ondas, marés e ventos | Sistema ecodinâmico instável | Muito Alta | Alta mobilidade sedimentar, ausência de solos desenvolvidos e forte dependência do balanço costeiro, caracterizando elevada fragilidade estrutural |
| Campos de dunas livres ou móveis | Dunas ativas, com escassa ou inexistente cobertura vegetal e intensa migração eólica | Sistema ecodinâmico fortemente instável | Muito Alta | Instabilidade morfodinâmica extrema, alta suscetibilidade a perturbações e rápida resposta a alterações na superfície |
| Campos de dunas com vegetação de influência marinha arbustiva | Dunas parcialmente fixadas por vegetação arbustiva halófila ou psamófila | Sistema ecodinâmico instável a transicional | Alta | Vegetação exerce fixação parcial das areias, reduzindo a mobilidade, porém mantendo elevada sensibilidade a supressões vegetais |
| Campos de dunas com savana arborizada | Dunas semi-estabilizadas, com cobertura arbóreo-arbustiva descontínua | Sistema ecodinâmico transicional | Alta a Média | Maior estabilidade relativa, porém, com substrato arenoso frágil; remoção da vegetação pode reativar processos eólicos |
| Campos de dunas com savana florestada | Dunas estabilizadas, com cobertura vegetal arbórea mais densa e solos arenosos incipientes | Sistema ecodinâmico tendente ao equilíbrio | Média | Maior proteção superficial e estabilidade morfossedimentar, embora ainda sensível a intervenções que alterem a cobertura vegetal |
| Planícies flúvio-marinhas com manguezais | Ambientes estuarinos, sujeitos à ação das marés, com elevada produtividade biológica | Sistema ecodinâmico instável | Muito Alta | Forte dependência hidrossedimentar e ecológica; alterações no regime hídrico comprometem funções ambientais essenciais |

| Unidade / Subunidade Geocológica | Principais características geocológicas | Dinâmica dominante (Tricart) | Classe de fragilidade ambiental (Ross) | Justificativa técnico-científica |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Planícies fluviais ou flúvio-lacustres | Áreas sujeitas a inundações periódicas, com solos hidromórficos e controle hidrológico | Sistema ecodinâmico instável | Alta | Sensibilidade a alterações no regime de cheias, drenagem e uso do solo, com impactos diretos sobre a dinâmica fluvial |

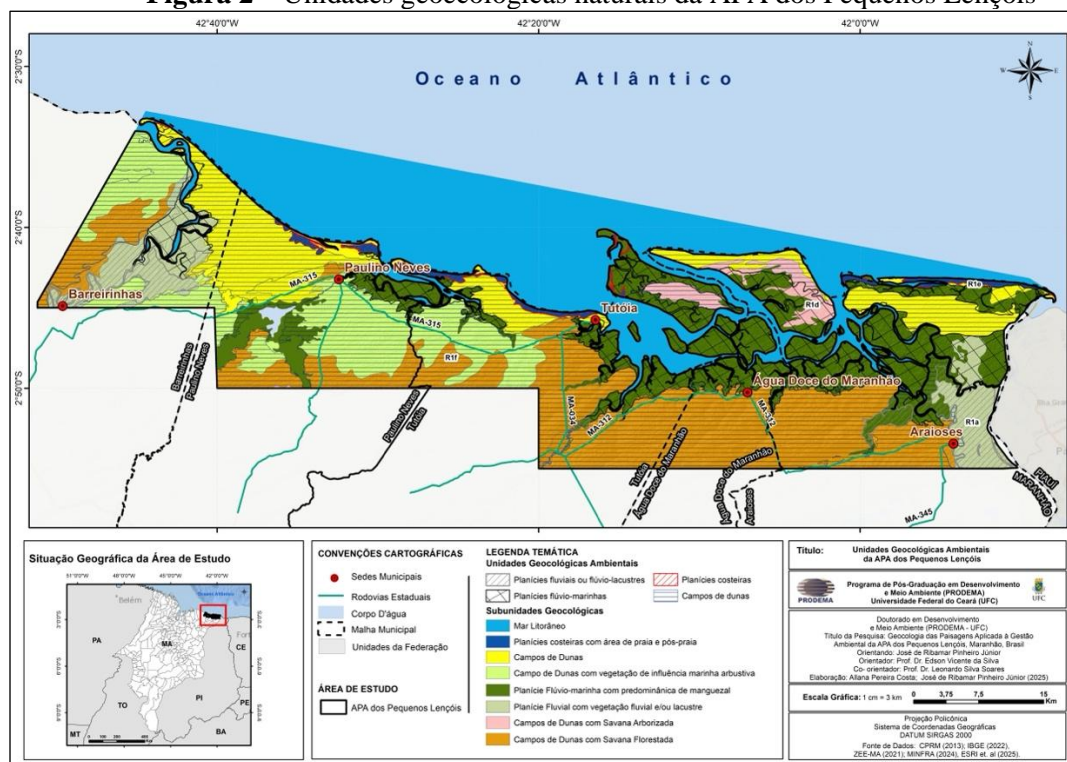
Fonte: Elaboração própria, com base em Bertrand (1972), Tricart (1977) e Ross (1994)

