



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

SAMILLY MENDES SOARES

**FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL E EMERGENTE ASSOCIADA AO USO
DO SOLO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO PACOTI (CE)**

FORTALEZA

2026

SAMILLY MENDES SOARES

FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL E EMERGENTE ASSOCIADA AO USO DO
SOLO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO PACOTI (CE)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Ciências Biológicas do
Departamento de Biologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Ciências
Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Jeovah de
Andrade Meireles

FORTALEZA

2026

SAMILLY MENDES SOARES

FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL E EMERGENTE ASSOCIADA AO USO DO
SOLO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO PACOTI (CE)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Ciências Biológicas do
Departamento de Biologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Ciências
Biológicas.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Jeovah de Andrade Meireles (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Maevy dos Santos Brito
Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Ceará (SDA)

Prof. Dr. Pedro Edson Face Moura
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A eles, que vivem meus sonhos como se
fossem seus. Família.

AGRADECIMENTOS

Assim como grande parte dos sonhos que concretizei, a graduação em Ciências Biológicas foi um desejo que partiu de mim, mas que foi acolhido por inúmeras pessoas ao meu redor, as quais desejavam, acima de tudo, me ver feliz. Desde já, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, influenciaram essa jornada. Saibam que este sonho só se tornou realidade porque foi sonhado junto.

Aos meus pais, Silvana e Sandro, que impedidos pela vida de concluírem os estudos, fizeram dos próprios esforços o chão firme para que eu pudesse chegar até aqui. Cada renúncia, cada dia de trabalho e cada sonho adiado por vocês se transformaram na oportunidade que hoje abraço. Meu amor e gratidão eternos. Essa conquista não é somente minha, vocês conseguiram formar as duas filhas.

À minha irmã e melhor amiga, Sâmia, minha maior referência e prova de que o estudo é o maior tesouro que podemos carregar, agradeço pela constante presença, apoio e inspiração. Sorte a minha ter nascido sua irmã mais nova. Espero um dia ser 1% da potência que você é.

Se hoje me torno a primeira da família a concluir o ensino superior em uma universidade pública, é porque vocês abriram os caminhos para mim.

Aos amigos que a Biologia me deu — Allan, Viviane, Elany, Thayná, Hissa, Marques e Matheus — agradeço pelos anos de amizade, companheirismo e aprendizado. Todas as risadas, brigas, lanches na cantina do ventão e conversas jogadas no DA foram momentos que hoje, agora que cada um segue seu caminho, considero preciosos. A UFC tornou-se um lugar muito melhor ao lado de vocês.

Ao meu grupo de amigos mais improvável de se formar ao longo da trajetória acadêmica, “os de vdd do potpot”, agradeço imensamente pelas gargalhadas, pelos choros e pelos inúmeros momentos de apoio ao longo desses anos. Vocês são a prova viva de que a universidade nos oferece muito mais do que um diploma.

Ao meu namorado e companheiro de vida, Mauro, por tudo. Por estar presente em cada desafio, por cuidar de mim e por me apoiar em todas as minhas escolhas. Em um mundo que insiste em nos arrancar o tempo, os sonhos, os direitos e até a esperança, lutar ao seu lado torna tudo mais leve. Entre corredores, assembleias, noites de estudo e viagens, seguimos acreditando que a universidade deve ser do povo e que um país mais justo não é utopia, é construção coletiva. Obrigada por segurar minha mão quando estamos cara a cara com as

durezas desse sistema que tenta nos cansar, silenciar e dividir. Com você, a luta ganha afeto, coragem e sentido. Você também é um dos maiores presentes que a universidade me deu.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta etapa tão importante da minha vida. Cada palavra de incentivo, cada gesto de carinho e cada sorriso de apoio foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Vocês moram em meu coração, e levarei cada um comigo em minha jornada. Se cheguei até aqui, foi porque nunca caminhei sozinha.

RESUMO

Ambientes costeiros constituem sistemas dinâmicos e complexos, resultantes da interação entre processos continentais, marinhos e atmosféricos, apresentando elevada relevância ecológica e socioeconômica, mas também expressiva suscetibilidade ambiental frente às pressões humanas. Nesse contexto, as Áreas de Proteção Ambiental (APA), por permitirem o uso sustentável do território, demandam instrumentos técnicos capazes de subsidiar o planejamento e a gestão ambiental. Diante disso, o presente estudo objetivou analisar a fragilidade ambiental da Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti, localizada no litoral leste do estado do Ceará, a partir da integração entre condicionantes físico-naturais e dinâmicas de uso e ocupação do solo. A pesquisa caracterizou-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, desenvolvido por meio de análise de gabinete e uso exclusivo de dados secundários. A avaliação da fragilidade ambiental fundamentou-se na distinção entre fragilidade ambiental potencial, associada aos atributos naturais do meio físico, solo, relevo e vegetação, e fragilidade ambiental emergente, resultante da interação entre a fragilidade potencial e as pressões relacionadas ao uso e cobertura do solo. A análise foi estruturada a partir da caracterização das unidades geoambientais da área de estudo e da sistematização de informações provenientes de bases cartográficas oficiais e documentos técnicos. Os resultados evidenciaram contrastes espaciais significativos entre as unidades geoambientais da APA do Rio Pacoti. Ambientes associados às planícies fluviomarinhas, campos de dunas e faixas praias apresentaram os maiores níveis de fragilidade ambiental, decorrentes da elevada suscetibilidade natural combinada à intensificação das pressões antrópicas. Em contrapartida, unidades geomorfologicamente mais estáveis, como os tabuleiros pré-litorâneos, apresentaram elevação da fragilidade emergente em função da expansão de usos incompatíveis com sua capacidade de suporte. Conclui-se que a fragilidade ambiental da APA do Rio Pacoti resulta da interação entre a organização físico-natural da paisagem e as formas de uso e ocupação do solo, reforçando a importância de abordagens integradas como subsídio ao planejamento e à gestão ambiental em unidades de conservação costeiras.

Palavras-chave: fragilidade ambiental; área de proteção ambiental; sistemas costeiros; planejamento ambiental.

ABSTRACT

Coastal environments constitute dynamic and complex systems resulting from the interaction between continental, marine, and atmospheric processes, presenting high ecological and socioeconomic relevance, as well as significant environmental susceptibility to anthropogenic pressures. In this context, Environmental Protection Areas, by allowing the sustainable use of the territory, require technical instruments capable of supporting environmental planning and management. Therefore, this study aimed to analyze the environmental fragility of the Rio Pacoti Environmental Protection Area, located on the eastern coast of the state of Ceará, based on the integration of physical-natural conditions and land use and occupation dynamics. The research is characterized as an applied study with qualitative and quantitative approaches, developed through desk-based analysis and the exclusive use of secondary data. The assessment of environmental fragility was based on the distinction between potential environmental fragility, associated with the natural attributes of the physical environment, including soil, relief, and vegetation, and emerging environmental fragility, resulting from the interaction between potential fragility and anthropogenic pressures related to land use and land cover. The analysis was structured through the characterization of the geoenvironmental units of the study area and the systematization of information from official cartographic databases and technical documents. The results revealed significant spatial contrasts among the geoenvironmental units of the Rio Pacoti Environmental Protection Area. Environments associated with fluvio-marine plains, dune fields, and beach zones exhibited the highest levels of environmental fragility, resulting from high natural susceptibility combined with intensified anthropogenic pressures. In contrast, geomorphologically more stable units, such as pre-coastal tablelands, showed an increase in emerging environmental fragility due to the expansion of land uses incompatible with their support capacity. It is concluded that the environmental fragility of the Rio Pacoti Environmental Protection Area results from the interaction between the physical-natural organization of the landscape and land use and occupation patterns, reinforcing the importance of integrated approaches as support for planning and environmental management in coastal conservation units.