A classificação da fragilidade ambiental considerou a integração entre dinâmica dos processos naturais, estabilidade morfossedimentar, cobertura vegetal e sensibilidade a intervenções antrópicas (Quadro 1), conforme os pressupostos da ecodinâmica, da geocologia da paisagem e da análise empírica da fragilidade ambiental.

Unidades geocológicas identificadas

A análise geocológica integrada permitiu a identificação e delimitação de quatro unidades geocológicas principais, subdivididas em subunidades conforme suas características estruturais, dinâmicas e funcionais, a saber:

Figura 2 – Unidades geocológicas naturais da APA dos Pequenos Lençóis



Elaboração: Pinheiro Júnior; Costa (2025)

Planícies costeiras

Compreendem as superfícies arenosas recentes, sujeitas à ação direta das ondas, marés e ventos, incluindo as faixas de praia e os ambientes de pós-praia. Apresentam instabilidade morfodinâmica elevada, ausência de solos desenvolvidos e forte dependência do balanço

sedimentar costeiro. A fragilidade ambiental dessas áreas foi classificada como muito alta, refletindo a alta mobilidade sedimentar e a extrema sensibilidade a intervenções antrópicas.

Os campos de dunas constituem a unidade geoecológica de maior expressão territorial na APA, abrangendo subunidades diferenciadas segundo o grau de estabilização e a cobertura vegetal associada. Foram identificadas as seguintes subunidades: (a) dunas livres ou móveis, com escassa ou inexistente cobertura vegetal e intensa migração eólica, classificadas com fragilidade muito alta; (b) dunas com vegetação de influência marinha arbustiva, parcialmente fixadas por vegetação halófila ou psamófila, com fragilidade alta; (c) dunas com savana arborizada, semiestabilizadas com cobertura arbóreo-arbustiva descontínua, com fragilidade alta a média; e (d) dunas com savana florestada, estabilizadas com cobertura vegetal mais densa e solos arenosos incipientes, com fragilidade média.

Do ponto de vista funcional, os campos de dunas expressam um equilíbrio instável entre processos geomorfológicos e biológicos, sendo fortemente condicionados por gradientes de umidade, salinidade, aporte eólico de sedimentos e proximidade de sistemas costeiros adjacentes. A remoção da cobertura vegetal tende a reativar a mobilidade das dunas e comprometer a estabilidade geoecológica do sistema, o que representa risco direto frente à expansão turística e à implantação de infraestrutura de energia eólica observadas na região.

Figura 3 – Planície Costeira da APA dos Pequenos Lençóis



(1) Praia e Pós-Praia (2) Lagoas Interdunares (3) Campo de Dunas
Elaboração: Pinheiro Júnior (2025)

Planícies flúvio-marinhas com manguezais

As planícies flúvio-marinhas interpenetram o sistema dunar, sobretudo nos setores centrais e orientais da APA, acompanhando os principais estuários e canais de maré. Essas unidades desempenham função ecológica estratégica, atuando como zonas de amortecimento hidrossedimentar, retenção de nutrientes, proteção da linha de costa e suporte à biodiversidade aquática e terrestre. A forte dependência hidrossedimentar e a elevada

sensibilidade a alterações no regime hídrico conferem a essas unidades uma fragilidade ambiental classificada como muito alta.

Planícies fluviais ou flúvio-lacustres

As planícies fluviais ou flúvio-lacustres refletem ambientes de menor energia hidrodinâmica, sujeitos a inundações periódicas e forte controle hidrológico. São caracterizadas por solos hidromórficos e pela presença de vegetação de várzea. Do ponto de vista da geoecologia da paisagem, atuam como zonas de amortecimento hidrossedimentar fundamentais para a estabilidade funcional do sistema costeiro como um todo. A fragilidade ambiental dessas unidades foi classificada como alta, em razão da sensibilidade a alterações no regime de cheias, drenagem e uso do solo.

Figura 4 – Planícies flúvio-marinhas e flúvio-lacustre da APA dos Pequenos Lençóis



(1) Planícies flúvio-marinhas com Manguezais (2) Planícies fluviais ou flúvio-lacustres (lagoas)
Elaboração: Pinheiro Júnior (2025)

Integração das unidades geoecológicas e gradiente ambiental

A leitura integrada das unidades e subunidades geoecológicas revelou um gradiente ambiental contínuo, que se estende do mar litorâneo até os compartimentos continentais interiores, passando por sistemas de praia, dunas, planícies flúvio-marinhas e áreas de transição savânica. Essa continuidade reforça a compreensão da APA como um sistema

ambiental aberto e interdependente, no qual intervenções localizadas tendem a produzir efeitos cumulativos e sinérgicos em escala regional (Bertrand, 1972; Tricart, 1977).

A organização espacial das unidades geológicas evidencia que a maior parte do território da APA se sobrepõe a ambientes de alta e muito alta fragilidade ambiental. Esse padrão impõe a necessidade de critérios diferenciados de ordenamento territorial, priorizando a conservação dos processos naturais, a proteção dos ecossistemas estratégicos e a compatibilização das atividades humanas com os limites geológicos do sistema costeiro-flúvio-marinho.

Fragilidade ambiental das unidades geológicas

A classificação da fragilidade ambiental, sintetizada no Quadro 1, demonstra que as unidades associadas ao mar litorâneo, planícies costeiras, campos de dunas livres e planícies flúvio-marinhas com manguezais apresentam fragilidade muito alta, classificadas como sistemas ecodinâmicos fortemente instáveis ou instáveis segundo a tipologia de Tricart (1977). As unidades de dunas com vegetação arbustiva e planícies fluviais apresentam fragilidade alta, enquanto as dunas com savana arborizada e florestada apresentam fragilidade alta a média e média, respectivamente, correspondendo a sistemas ecodinâmicos transitórios ou tendentes ao equilíbrio.

Esses resultados são coerentes com a literatura sobre fragilidade ambiental de sistemas costeiros no Brasil, que aponta a combinação entre instabilidade morfodinâmica, sensibilidade ecológica e pressão antrópica como fatores determinantes da vulnerabilidade dessas paisagens (Ross, 2012; Crepani et al., 2001; Almeida; Oliveira; Moura, 2021).

Contextualização das Unidades e Subunidades Geológicas Culturais da APA dos Pequenos Lençóis

A leitura das unidades geológicas culturais da APA dos Pequenos Lençóis evidencia a materialização espacial das relações históricas entre sociedade e natureza, refletindo padrões diferenciados de uso, ocupação e apropriação dos sistemas naturais. Sob a ótica da geologia das paisagens, essas unidades expressam a sobreposição entre a base físico-natural (geomorfologia, solos, hidrologia e cobertura vegetal) e as práticas socioeconômicas predominantes, configurando paisagens funcionais cuja dinâmica resulta tanto de processos naturais quanto de ações antrópicas (Bertrand, 1972; Tricart, 1977).

A Figura 3 demonstra que os usos culturais se concentram ao longo de gradientes ambientais contínuos, articulando sistemas costeiros, dunares, flúvio-marinhos e continentais interiores. Essa organização reforça a compreensão da APA como um sistema ambiental integrado, no qual as atividades humanas respondem às potencialidades e limitações impostas pela fragilidade ambiental de cada compartimento.