Keywords: environmental fragility; environmental protection area; coastal systems; environmental planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti.....	16
Figura 2 - Fluxograma Metodológico da Pesquisa.....	18
Figura 3 - Fórmula de cálculo da Fragilidade Ambiental Potencial (FAP).....	23
Figura 4 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da APA do Rio Pacoti.....	24
Figura 5 - Fórmula de cálculo da Fragilidade Ambiental Emergente (FAE).....	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala ordinal de fragilidade ambiental potencial (FAP) das unidades geoambientais da APA do Rio Pacoti.....	21
Quadro 2 - Valores individuais de solo, relevo e vegetação por unidade geoambiental da APA do Rio Pacoti.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Reclassificação das Classes de Uso e Cobertura do Solo.....	25
Tabela 2 - Valores de Fragilidade Ambiental Potencial por unidade geoambiental da APA do Rio Pacoti.....	28
Tabela 3 - Síntese dos valores de Fragilidade Ambiental Emergente por unidade geoambiental	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
FAE	Fragilidade Ambiental Emergente
FAP	Fragilidade Ambiental Potencial
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Sistemas Costeiros e Complexidade Ambiental.....	13
1.2 Unidades de Conservação e o papel das Áreas de Proteção Ambiental.....	14
1.3 APA do Rio Pacoti: Contexto Territorial e Relevância Socioambiental.....	14
1.4 Fragilidade Ambiental como Instrumento de Análise Ambiental.....	15
2 METODOLOGIA.....	16
2.1 Área de Estudo.....	16
2.2 Delineamento Metodológico.....	16
2.3 Organização Geral da Metodologia.....	17
2.4 Base de Dados.....	18
2.5 Definição das Unidades Geoambientais.....	19
2.6 Avaliação da Fragilidade Ambiental.....	19
2.6.1 Fragilidade Ambiental Potencial (FAP).....	20
2.6.2 Fragilidade Ambiental Emergente (FAE).....	23
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
3.1 Fragilidade Ambiental Potencial da APA do Rio Pacoti.....	28
3.2 Fragilidade Ambiental Emergente da APA do Rio Pacoti.....	29
3.3 Leitura Integrada da Fragilidade Ambiental na APA do Rio Pacoti.....	32
3.4 Implicações dos Resultados para o Planejamento e a Gestão Ambiental.....	32
3.5 Síntese Espacial da Fragilidade Ambiental da APA do Rio Pacoti.....	33
3.6 Limitações do Estudo e Perspectivas para Pesquisas Futuras.....	34
4 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

1.1 Sistemas Costeiros e Complexidade Ambiental

Os sistemas costeiros configuram-se como advindos de uma intrincada rede de interações entre processos continentais, marinhos e atmosféricos. De acordo com Meireles (2014), essa interatividade confere a essas unidades papéis ecológicos considerados fundamentais, uma vez que atuam como zonas de dissipação de energia, espaços para a ciclagem de nutrientes, suporte à biodiversidade e manutenção de ecossistemas altamente produtivos.

Em decorrência desse funcionamento integrado, os ambientes costeiros apresentam expressiva significância ecológica e socioeconômica. Além de sua elevada produtividade biológica, esses ambientes exercem papel estratégico na organização territorial, na medida em que concentram recursos naturais, infraestrutura e parcela significativa da ocupação humana, particularmente em países com extensa faixa litorânea, como o Brasil (Moraes, 2007; Santos; Polette, 2020).

Todavia, essa relevância socioambiental é acompanhada de uma acentuada suscetibilidade ambiental. Pesquisas recentes demonstram que o aumento das ações humanas, combinado à fragilidade e à variabilidade natural dos sistemas ambientais, amplia a suscetibilidade aos riscos e acelera os processos de degradação (Sousa; Rocha, 2024).

Entre os diversos ambientes que estruturam a zona costeira, destacam-se as planícies fluviais, os tabuleiros costeiros, os campos de dunas, os ambientes estuarinos e marinho-costeiros, os quais se organizam de forma integrada e apresentam diferentes graus de fragilidade ambiental. Assim, a análise integrada desses sistemas possibilita compreender a atuação conjunta dos processos naturais e das intervenções humanas na conformação da paisagem costeira (Ab'Sáber, 2004; Sousa; Listo; Ribeiro, 2026).

Essa ótica integrada constitui elemento central para reconhecer que a fragilidade ambiental não apresenta distribuição homogênea ao longo da zona costeira, mas responde às especificidades geomorfológicas, pedológicas e hidrológicas, bem como ao padrão de uso e ocupação do solo, reforçando a necessidade de abordagens sistêmicas para o estudo destes ambientes (Bertrand, 2007; Rodriguez; Silva; Cavalcanti, 2022).

A análise ambiental, na esfera da Geoecologia das Paisagens, compreende a paisagem como um sistema integrado, em que os componentes físicos e uso e ocupação do solo articulam-se na organização do espaço (Vidal; Mascarenhas, 2020). Nesta investigação, esta

abordagem dialoga com a análise da fragilidade ambiental da APA do Rio Pacoti, a partir da integração dos diferentes sistemas ambientais que a compõem (Ross, 1994; 2012).

1.2 Unidades de Conservação e o papel das Áreas de Proteção Ambiental

No contexto brasileiro, as Unidades de Conservação (UCs) constituem instrumentos vitais da política ambiental, promulgadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) através da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 (Brasil, 2000). Estabelecidas sob critérios e categorias que têm como objetivo proteger a biodiversidade, preservar os recursos naturais e promover o uso racional do território, representando um marco legal da política ambiental brasileira.

As áreas de Proteção Ambiental, de acordo com as categorias definidas pelo SNUC, constituem o grupo das unidades de uso sustentável e caracterizam-se por englobar extensas áreas territoriais, podendo incluir tanto domínios públicos como privados. Essas unidades buscam a conciliação entre a conservação dos atributos ambientais, ecológicos e, eventualmente, culturais, visando promover qualidade de vida e bem-estar das populações humanas inseridas nestes espaços (Silva, 2022).

Diante desse cenário, a adoção de abordagens integradas de análise ambiental constitui elemento central para a compreensão da organização espacial em Áreas de Proteção Ambiental, sobretudo naquelas submetidas a intensas pressões antrópicas, como a poluição e a expansão urbana desordenada (Rodriguez e Silva, 2013; Bertrand, 2007). Sob essa perspectiva sistêmica, a análise integrada viabiliza o diagnóstico das dinâmicas naturais frente às interferências socioeconômicas locais, fornecendo o suporte técnico necessário para que o zoneamento e o planejamento territorial atuem de forma compatível com o uso sustentável dos recursos (Silva; Moura-Fé; Costa, 2022).

1.3 APA do Rio Pacoti: Contexto Territorial e Relevância Socioambiental

Instituída pelo Decreto Estadual nº 25.778, de 15 de fevereiro de 2000, a Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti tem como finalidade conciliar a proteção dos ecossistemas associados ao Rio Pacoti e o uso sustentável do território, considerando sua inserção em área estratégica da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) (Ceará, 2000, 2010).

No contexto regional, o Rio Pacoti assume expressiva relevância em seu papel, destacando-se como eixo estruturador de diferentes sistemas ambientais ao longo de seu curso. No trecho inferior da bacia, a interação entre dinâmicas fluviais e costeiras condiciona

a configuração de ambientes variados, como planícies fluviomarinhas, manguezais, campos de dunas, tabuleiros pré-litorâneos e áreas estuarinas, os quais, em conjunto, atribuem elevada importância ecológica à APA (Gorayeb, Silva, Meireles, 2004; Meireles, 2014).

Inserida em um cenário de intensas transformações espaciais, a APA do Rio Pacoti, concomitantemente à sua relevância ambiental, tem sido impactada pela proximidade com centros urbanos, somada à valorização imobiliária do litoral cearense e à expansão das atividades turísticas, fatores que têm acentuado os conflitos entre a conservação ambiental e as formas de uso e ocupação do solo, gerando pressões significativas sobre os sistemas naturais da unidade (Gomes *et al.*, 2022; Ceará, 2023).

1.4 Fragilidade Ambiental como Instrumento de Análise Ambiental

O conceito de fragilidade ambiental constitui um importante referencial teórico-metodológico aplicado aos estudos de planejamento ambiental, ao permitir a identificação dos diferentes graus de sensibilidade dos sistemas naturais frente às intervenções humanas (Ross, 1994; 2012). Segundo o autor, o grau de sensibilidade do meio resulta da interação entre os atributos naturais do meio físico e as formas de uso e ocupação do solo, possibilitando a distinção entre fragilidade potencial e fragilidade emergente.