As subunidades associadas à pesca, aquicultura e esporte náutico concentram-se na unidade geológica planícies flúvio-marinhas, especialmente nos municípios de Tutóia, Água Doce do Maranhão e Araisos. Esses usos estão diretamente vinculados à elevada produtividade biológica dos manguezais e ambientes estuarinos, que funcionam como áreas de reprodução, crescimento e alimentação da fauna aquática.

Apesar de sua importância socioeconômica e cultural, essas subunidades se desenvolvem sobre ambientes de altíssima fragilidade ambiental, altamente sensíveis a alterações hidrológicas, poluição hídrica e supressão da vegetação de mangue. Qualquer intensificação desordenada dessas atividades tende a comprometer a funcionalidade ecológica do sistema flúvio-marinho, gerando impactos cumulativos sobre a paisagem costeira, sobretudo devido função geológica e sistêmica das unidades flúvio-marinhas que

são responsáveis pela regulação de entrada e saída de energia e materiais através dos rios e do mar.

Os campos de dunas com ecoturismo distribuem-se predominantemente ao longo da faixa costeira e em áreas dunares mais acessíveis, notadamente nos setores próximos a Barreirinhas, Paulino Neves e Tutóia. Essa subunidade reflete a apropriação turística da paisagem dunar, baseada no valor cênico, recreativo e simbólico dos Pequenos Lençóis.

Do ponto de vista geológico, trata-se de ambientes de alta a muito alta fragilidade, uma vez que o tráfego de pessoas e veículos, quando não controlado, pode reativar a mobilidade das dunas, intensificar processos erosivos e comprometer a estabilidade do sistema. Assim, o ecoturismo, embora compatível com os objetivos da APA, exige planejamento rigoroso, controle de carga e zoneamento funcional.

As subunidades de extrativismo animal e extrativismo vegetal distribuem-se de forma descontínua, associadas principalmente às planícies flúvio-marinhas, áreas de transição savânica e setores de vegetação arbustiva e arbórea sobre dunas estabilizadas. Essas práticas representam atividades tradicionais, historicamente adaptadas às limitações ambientais locais, desempenhando papel relevante na subsistência das comunidades.

Entretanto, a fragilidade desses ambientes varia conforme o substrato e a cobertura vegetal. Em áreas de manguezais e planícies inundáveis, o extrativismo ocorre sobre sistemas de fragilidade muito alta, enquanto nos campos de dunas com savana arborizada ou florestada a fragilidade tende a alta ou média, desde que mantida a cobertura vegetal. A intensificação dessas práticas, sem manejo adequado, pode romper o equilíbrio entre uso e conservação.

Os usos agropecuários concentram-se nos setores mais interiores da APA, especialmente nas transições para áreas continentais, onde ocorrem solos relativamente mais estáveis e menor influência direta da dinâmica costeira. Ainda assim, esses usos se desenvolvem sobre ambientes naturalmente frágeis, com solos arenosos, baixa fertilidade e elevada suscetibilidade à erosão.

O uso diversificado, que combina agricultura, extrativismo, pequenas criações e ocupação dispersa, reflete estratégias adaptativas das populações locais. Embora apresente maior flexibilidade funcional, esse uso também demanda controle e ordenamento, uma vez que sua expansão desordenada pode gerar fragmentação da paisagem e pressões cumulativas sobre os sistemas naturais.

As áreas urbanizadas concentram-se nas sedes municipais e núcleos urbanos inseridos na APA, destacando-se Barreirinhas, Paulino Neves, Tutóia, Água Doce do Maranhão e Araiões. Esses núcleos representam os principais focos de pressão antrópica sobre o sistema ambiental, uma vez que se sobrepõem, em muitos casos, a ambientes de elevada fragilidade, como planícies costeiras, flúvio-marinhas e áreas dunares estabilizadas.

A expansão urbana desordenada tende a intensificar riscos ambientais, conflitos de uso do solo e impactos sobre os recursos hídricos, reforçando a necessidade de integração entre planejamento urbano, zoneamento ambiental e instrumentos de gestão territorial.