À luz dessa abordagem, a análise da fragilidade ambiental assume papel estratégico como instrumento técnico-científico relevante para o suporte ao ordenamento do uso do solo em contextos de elevada complexidade socioambiental. A análise espacial desses níveis contribui com a identificação de áreas prioritárias para conservação, controle do uso e mitigação de impactos ambientais, com especial destaque para Unidades de Conservação de uso sustentável situadas em regiões costeiras.

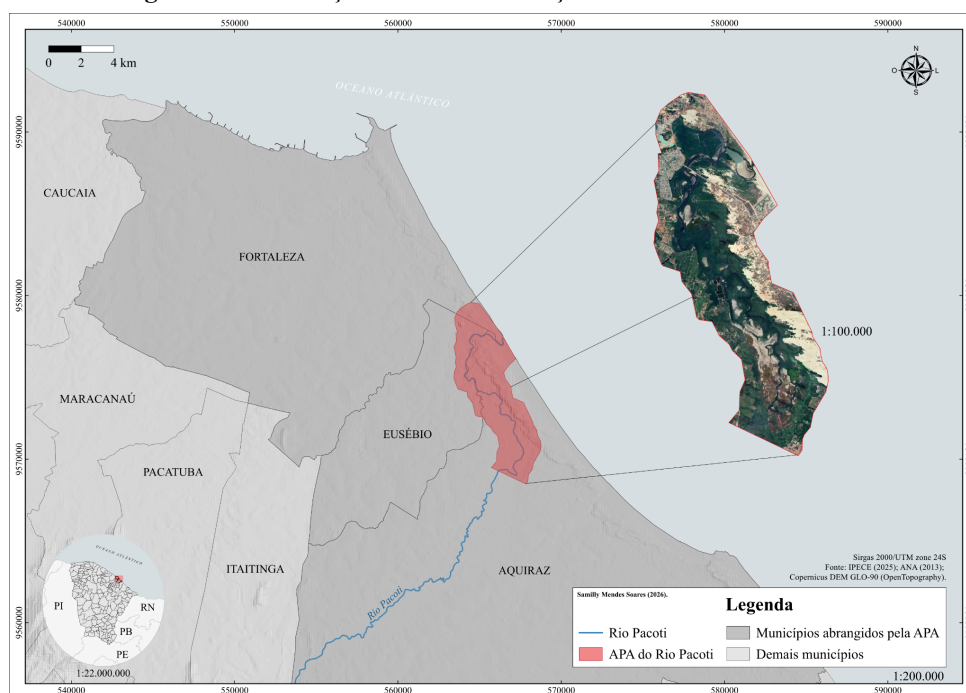
Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar a fragilidade ambiental da Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti, com base na abordagem metodológica de Ross (1994; 2012), a partir da integração de dados secundários disponíveis na literatura e em documentos técnicos, visando compreender a distribuição espacial dos diferentes graus de fragilidade ambiental existentes na unidade.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

Localizada no litoral leste cearense, a Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti contempla áreas de três municípios: Aquiraz, Eusébio e Fortaleza, todos pertencentes à microrregião que carrega o mesmo nome do rio. Instituída através do Decreto Estadual nº 25.778, de 15 de fevereiro de 2000, a unidade tem como finalidade assegurar a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas associados ao Rio Pacoti e aos diversos sistemas ambientais que compõem a APA, ambientes estes que possuem grande diversidade biológica, além de importante relevância socioambiental para a região metropolitana de Fortaleza (Ceará, 2000, 2010).

Figura 1 - Localização da Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti.



Fonte: Autora (2026).

O Rio Pacoti possui cerca de 150 km de extensão, desde sua nascente na Serra de Baturité até o Oceano Atlântico, local onde deságua. Considerado um importante curso d'água, ao longo de sua extensão o rio desempenha funções vitais como fonte de abastecimento hídrico para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) (Ceará, 2010).

Na sua foz, constitui o principal elemento estruturador da Área de Proteção Ambiental (APA) homônima, configurando os ambientes estuarinos e costeiros. Neste trecho, sob

influência das marés, o rio modela os ambientes estuarinos, favorecendo a formação de manguezais e controlando a dinâmica de sedimentos e energia. Tais processos resultam na elevada produtividade biológica local e na manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais para o equilíbrio regional (Ceará, 2023).

2.2 Delineamento Metodológico

Classificada como um estudo de natureza aplicada, a presente pesquisa combinou abordagens qualitativa e quantitativa, sob as lentes dos fundamentos pressupostos da análise ambiental integrada e da Geoecologia das Paisagens (Rodriguez; Silva; Cavalcanti, 2022).

Desenvolvido por meio de análise de gabinete, o trabalho tomou como base a integração e a interpretação de dados secundários oriundos da literatura, documentos técnicos e de bases cartográficas oficiais, sem a realização de atividades de campo.

A utilização exclusiva de informações preexistentes como base metodológica mostrou-se adequada aos objetivos propostos, na medida em que permitiu a articulação de informações sistematizadas oriundas de distintas fontes, amplamente empregadas em pesquisas voltadas ao planejamento ambiental e à análise integrada da paisagem. Essa estratégia permitiu reconhecer padrões espaciais relevantes da fragilidade ambiental em escala regional, conferindo consistência metodológica ao estudo, especialmente considerando seu caráter exploratório e interpretativo.

O método adotado ancorou-se na avaliação da fragilidade ambiental proposta por Ross (1994; 2012), perspectiva que considera a fragilidade ambiental como resultado da interação entre a suscetibilidade intrínseca do meio físico e as pressões antrópicas sofridas. Nessa perspectiva, a análise estruturou-se a partir da distinção entre Fragilidade Potencial (FAP), que reflete o grau de instabilidade natural do terreno e Fragilidade Emergente (FAE), que sintetiza a vulnerabilidade real frente ao uso e ocupação do solo.

Para a realização da análise da Fragilidade Ambiental Emergente, um mapa de uso e cobertura do solo foi elaborado para esta pesquisa, por meio de técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando-se do software QGIS. A construção do mapa utilizou como base dados secundários obtidos do projeto MapBiomass, referentes ao ano de 2023, e em bases cartográficas disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), com informações referentes aos anos de 2018 e 2025.

O mapa de uso e cobertura do solo foi utilizado como representação das pressões antrópicas incidentes sobre a Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti, em concordância com os pressupostos estabelecidos por Ross (1994; 2012).

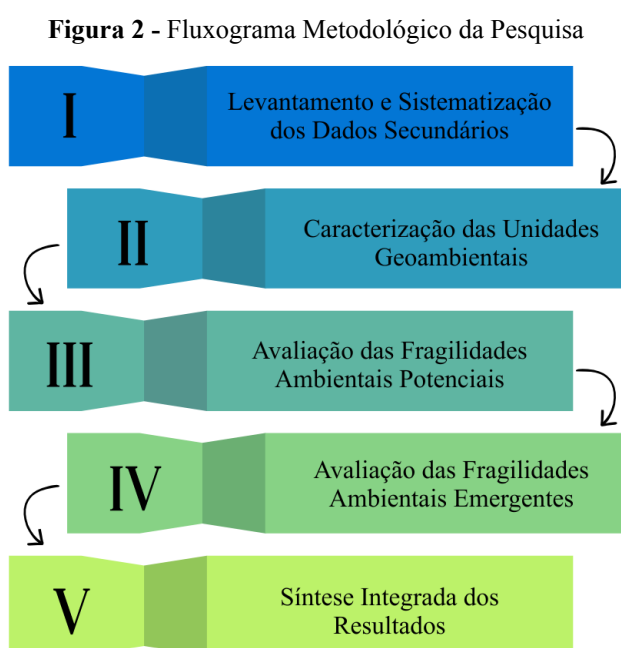
2.3 Organização Geral da Metodologia

A pesquisa seguiu uma abordagem metodológica sequencial e integrada, combinando levantamento bibliográfico e análise de gabinete. O estudo foi desenvolvido em cinco etapas principais.

A fase inicial tratou-se do levantamento e sistematização dos dados secundários, durante a qual foram coletadas informações gerais sobre a área de estudo, bem como dados específicos sobre solo, relevo, vegetação e uso e cobertura do solo, obtidos em órgãos públicos estaduais, no Plano de Manejo da APA do Rio Pacoti (2023) e em demais fontes secundárias relevantes, servindo de base para as etapas seguintes.

O segundo passo constituiu-se da caracterização das unidades geoambientais, utilizando a classificação já definida por Gorayeb, Silva e Meireles (2004), complementada por dados de geomorfologia costeira de Meireles (2014). Posteriormente, foi realizada a avaliação da Fragilidade Ambiental Potencial, seguida pela avaliação da Fragilidade Ambiental Emergente e, por fim, foi desenvolvida a síntese integrada dos resultados.

A Figura 2 apresenta o fluxograma metodológico que sintetiza e ilustra a sistematização do processo metodológico empregado nesta pesquisa.



Fonte: Autora (2026).

2.4 Base de Dados

A base de dados foi composta integralmente por informações secundárias, em consonância com o caráter de análise de gabinete que orientou o estudo.

A caracterização dos atributos físico-naturais da APA do Rio Pacoti, contemplando solo, relevo e vegetação, foi fundamentada com base no estudo das unidades geoambientais proposto por Gorayeb, Silva e Meireles (2004), adotada como referência para a análise da Fragilidade Ambiental Potencial. Tal base possibilitou a compreensão da suscetibilidade natural dos sistemas ambientais da unidade.

O produto cartográfico produzido no âmbito deste estudo correspondeu ao mapa de uso e cobertura do solo, desenvolvido especificamente para subsidiar a análise de Fragilidade Ambiental Emergente. Para sua elaboração foram utilizados dados secundários do projeto MapBiomias (2023), integrados a bases cartográficas disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), que incluíram dados dos anos de 2018 e 2025, as quais serviram como suporte à delimitação e ao enquadramento espacial da área de estudo.

Complementarmente, o mapa social de uso e ocupação sistematizado no Plano de Manejo da APA do Rio Pacoti (2023) foi utilizado como instrumento para a identificação de práticas e atividades antrópicas não representadas nos dados de uso e cobertura do solo, como despejo de lixo e lançamento de efluentes. Essas informações foram empregadas como subsídio interpretativo na análise da Fragilidade Ambiental Emergente.

Os dados espaciais foram processados e integrados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), por meio do software QGIS, o que permitiu a organização das informações e a elaboração do produto cartográfico utilizado na pesquisa.

2.5 Definição das Unidades Geoambientais

As unidades geoambientais da APA do Rio Pacoti foram estabelecidas através da classificação proposta por Gorayeb, Silva e Meireles (2004), elaborada especificamente para o estuário do Rio Pacoti. Posteriormente, esse mapeamento foi enriquecido com as informações sistematizadas por Meireles (2014).

Esses compartimentos geoambientais foram utilizados como ferramenta espacial para a análise da fragilidade ambiental potencial, uma vez que expressam a organização natural da paisagem e a distribuição dos atributos físico-naturais considerados na metodologia proposta por Ross (1994; 2012).

2.6 Avaliação da Fragilidade Ambiental

Visando à avaliação da fragilidade ambiental, seguiram-se os pressupostos metodológicos propostos por Ross (1994; 2012), os quais definem a fragilidade como resultado da interação entre a sensibilidade natural dos sistemas ambientais e as intervenções humanas. A análise foi, dessa forma, estruturada em duas etapas complementares: a fragilidade potencial e a fragilidade emergente.

Essa abordagem permitiu avaliar conjuntamente a predisposição natural do meio e os efeitos das ações antrópicas sobre o território. Em virtude disso, configura-se como uma ferramenta frequentemente empregada no planejamento ambiental e na gestão de unidades de conservação.

Cabe destacar que, em função da escala de análise adotada, do caráter sintético da avaliação e da utilização exclusiva de dados secundários, a análise da fragilidade ambiental foi desenvolvida com abordagem interpretativa, priorizando a sistematização dos resultados em tabelas e na análise descritiva integrada, sem a elaboração de mapas específicos de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente.

2.6.1 Fragilidade Ambiental Potencial (FAP)

A FAP refere-se à suscetibilidade natural do ambiente, considerando apenas seus atributos físico-naturais, independentemente das ações antrópicas atuais. Em conformidade com a metodologia proposta por Ross (1994), essa fase tem por finalidade detectar as condicionantes naturais do meio físico que influenciam diretamente sua capacidade de recuperação e limites de tolerância.

Para seu cálculo, consideraram-se as variáveis de solo, vegetação e relevo devido à sua conexão direta com a dinâmica erosiva, a estabilidade do terreno e a vulnerabilidade geomorfológica, em consonância com o que preconiza Ross (1994; 2012). As classes de cada variável receberam valores hierárquicos, atribuídos de acordo com seu grau de associação com processos degradativos. A classificação segue uma escala ordinal, na qual escores mais baixos denotam ambientes de maior estabilidade e escores mais altos refletem áreas naturalmente mais frágeis, conforme apresentado na Tabela 1.

Destaca-se que a variável relevo foi analisada por meio da compartimentação geomorfológica e das unidades geoambientais estabelecidas por Gorayeb, Silva e Meireles (2004), integrando também as contribuições conceituais de Meireles (2014). Não foram aplicados índices quantitativos de declividade, em razão da escala adotada na análise e das

limitações inerentes à natureza dos dados disponíveis.

Quadro 1 - Escala ordinal de fragilidade ambiental potencial (FAP) das unidades geoambientais da APA do Rio Pacoti

Valor	Grau de fragilidade	Características principais
1	Muito baixa	Solo resistente, relevo plano ou pouco inclinado, vegetação densa e bem estruturada
2	Baixa	Ambientes relativamente estáveis devido cobertura vegetal, baixa declividade e com encostas suaves, pequena vulnerabilidade localizada
3	Moderada	Sensibilidade intermediária a processos erosivos e alterações ambientais. Vegetação mais arbustiva, maior declividade mas com processos erosivos de baixa a moderada intensidade.
4	Alta	Solos e relevo propensos à erosão, vegetação rala, áreas naturalmente sensíveis
5	Muito Alta	Solos frágeis (arenosos, hidromórficos), planícies inundáveis, manguezais, baixa resiliência natural

Fonte: Adaptado de Ross (1994; 2012); Gorayeb, Silva e Meireles (2004); Meireles (2014).

Com base nessa classificação, cada variável recebeu valores atribuídos individualmente por unidade geoambiental, conforme explicitado na Tabela 2.

Quadro 2 - Valores individuais de solo, relevo e vegetação por unidade geoambiental da APA do Rio Pacoti

Unidade Geoambiental	Solo	Relevo	Vegetação	Dinâmica Local
Praia/Pós-Praia	3	2	3	Dinâmica controlada por ondas e marés; relevo plano a suavemente inclinado; setores com vegetação de restinga pioneira apresentando baixa conservação e vulnerabilidade à erosão costeira.
Planície Interdunar com Coqueiros	3	3	3	Relevo plano rebaixado entre cristas de dunas; dinâmica de deposição de sedimentos finos e acúmulo de umidade; cobertura vegetal predominantemente antropizada pela introdução histórica de coqueirais.
Campo de Dunas	4	4	4	Relevo ondulado de alta declividade com morfologia eólica ativa (móvel/semimóvel); dinâmica marcante de transporte de sedimentos pelo vento; vegetação de restinga arbustiva rala e instável.
Planície Fluvio-marinha	5	5	5	Relevo plano sujeito a inundações periódicas; dinâmica estuarina de mistura hidrodinâmica e flutuação de marés; solos hidromórficos frágeis sob forte pressão sobre o ecossistema de manguezal.
Tabuleiro Pré-Litorâneo	1	1	1	Relevo plano a suavemente dissecado em topo de mesa, morfologicamente estável; solos mais

				profundos e desenvolvidos; vegetação de tabuleiro ou transição savânica com variados graus de intervenção urbana.
--	--	--	--	---

Fonte: Adaptado de Ross (1994; 2012), Gorayeb, Silva e Meireles (2004) e Meireles (2014).