A análise integrada das unidades geológicas culturais demonstra que a APA dos Pequenos Lençóis é marcada por predominância de usos humanos sobre ambientes de alta e muito alta fragilidade ambiental. Essa condição reforça a necessidade de um zoneamento geológico-funcional, capaz de compatibilizar atividades produtivas, turísticas e tradicionais com a dinâmica natural dos sistemas costeiros e flúvio-marinhos.

Nesse contexto, a Geologia das Paisagens fornece base teórico-metodológica essencial para orientar decisões de gestão, ao reconhecer que a sustentabilidade da APA depende do respeito aos limites funcionais de cada unidade e subunidade geológica (Quadro 2).

Quadro 2 – Unidades geológicas culturais da APA dos Pequenos Lençóis e respectivas fragilidades ambientais

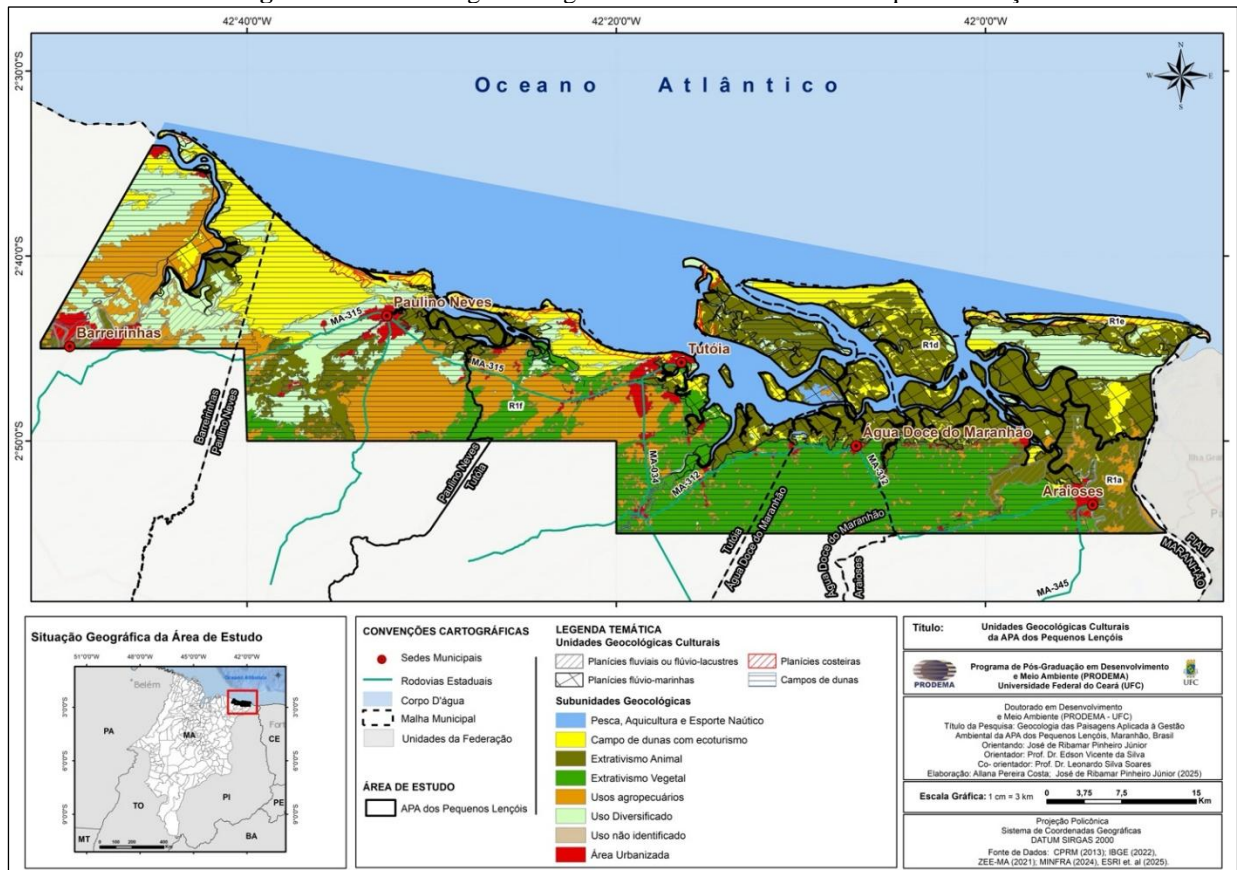
| Unidade / Subunidade Geológica Cultural | Ambiente físico dominante | Uso cultural predominante | Classe de fragilidade ambiental | Justificativa técnica |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pesca, aquicultura e esporte náutico | Planícies flúvio-marinhas e estuários | Pesca artesanal, aquicultura, navegação | Muito Alta | Forte dependência hidrossedimentar, elevada sensibilidade a poluição e alterações no regime de marés |
| Campos de dunas com ecoturismo | Campos de dunas móveis e semi-fixos | Turismo e recreação | Muito Alta | Instabilidade morfodinâmica e alta suscetibilidade à compactação e reativação eólica |
| Extrativismo animal | Manguezais e áreas flúvio-marinhas | Coleta e pesca tradicional | Muito Alta | Ecosistemas sensíveis com funções ecológicas críticas |
| Extrativismo vegetal | Dunas estabilizadas e áreas de transição savânica | Coleta de recursos vegetais | Alta | Dependência da cobertura vegetal para manutenção da estabilidade ambiental |
| Usos agropecuários | Áreas interiores arenosas | Agricultura e pecuária extensiva | Alta | Solos frágeis, baixa fertilidade e suscetibilidade à erosão |
| Uso diversificado | Áreas de transição costeiro-continental | Atividades mistas | Alta | Pressões cumulativas sobre ambientes frágeis |
| Área urbanizada | Planícies costeiras e flúvio-marinhas | Ocupação urbana | Muito Alta | Elevada impermeabilização, geração de resíduos e conflitos de uso do solo |

Fonte: Elaboração própria, fundamentada em Bertrand (1972), Tricart (1977) e Ross (1994)

A leitura das unidades geológicas culturais evidenciou a materialização espacial das relações históricas entre sociedade e natureza na APA dos Pequenos Lençóis. Foram identificadas subunidades culturais associadas à pesca artesanal e aquicultura (concentradas nas planícies flúvio-marinhas), ao ecoturismo (distribuído ao longo dos campos de dunas de elevado valor cênico), ao extrativismo animal e vegetal (em áreas de manguezal e dunas estabilizadas), aos usos agropecuários (nos setores interiores com solos relativamente mais estáveis) e às áreas urbanizadas (nas sedes municipais).

A análise integrada demonstrou que a APA é marcada por predominância de usos humanos sobre ambientes de alta e muito alta fragilidade ambiental. Essa condição reforça a necessidade de um zoneamento geológico-funcional capaz de compatibilizar atividades produtivas, turísticas e tradicionais com a dinâmica natural dos sistemas costeiros e flúvio-marinhos, conforme preconizado pelos princípios da Geocologia das Paisagens (Rodríguez; Silva; Cavalcanti, 2007).

Figura 5 – Unidades geológicas culturais da APA dos Pequenos Lençóis



137

Elaboração: Pinheiro Júnior; Costa (2025)

Figura 6 – Campo de dunas com ecoturismo da APA dos Pequenos Lençóis



Elaboração: Pinheiro Júnior (2025)

Figura 7 – Área urbanizada da APA dos Pequenos Lençóis



Elaboração: Pinheiro Júnior (2025)

Figura 8 – Pesca, aquicultura e esporte náuticos da APA dos Pequenos Lençóis



Elaboração: Pinheiro Júnior (2025)

Implicações para o planejamento e a gestão ambiental

A compartimentação geoecológica da APA dos Pequenos Lençóis fornece base técnico-científica essencial para o planejamento e a gestão ambiental, ao evidenciar áreas de maior fragilidade, setores estratégicos para conservação e zonas onde o uso sustentável deve ser rigorosamente compatibilizado com a dinâmica natural dos sistemas costeiros e continentais. Os resultados constituem subsídios relevantes para a formulação do Plano de Manejo da APA e para a definição de estratégias diferenciadas de uso, conservação e recuperação, em consonância com as diretrizes do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).