A unidade geoambiental Mar Litorâneo não foi incorporada ao cálculo da FAP, posto que a metodologia formulada por Ross (1994; 2012) aplica-se somente a sistemas terrestres. Entretanto, trata-se de uma unidade que regula aspectos geoambientais locais, como as variações das marés, a energia e sazonalidade das ondas e os extremos climáticos, já evidenciados regionalmente.

A FAP foi obtida por meio da média aritmética simples dos valores individuais de solo, relevo e vegetação para cada unidade geoambiental.

A Figura 3 ilustra o cálculo para obtenção da FAP, demonstrando a atribuição dos valores individuais, a integração por média aritmética e a obtenção do índice final, permitindo visualizar de forma clara o procedimento metodológico empregado.

Figura 3 - Fórmula de cálculo da Fragilidade Ambiental Potencial (FAP)

$$FAP = \frac{Solo + Relevo + Vegetação}{3}$$

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Ross (1994; 2012), adaptado com dados de Gorayeb, Silva e Meireles (2004) e Meireles (2014).

2.6.2 Fragilidade Ambiental Emergente (FAE)

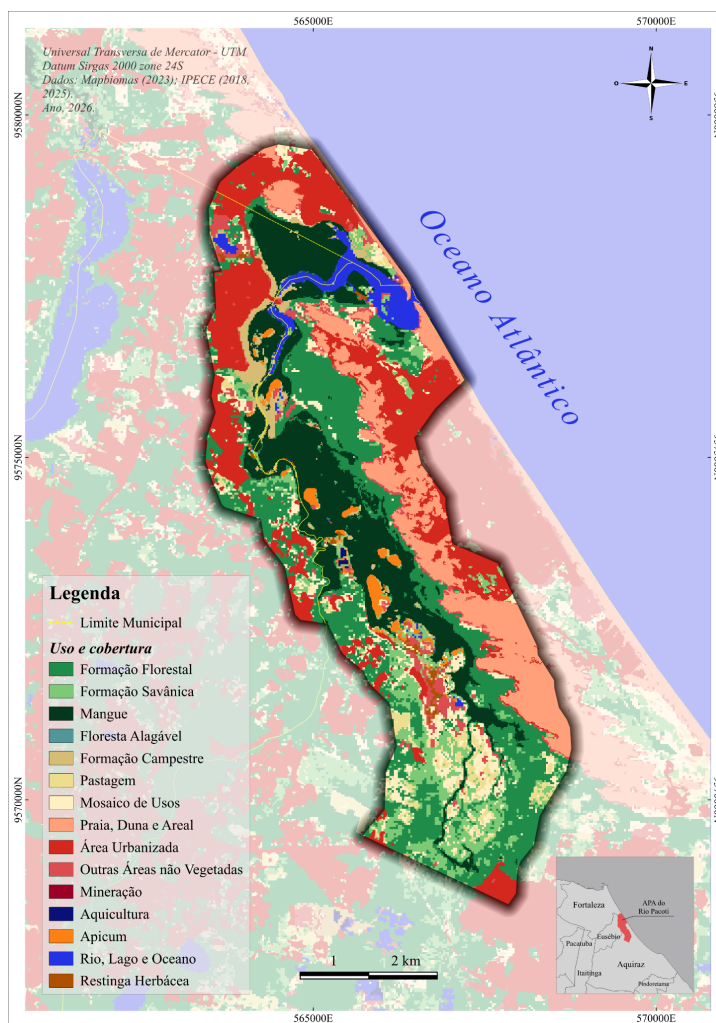
A Fragilidade Ambiental Emergente (FAE) reflete a vulnerabilidade real dos sistemas ambientais em relação às intervenções humanas, sendo o resultado da interação entre Fragilidade Ambiental Potencial e as pressões antrópicas derivadas do uso e ocupação do solo, como proposto por Ross (1994; 2012). Metodologicamente, esta etapa objetivou incorporar as ações humanas à análise da fragilidade ambiental, viabilizando uma leitura integrada da paisagem.

A análise da FAE foi desenvolvida a partir da interpretação do mapa de uso e cobertura do solo da APA do Rio Pacoti (Figura 4) formulado com base nos dados do projeto

MapBiomass (2023), e de informações complementares relativas ao uso e ocupação do solo, derivadas do mapa social do Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti (2023).

O emprego conjunto dessas bases possibilitou ampliar a compreensão das dinâmicas antrópicas presentes na área, incorporando intervenções específicas não totalmente representadas no MapBiomass, como atividades turísticas estruturadas (a exemplo de escolas de kitesurf), lançamento de efluentes, tráfego veicular inadequado, disposição irregular de resíduos sólidos e a presença de aerogeradores instalados em parque eólico.

Figura 4 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da APA do Rio Pacoti



Fonte: Autora (2026).

A avaliação da pressão humana considerou a classe predominante de uso e cobertura do solo e a presença de práticas de maior impacto ambiental em cada unidade geoambiental,

conforme o Plano de Manejo da APA do Rio Pacoti (2023). Destaca-se que uma mesma unidade geoambiental pode concentrar distintas formas de pressão; entretanto, para fins metodológicos, essas interferências foram avaliadas de maneira integrada, resultando na atribuição de um valor sintético por unidade, representativo do conjunto de usos e da intensidade das intervenções sobre os sistemas ambientais.

Atividades com valores de impacto baixo, como pesca de subsistência e a ocupação extensiva do território, foram classificadas como vetores de pressão antrópica reduzida. Em contraste, práticas associadas à especulação imobiliária, ocupação das dunas por casas de segunda residência, expansão da carcinicultura, desmatamento da restinga e de setores do bosque de manguezal, além da abertura de vias de acesso, foram consideradas como vetores de pressão mais intensa, principalmente quando relacionadas a unidades geoambientais naturalmente frágeis. Essas dinâmicas impõem ao ambiente uma severa modificação física do meio e a consequente geração de resíduos sólidos e lançamento de efluentes.

Baseando-se nos critérios estabelecidos, a reclassificação das classes de uso e cobertura do solo (Tabela 3) foi realizada em graus hierárquicos de pressão antrópica, em conformidade com o conteúdo apresentado na Tabela 3, utilizada como referência para a atribuição dos valores de pressão utilizados no cálculo da Fragilidade Ambiental Emergente.

Tabela 1 - Reclassificação das Classes de Uso e Cobertura do Solo

Classe de Uso e Cobertura do Solo	Grau de Pressão	Valor
Formação florestal	Muito baixa	1
Formação savânica	Muito baixa	1
Mangue	Muito baixa	1
Floresta alagável	Muito baixa	1
Formação campestre	Baixa	2
Restinga herbácea	Baixa	2
Praia, duna e areal	Baixa	2
Apicum	Baixa	2
Pastagem	Moderada	3
Mosaico de usos	Moderada	3

(continua)

(conclusão)

Tabela 1 - Reclassificação das Classes de Uso e Cobertura do Solo

Classe de Uso e Cobertura do Solo	Grau de Pressão	Valor
Aquicultura	Alta	4
Outras áreas não vegetadas	Alta	4
Área urbanizada	Muito Alta	5
Mineração	Muito Alta	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994; 2012), MapBiomias (2023) e Plano de Manejo da APA do Rio Pacoti (2023).

A atribuição dos valores de pressão relacionada aos diversos usos e impactos derivados, por unidade geoambiental, seguiu um critério sintético, de caráter interpretativo, fundamentado na integração entre dados cartográficos de uso e cobertura do solo e informações qualitativas sobre práticas antrópicas presentes na Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti. Inicialmente, foi considerada a classe predominante de uso e cobertura do solo em cada unidade geoambiental, conforme o mapa elaborado com os dados do projeto MapBiomias (2023), definindo-se como principal aquela com maior expressão territorial no interior da unidade.

De forma complementar, foram incorporadas informações provenientes do mapa social de uso e ocupação do Plano de Manejo da APA do Rio Pacoti (2023). Essa abordagem permitiu avançar significativamente em relação às tipologias gerais definidas pelo MapBiomias, viabilizando a identificação de intervenções específicas e pressões locais que não estavam plenamente representadas naquela plataforma. Desse modo, foi possível mapear com precisão local o lançamento de efluentes, a deposição irregular de resíduos sólidos, as atividades turísticas estruturadas, o tráfego veicular inadequado, a aquicultura e a mineração.