A identificação de um gradiente ambiental contínuo, do mar litorâneo aos compartimentos interiores, reforça a necessidade de abordagens integradas que considerem os efeitos cumulativos e sinérgicos das intervenções antrópicas sobre a totalidade do sistema paisagístico, superando análises setoriais ou fragmentadas que têm se mostrado insuficientes para apreender a complexidade dos ambientes costeiros (Bertrand; Bertrand, 2007; Ross, 2012).

CONCLUSÕES

O mapeamento e a caracterização das unidades geoecológicas da APA dos Pequenos Lençóis, fundamentados nos pressupostos da Geoecologia das Paisagens e integrados ao uso de geotecnologias, demonstraram a viabilidade e a pertinência dessa abordagem para a

compreensão da estrutura, do funcionamento e da dinâmica dos sistemas ambientais costeiros do litoral oriental do Maranhão.

Foram identificadas e delimitadas quatro unidades geológicas principais – planícies flúvio-marinhas, planícies fluviais ou flúvio-lacustres, planícies costeiras e campos de dunas –, subdivididas em subunidades segundo critérios estruturais, funcionais e de fragilidade ambiental. A classificação da fragilidade, fundamentada na integração entre os pressupostos ecodinâmicos de Tricart e a análise empírica de Ross, evidenciou a predominância de ambientes com fragilidade alta e muito alta, refletindo a instabilidade morfodinâmica, a sensibilidade ecológica e a vulnerabilidade desses sistemas frente às crescentes pressões antrópicas.

A análise integrada revelou um gradiente ambiental contínuo e interdependente, reforçando a compreensão da APA como um sistema aberto no qual intervenções localizadas tendem a produzir efeitos cumulativos em escala regional. Essa compreensão é fundamental para superar abordagens setoriais e fragmentadas de planejamento, em favor de estratégias integradas e compatíveis com a capacidade de suporte dos ambientes.

Os resultados obtidos constituem base cartográfica e analítica relevante para a formulação do Plano de Manejo da APA dos Pequenos Lençóis, subsidiando a proposição de zonas diferenciadas de uso, conservação, recuperação e preservação. A Geoecologia das Paisagens confirma-se, assim, como instrumento teórico-metodológico robusto e operacional para o planejamento e a gestão ambiental de Unidades de Conservação costeiras, contribuindo para a conciliação entre conservação da biodiversidade, valorização das dinâmicas socioculturais e promoção do desenvolvimento sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) pelo apoio institucional, ao Laboratório de Geoecologia das Paisagens e Planejamento Ambiental (LAGEPLAN-UFC), a AGREGAR AMBIENTAL CONSULTORIA E TOPOGRAFIA LTDA, pela infraestrutura e suporte técnico, e aos colaboradores que participaram das campanhas de campo. Agradecemos ainda aos membros da banca examinadora pelas contribuições ao aprimoramento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. R.; OLIVEIRA, G. S.; MOURA, L. P. Geoecologia da paisagem aplicada ao planejamento ambiental do Parque Estadual do Mirador (MA). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 3, p. 1657–1674, 2021.

ARAÚJO, Marina B.; LACERDA, Luiz Drude de. Gestão integrada da zona costeira no Brasil: desafios e perspectivas frente às mudanças ambientais globais. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 54, p. 45–62, 2020.

BERTRAND, Georges. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. *Caderno de Ciências da Terra*, n. 13, p. 1–27, 1972.

BERTRAND, Georges; BERTRAND, Claude. Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. Maringá: Massoni, 2007.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. Diário Oficial da União, 2000.

CREPANI, Edison et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001.

JENSEN, John R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2015.

LIMA, R. F.; FERREIRA, L. A. Desafios da gestão de Áreas de Proteção Ambiental no Brasil: lacunas institucionais e perspectivas. Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba, v. 60, p. 112–130, 2022.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Geossistemas: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

MUEHE, Dieter. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. Mercator, Fortaleza, v. 5, n. 10, p. 97–110, 2018.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da. Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da; CAVALCANTI, Agostinho Paula Brito. Geocologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 2. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2007.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 8, p. 63–74, 1994.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Geomorfologia: ambiente e planejamento. 9. ed. São Paulo: Contexto, 2012.

TRICART, Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

WU, Jianguo. Landscape ecology: pattern, process, scale and hierarchy. 2. ed. Beijing: Higher Education Press, 2021.