Considerando que uma mesma unidade geoambiental pode concentrar múltiplas formas de uso e diferentes intensidades de intervenção humana, optou-se pela atribuição de um valor sintético de pressão antrópica por unidade, representativo do conjunto das pressões incidentes. Nessa perspectiva, o valor final atribuído priorizou a presença de usos ou práticas de maior impacto ambiental, especialmente quando associados a unidades naturalmente sensíveis, em consonância com os pressupostos metodológicos propostos por Ross (1994; 2012).

Esse procedimento permitiu a padronização da análise e a integração entre fragilidade ambiental potencial e pressão antrópica, viabilizando o cálculo da Fragilidade Ambiental Emergente e a leitura comparativa das unidades geoambientais da APA do Rio Pacoti.

O cálculo da Fragilidade Ambiental Emergente foi determinado a partir da associação entre os valores de Fragilidade Ambiental Potencial e os valores de pressão antrópica, conforme a expressão apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Fórmula de cálculo da Fragilidade Ambiental Emergente (FAE)

$$FAE = \frac{(FAP + Pressão Antrópica)}{2}$$

Fonte: Autora (2026), adaptado de Ross (1994; 2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fragilidade Ambiental Potencial da APA do Rio Pacoti

A análise da FAP permitiu compreender a suscetibilidade intrínseca dos sistemas físico-naturais que fazem parte da APA do Rio Pacoti, levando em consideração as propriedades naturais do meio, especificamente solo, relevo e vegetação, sem vínculo com as ações humanas que modificam o espaço. Esse passo é especialmente significativo em diagnósticos ambientais por constatar os limites naturais do território e orientar, antecipadamente, o ordenamento espacial e a definição de áreas mais delicadas a processos de instabilidade (Ross, 1994; 2012).

Os resultados alcançados revelam que a fragilidade potencial apresenta diferenças significativas entre as unidades geoambientais, refletindo características distintas de solo, cobertura vegetal e relevo. Em investigações aplicadas a bacias hidrográficas e ao planejamento territorial, diagnósticos similares apontam que ambientes constituídos por materiais inconsolidados e com resistências geomorfológicas inferiores são propensos a apresentar uma suscetibilidade natural elevada. Por sua vez, compartimentos mais estáveis denotam menor fragilidade potencial, embora possam se agravar em contextos de intensificação do uso e ocupação do solo (Gonçalves *et al.*, 2011).

No caso da Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti, nota-se que as unidades que apresentam maior fragilidade potencial correspondem à planície fluviomarinha (FAP = 5,00) e

aos campos de dunas (FAP = 4,00), em consonância com a dinâmica e as características inerentes a esses ambientes. A planície fluviomarinha, por envolver solos frequentemente hidromórficos e ambientes sujeitos a variações hidrodinâmicas, tende a expressar uma limitada capacidade de suporte e maior sensibilidade a alterações físicas e químicas, com maior intensidade diante da supressão da vegetação e incremento de carga poluidora. Já os campos de dunas, pela mobilidade sedimentar e pela sensibilidade superior a alterações da cobertura e do tráfego de veículos, apresentam vulnerabilidade geomorfológica constatada na literatura como grave em contextos costeiros e estuarinos (Pacheco; Castro, 2022).

Em contraste, a unidade que apresentou menor fragilidade potencial relativa foi o tabuleiro pré-litorâneo (FAP = 1,00). Condição provavelmente associada à maior estabilidade geomorfológica e à presença de solos mais desenvolvidos, atributos que lhe proporcionam uma maior capacidade de suporte natural.

Não obstante, produções científicas salientam que a baixa fragilidade potencial não deve ser enxergada como ausência de risco ambiental, visto que unidades com estabilidade superior podem apresentar elevação de sua fragilidade quando submetidas a intensas pressões, como expansão urbana e mineração (Gonçalves *et al.*, 2011; Ross, 2012).

No panorama geral, a análise da Fragilidade Ambiental Potencial demonstrou que a organização físico-natural da Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti constitui fator determinante sobre os níveis de suscetibilidade ambiental observados. A maior incidência de fragilidade em unidades relacionadas a ambientes costeiros e estuarinos reforça a importância de adotar os limites naturais do território como referência no planejamento ambiental. Essa leitura inicial da fragilidade potencial mostra-se essencial para a antecipação de conflitos de uso e para a definição de diretrizes que minimizem o incremento da degradação em áreas naturalmente sensíveis.

A Tabela 4 sintetiza os valores atribuídos às variáveis e o resultado da FAP por unidade geoambiental, conforme o procedimento descrito na metodologia.

Tabela 2 - Valores de Fragilidade Ambiental Potencial por unidade geoambiental da APA do Rio Pacoti

Unidade geoambiental	Solo	Relevo	Vegetação	FAP
Praia/Pós-praia	3	2	3	2,67
Planície interdunar com coqueiros	3	3	3	3,00
Campo de dunas	4	4	4	4,00
Planície fluviomarinha	5	5	5	5,00
Tabuleiro pré-litorâneo	1	1	1	1,00

Fonte: Autora (2026), com base em Ross (1994; 2012), Gorayeb, Silva e Meireles (2004) e Meireles (2014).

3.2 Fragilidade Ambiental Emergente da APA do Rio Pacoti

A FAE configura-se como a expressão da vulnerabilidade real do território, sendo definida pelo resultado entre fragilidade potencial e às pressões antrópicas impostas pelo uso e cobertura do solo, conforme abordado por Ross (1994; 2012). Essa etapa estende a leitura do território ao apontar que áreas naturalmente frágeis podem assumir caráter ainda mais crítico ao serem submetidas a usos intensivos e fontes de impacto, o que também se aplica para áreas naturalmente estáveis, que podem adquirir fragilidade emergente elevada se postas diante de intensas pressões (Ross, 2012).

Os resultados referentes ao cálculo da FAE indicaram que a incorporação das pressões locais à análise dessa fragilidade resultou em um cenário de maior complexidade. Esse comportamento refletiu o fato de que o padrão espacial de vulnerabilidade não está vinculado exclusivamente à base natural, mas também à forma como o uso do solo se organiza e se intensifica na APA.

A planície fluviomarinha destaca-se pela elevada fragilidade emergente (FAE = 4,50) apontando para um cenário de criticidade elevada, associada à sobreposição entre a alta fragilidade potencial já existente e a ocorrência de pressões humanas de maior impacto, como a deposição irregular de resíduos, o despejo de efluentes e a aquicultura, representada pela presença de uma fazenda de carcinicultura (cultivo de camarão). Intervenções como essas tendem a comprometer a funcionalidade ecológica desses ambientes, principalmente em áreas

estuarinas estabelecidas em contextos metropolitanos, conforme discutido por Meireles (2014).

Nos ambientes de praia e pós-praia e nos campos de dunas, os valores de fragilidade ambiental emergente obtidos foram de 3,34 e 4,00 respectivamente. Esses índices demonstram que a implantação de infraestruturas pontuais, o turismo, a expansão urbana, o lançamento inadequado de efluentes e a abertura de vias de acesso são fatores que intensificam a fragilidade emergente. Tais práticas contribuem com os processos de alterações na dinâmica natural de transportes de sedimentos e erosivos, ratificando tendências verificadas em pesquisas ocorridas em áreas costeiras no Nordeste do Brasil (Ross, 2012).

Em termos de planejamento ambiental, este resultado assume especial relevância, dado que os sistemas dunares e as faixas praias são altamente responsivos à supressão da cobertura superficial e ao aumento da circulação e da ocupação humana, fatores que tendem a potencializar processos erosivos e a modificar o balanço morfodinâmico local (Pacheco; Castro, 2022).

No tabuleiro pré-litorâneo, foi observado um aspecto analiticamente importante, o aumento da fragilidade emergente associada à incidência de pressões relacionadas à mineração, expansão urbana e supressão da vegetação presente, evidenciando que áreas naturalmente mais estáveis podem tornar-se mais vulneráveis em decorrência de intervenções humanas mais expressivas. Esse comportamento é descrito em análises de vulnerabilidade e fragilidade em bacias e áreas de planejamento, nas quais a intensificação do uso frequentemente redefine os padrões de risco ambiental mesmo sobre compartimentos relativamente estáveis (Gonçalves *et al.*, 2011; Sousa *et al.*, 2024).

Já a planície interdunar com coqueiros apresentou fragilidade emergente moderada, o que indica que, embora ocorram atividades humanas no local, como ocupação localizada e descarte de resíduos, tais pressões não se equiparam àquelas observadas em ambientes mais dinâmicos e intensamente urbanizados.

A análise comparativa da Fragilidade Ambiental Emergente nas unidades geoambientais da APA do Rio Pacoti, conforme valores apresentados na Tabela 5, evidenciou que a vulnerabilidade do território não decorre exclusivamente da base físico-natural, mas resulta, sobretudo, da forma como as pressões se distribuem e se intensificam no espaço. A sobreposição entre fragilidade potencial elevada e usos intensivos tende a configurar cenários de condições ambientais críticas, enquanto unidades naturalmente mais estáveis passam a

apresentar fragilidade emergente moderada ou elevada quando submetidas a pressões incompatíveis com sua capacidade de suporte.

Dado que a metodologia utilizada se aplica a avaliação de sistemas terrestres, a unidade geoambiental Mar Litorâneo não foi contemplada no cálculo da FAE. No entanto, o ambiente marinho foi considerado como elemento contextual da paisagem, uma vez que essa unidade exerce influência indireta sobre os sistemas costeiros e estuarinos adjacentes.

Tabela 3 - Síntese dos valores de Fragilidade Ambiental Emergente por unidade geoambiental

Unidade geoambiental	FAP	Pressão antrópica	FAE = (FAP + PA)/2	Classe interpretativa
Praia / Pós-praia	2,67	4	3,34	Moderada a alta
Planície interdunar com coqueiros	3,00	3	3,00	Moderada
Campo de dunas	4,00	4	4,00	Alta
Planície fluviomarinha	5,00	4	4,50	Alta
Tabuleiro pré-litorâneo	1,00	5	3,00	Moderada

Fonte: Autora (2026), com base em Ross (1994; 2012), Gorayeb, Silva e Meireles (2004), Meireles (2014), MapBiomass (2023) e Plano de Manejo da APA do Rio Pacoti (2023).

3.3 Leitura Integrada da Fragilidade Ambiental na APA do Rio Pacoti

A análise integrada evidencia que a fragilidade ambiental não se distribui de forma homogênea no território, mas acompanha a interação entre os condicionantes naturais e as transformações promovidas pelas atividades humanas. Segundo Ross (2012), a compreensão dessa interação é fundamental para subsidiar instrumentos de planejamento territorial, uma vez que permite identificar áreas prioritárias para conservação, recuperação ou controle do uso do solo. Na APA do Rio Pacoti, tal dinâmica mostrou-se particularmente evidente nos ambientes costeiros e estuarinos, onde a elevada fragilidade potencial foi intensificada por pressões antrópicas de diferentes naturezas.

A integração dos resultados alcançados para a fragilidade ambiental potencial e emergente amplia a compreensão da organização ambiental da APA do Rio Pacoti, indicando que a vulnerabilidade do território está associada a arranjos espaciais complexos, nos quais

condicionantes naturais e dinâmicas impostas pela diversidade de usos, interação de forma diferenciada no espaço. Tal abordagem supera a análise individualizada das unidades geoambientais e permite identificar padrões territoriais de maior e menor sensibilidade ambiental.

A distribuição espacial da fragilidade ambiental permite identificar setores nos quais a suscetibilidade do meio físico, combinada a uso e ocupação mais intensos, configura contextos de maior vulnerabilidade ambiental. Em outros setores, a fragilidade manifesta-se de forma menos acentuada, estando relacionada principalmente à intensificação gradual das intervenções, e não exclusivamente às características naturais da paisagem.

Essa heterogeneidade espacial reforça que a fragilidade ambiental na APA do Rio Pacoti configura-se como uma condição dinâmica, e não pode ser compreendida como um atributo fixo ou uniforme, resultante da interação contínua entre a base físico-natural e as transformações impostas pelas atividades humanas. Assim, a leitura integrada da fragilidade ambiental permitiu compreender o território como um sistema em constante reorganização, no qual os níveis de vulnerabilidade variaram conforme a combinação entre sensibilidade natural e pressão antrópica.

Em síntese, a integração dos resultados ressaltou a importância de abordagens que consideram simultaneamente os distintos componentes da paisagem, reafirmando a fragilidade ambiental como elemento central para a compreensão da dinâmica espacial e ambiental da APA do Rio Pacoti.

3.4 Implicações dos Resultados para o Planejamento e a Gestão Ambiental

Os achados desta pesquisa apontam que os ambientes naturalmente mais frágeis da APA do Rio Pacoti, especialmente as planícies fluviomarinhas e os campos de dunas, corresponderam com aqueles submetidos às pressões mais intensas. Tal padrão reforça que a fragilidade ambiental identificada não se explica exclusivamente pelas condições naturais, mas resultou localmente da interação entre a organização física da paisagem e os eventos históricos e atuais de uso e ocupação do território.

Esse tipo de abordagem integrada constitui uma prática recorrente em estudos de fragilidade ambiental aplicado ao planejamento territorial, pois possibilita a identificação de áreas prioritárias para gestão, fiscalização, monitoramento e definição de diretrizes de uso compatíveis com a conservação ambiental.

Nesse sentido, a análise da fragilidade ambiental aproxima-se dos princípios

estabelecidos pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), ao fornecer subsídios para o zoneamento ambiental, definição de áreas prioritárias para conservação e estabelecimento de diretrizes compatíveis com os objetivos de gestão das Áreas de Proteção Ambiental.

Sob essa perspectiva, a hierarquização das unidades geoambientais a partir da Fragilidade Ambiental Emergente estabelece-se como um suporte relevante ao planejamento e à gestão ambiental da APA do Rio Pacoti. Os resultados apurados sinalizam a necessidade de adoção de estratégias diferenciadas de gestão, de modo a compatibilizar o uso do território com a conservação dos sistemas ambientais mais sensíveis.

Diante do exposto, destacam-se: (I) a necessidade de fortalecimento do controle e da mitigação de fontes poluidoras, bem como da deposição irregular de resíduos sólidos em ambientes fluviomarinhos e no estuário do Rio Pacoti, os quais registraram maiores níveis de fragilidade ambiental emergente; (II) a relevância do ordenamento e a regulação das atividades turísticas e da implantação de infraestruturas em áreas de praia, pós-praia e campos de dunas, levando em conta a alta dinâmica sedimentar e os riscos de instabilidade ambiental observados na análise; e (III) a importância do monitoramento contínuo e da regulação das pessoas em compartimentos relativamente estáveis, como os tabuleiros pré-litorâneos, que, quando submetidos a pressões intensas, costumam apresentar um significativo aumento de sua vulnerabilidade ambiental.

Assim, a análise da fragilidade ambiental apresenta-se como uma ferramenta importante para o planejamento territorial, ao permitir a articulação entre o uso sustentável do território e a conservação dos sistemas naturais presentes na APA do Rio Pacoti. A compreensão das relações entre suscetibilidade natural e as ações humanas permite subsidiar políticas públicas e estratégias de gestão voltadas à redução de processos como erosão e degradação ambiental, em alinhamento com os objetivos das Áreas de Proteção Ambiental.

3.5 Síntese Espacial da Fragilidade Ambiental da APA do Rio Pacoti

A síntese espacial dos resultados de fragilidade ambiental potencial e emergente favoreceu a identificação de um gradiente de vulnerabilidade ambiental na APA do Rio Pacoti, evidenciado pelos contrastes entre unidades naturalmente mais frágeis e compartimentos geomorfologicamente mais estáveis. As áreas correspondentes aos sistemas estuarinos, fluviomarinhos e dunares concentram os níveis mais elevados de fragilidade

emergente, reflexo da elevada suscetibilidade natural associada à intensificação dos diversos tipos de usos.

Em contrapartida, unidades como os tabuleiros pré-litorâneos, embora apresentem fragilidade potencial reduzida, passaram a exibir elevação da fragilidade emergente em resposta à intensificação dos usos, notadamente a mineração e urbanização. Esse padrão espacial indicou que a fragilidade ambiental na APA do Rio Pacoti apresentou distribuição heterogênea, sendo influenciada tanto pela organização físico-natural da paisagem quanto pelas dinâmicas de uso e ocupação do solo. Assim, a análise integrada da fragilidade ambiental mostrou-se fundamental para o planejamento e a gestão territorial da unidade.

3.6 Limitações do Estudo e Perspectivas para Pesquisas Futuras

As limitações existentes neste trabalho estão associadas, essencialmente, à utilização exclusiva de informações secundárias e à não realização de atividades de campo sistemáticas, aspectos que limitaram a validação empírica dos dados analisados. Embora as bases utilizadas apresentem reconhecida confiabilidade técnica e científica, a verificação direta das condições ambientais das unidades geoambientais poderia proporcionar maior detalhamento e refinamento das interpretações realizadas.

Além disso, a não elaboração de produtos cartográficos específicos de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente limitou a representação espacial dos resultados, restringindo a visualização detalhada da distribuição da fragilidade ambiental no interior da APA do Rio Pacoti.

Ainda que os procedimentos metodológicos utilizados para a pesquisa tenham se mostrado adequados aos objetivos propostos e permitiram o reconhecimento de padrões relevantes de fragilidade ambiental na APA do Rio Pacoti, os resultados devem ser interpretados com cautela, uma vez que generalizações absolutas não são possíveis de acordo com a metodologia.

Como perspectivas, a incorporação de levantamentos de campo abordando cada unidade ambiental, análises temporais do uso e cobertura do solo e a elaboração de produtos cartográficos específicos de fragilidade ambiental em investigações subsequentes, poderão agregar de maneira substancial para a expansão do conhecimento sobre a dinâmica ambiental da área e o fortalecimento das estratégias de gestão territorial da unidade.

4 CONCLUSÃO

Portanto, conclui-se que a análise da fragilidade ambiental da área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti constatou a ocorrência de contrastes substanciais entre suas unidades geoambientais, os quais expressam as diferentes condições físico-naturais responsáveis pela organização da paisagem da unidade. Os dados resultantes explicitaram que ambientes associados a sistemas costeiros e estuarinos apresentam uma suscetibilidade natural superior, ao passo que unidades mais estáveis do ponto de vista geomorfológico são propensas a demonstrar menor fragilidade potencial. No entanto, a incorporação dos impactos ambientais indicou que atividades como turismo, urbanização, aquicultura e mineração potencializam a vulnerabilidade ambiental, de forma mais acentuada em áreas naturalmente frágeis. Desse modo, a fragilidade ambiental da APA do Rio Pacoti advém da interação entre as condições naturais da paisagem e as formas de uso e ocupação do solo.

Com esse cenário, os achados apurados nesta pesquisa colaboram com o entendimento da dinâmica ambiental da unidade de conservação e demonstram o potencial da análise de fragilidade ambiental como instrumento estratégico de apoio ao planejamento e à gestão territorial. Para além do aporte a ações técnicas relacionadas ao ordenamento do uso do solo, o conhecimento gerado pode corroborar com a disseminação de informações ambientais à sociedade, atuando como instrumento de sensibilização social, ao favorecer maior conscientização acerca dos limites e das potencialidades dos sistemas naturais da APA do Rio Pacoti.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas**. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2004. Disponível em: https://avauea.uea.edu.br/pluginfile.php/275784/mod_resource/content/3/ABS%C3%81BER%2C%20Aziz%20Os%20Dom%C3%ADnios%20de%20Natureza%20no%20Brasil_2.pdf. Acesso em: 07 dez.2025.
- BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Ra'e Ga: o Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 8, 2004. DOI: 10.5380/raega.v8i0.3389. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389>. Acesso em: 4 jan. 2026.
- BRASIL, **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o Art. 225, § 10, Incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 12 nov. 2025.
- CEARÁ. **Decreto nº 25.778, de 15 de fevereiro de 2000**. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 2000.
- CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE). Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti. 8 dez. 2010. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/2010/12/08/area-de-protecao-ambiental-do-rio-pacoti/>. Acesso em: 05 out. 2025
- CEARÁ. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti**. Fortaleza: Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará, 2023. Disponível em: https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2024/01/Plano_Manejo_Pacoti_2023_v7.pdf. Acesso em: 05 out. 2025.
- GOMES, F. V. S.; SANTOS, A. M. F.; GUERRA, R. G. P.; QUEIROZ, L. R.; MENEZES, M. O. T.; MORO, M. F. Representatividade ecológica e extensão total de áreas protegidas pelas unidades de conservação no estado do Ceará, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 34, e64481, 2022.
- GONÇALVES, Geula Graciela Gomes *et al.* **Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas**. Floresta, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 797–808, out./dez. 2011.
- GORAYEB, A.; SILVA, E. V. da; MEIRELES, A. J. de A. **Meio ambiente e condições de sustentabilidade da planície fluvio-marinha do rio Pacoti – Ceará – Brasil**. Geoambiente On-line, Goiânia, n. 2, p. 01–17 pág., 2013. DOI: 10.5216/rev.geoambiente.v0i2.25861. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/25861>. Acesso em: 03 set. 2025.
- MEIRELES, Antônio Jeovah de Andrade. **Geomorfologia Costeira: funções ambientais e sociais**. Fortaleza: Edições Ufc, 2014. 489 p.

MORAES, Antonio Carlos Robert. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro**. São Paulo: Annablume, 2007. Acesso em: 08 jan. 2026.

PACHECO, Fellipe Fazionato; CASTRO, José Flávio Morais. **Fragilidade ambiental como instrumento de planejamento ambiental em unidades de conservação: o caso da APA Serra da Piedade – MG**. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas, v. 13, n. 25, p. 117–148, 2022. DOI: 10.30612/rel.v13i25.14893.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geoecologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: Observatório das Metrópoles; Edições UFC; CNPq, 2013. 370 p. ISBN 9788572824781.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da; CAVALCANTI, A. de P. Br. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 6. ed. E-book. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/66152>. Acesso em: 07 set. 2025.

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. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SANTOS, Cláudia Regina dos; POLETTE, Marcus (orgs.). **A gestão costeira integrada no Brasil: histórico, processos e desafios**. Itajaí: Editora da UNIVALI, 2020.

SILVA, João Victor Mariano da; MOURA-FÉ, Marcelo Martins de; COSTA, Celme Torres Ferreira da. **Análise ambiental integrada das nascentes de Crato: fundamentos para o desenvolvimento sustentável**. Pesquisas em Geociências, v. 49, n. 3, e123641, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.123641>.

SILVA, Nayara Lage. **Mudanças do uso e cobertura da terra e avaliação do potencial de impactos na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros-MG**. Contexto, 2022.

SOUSA, S. G.; LISTO, D. G. S.; RIBEIRO, S. C. Análise integrada da paisagem e sua aplicabilidade ao ordenamento territorial no Semiárido brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 47, e244685, p. 1-18, 2026.

SOUSA, Matheus Natan Ferreira Alves; PEREIRA, Caio Victor Macêdo; ARAÚJO, Fellipe Souza; CAVALCANTI NETO, Ivo; FERREIRA, Joyce Clara Vieira; CUNHA, Paulo Eduardo Vieira; COSTA, Carlos Wilmer. **Determinação de áreas vulneráveis à erosão e prioritárias à recuperação da bacia hidrográfica do Rio Potengi – RN**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GeAS), São Paulo, v. 13, n. 1, p. 1–33, e24247, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5585/2024.24247>.

SOUSA, Roneide dos Santos; ROCHA, Glairton Cardoso. Análise da fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio Camurupim, litoral do Piauí. **Geofronter**, Campo Grande, v. 10, p. 01-22, e8890, 2024.

VIDAL, M. R.; MASCARENHAS, A. L. S. **Estrutura e funcionamento das paisagens litorâneas cearenses à luz da Geoecologia das Paisagens**. Geosp - Espaço e Tempo, v. 24, n. 3, p. 600-615, dez. 2020. Disponível em:
<https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/121030>.