

Geoinformação e Sensoriamento Remoto em Geografia

Análise da vulnerabilidade ambiental frente ao turismo em Cajueiro da Praia (PI): uma abordagem empírica

Analysis of environmental vulnerability to tourism in Cajueiro da Praia (PI):
an empirical approach

Análisis de la vulnerabilidad ambiental frente al turismo en Cajueiro da
Praia (PI): un enfoque empírico

Mateus dos Santos^I , Valdira de Caldas Brito Vieira^I ,
Edvania Gomes de Assis Silva^{II} , Francisco Pereira da Silva Filho^I 

^I Universidade Federal do Piauí , Teresina, PI, Brasil

^{II} Universidade Federal do Delta do Parnaíba , Parnaíba, PI, Brasil

RESUMO

Este estudo analisa a fragilidade ambiental do município de Cajueiro da Praia (PI), com ênfase nas áreas litorâneas, a partir da aplicação de técnicas de geoprocessamento. Assim, tem como objetivo geral identificar os elementos naturais e antrópicos, sendo estes associados a susceptibilidade ambiental, com vistas à elaboração de diagnósticos que subsidiem o planejamento territorial e a gestão sustentável do turismo na região. Foram considerados cinco parâmetros: geologia, solo, declividade, precipitação e uso e cobertura do solo. A metodologia baseou-se em Ross (1994) e França e Mucida (2022), com ponderações atribuídas a cada variável segundo sua suscetibilidade à degradação. Os resultados revelaram que as áreas mais frágeis se concentram nos ambientes de manguezais, dunas e planícies fluviomarinhas, associados a solos arenosos e uso intensivo pela atividade turística. A abordagem adotada demonstrou-se eficaz para subsidiar o planejamento territorial sustentável e a conservação de ecossistemas sensíveis.

Palavras-chave: Fragilidade ambiental; Geoprocessamento; Litoral do Piauí

ABSTRACT

This study analyzes the environmental fragility of the municipality of Cajueiro da Praia (PI), with emphasis on coastal areas, through the application of geoprocessing techniques. Consequently, the general objective is to identify both natural and anthropogenic elements, as these are associated with environmental susceptibility, with a view to developing diagnostic assessments that support

territorial planning and the sustainable management of tourism in the region. Five parameters were considered: geology, soil, slope, precipitation, and land use/cover. The methodology was based on Ross (1994) and França and Mucida (2022), with weights assigned to each variable according to its susceptibility to degradation. The results showed that the most fragile areas are concentrated in mangroves, dunes, and fluvio-marine plains, associated with sandy soils and intense tourist activity. The adopted approach proved effective in supporting sustainable territorial planning and the conservation of sensitive ecosystems.

Keywords: Environmental fragility; Geoprocessing; Piauí coast

RESUMEN

Este estudio analiza la fragilidad ambiental del municipio de Cajueiro da Praia (PI), con énfasis en las zonas litorales, a partir de la aplicación de técnicas de geoprocésamiento. De este modo, tiene como objetivo general identificar los elementos naturales y antrópicos, los cuales están asociados a la susceptibilidad ambiental, con miras a la elaboración de diagnósticos que sirvan de base para la planificación territorial y la gestión sostenible del turismo en la región. Se consideraron cinco parámetros: geología, suelo, pendiente, precipitación y uso y cobertura del suelo. La metodología se basó en Ross (1994) y França y Mucida (2022), con ponderaciones atribuidas a cada variable según su susceptibilidad a la degradación. Los resultados revelaron que las zonas más frágiles se concentran en ambientes de manglares, dunas y llanuras fluviomarinas, asociados a suelos arenosos y al uso intensivo por la actividad turística. El enfoque adoptado se mostró eficaz para sustentar la planificación territorial sostenible y la conservación de ecosistemas sensibles.

Palabras-clave: Fragilidad ambiental; Geoprocésamiento; Litoral de Piauí

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica de transformação do espaço geográfico está diretamente vinculada às ações antrópicas, que resultam na apropriação e no uso de recursos naturais para subsistência, produção de serviços e desenvolvimento econômico. Esses processos moldam a paisagem natural, de acordo com os interesses sociais, culturais e econômicos. No contexto da atividade turística, observa-se uma aceleração dessas transformações, com implicações diretas sobre a estrutura físico-ambiental do território.

A expansão do turismo, sobretudo em áreas litorâneas, vai além das questões referentes à oferta de serviços. Trata-se de um fenômeno espacial que altera os padrões de uso e cobertura da terra, redefinindo as dinâmicas socioeconômicas locais e impondo novas pressões sobre os ecossistemas. Essa intensificação da demanda por espaços turísticos, especialmente em regiões de elevada sensibilidade ambiental,

requer um olhar atento sobre os processos de ocupação e sobre a capacidade de suporte dos ambientes naturais.

Assim, compreender os fenômenos de formação de locais pelo turismo, está integrada à sistematização dos estudos socioespaciais e do planejamento da área, no que tange à carga turística, dando o suporte necessário para os elementos geoecológicos que compõem determinado local. Desta forma, expõe-se a necessidade de análise dos diversos elementos que compõem a base geológica, dados de precipitação, unidades de relevo, solos, cobertura vegetal, bem como a ocupação e uso da terra, dentre tantos outros fatores necessários para a projeção do turismo (França; Mucida 2022).

Neste contexto, as análises do turismo estão integradas também ao geossistema, a partir do levantamento e descrição das áreas que possuam potencial para a prática de atividades turísticas, e das quais estão associadas às fragilidades em ambientes naturais, nos quais as ações antrópicas estão presentes. Logo a configuração e a mudança da paisagem, junto à presença humana, permite interrelações e processos de construção do meio ambiente, envolvidos por categorias de sistemas, sejam eles abertos, fechados, dinâmicos, ou hierárquicos, tendo os elementos geográficos e ambientais, como construtos para a relação dos elementos e ordenamento em diferentes escalas territoriais (Tricart, 1977).

Com base nesta questão, a análise da avaliação da fragilidade ambiental se torna essencial, principalmente em relação à redução de camadas naturais, por intervenções e uso da área para atividades antrópicas, no que diz respeito a possíveis impactos socioambientais, que por vezes geram conflitos e degradação ecológica. Assim, toma-se como parte metodológica, a utilização do sensoriamento remoto, na obtenção de dados da superfície terrestre, além de permitir identificar as ações presentes sobre a superfície terrestre, uma vez que as técnicas do geoprocessamento conseguem monitorar de forma sistemática a dinâmica do uso do solo.

No âmbito das análises da fragilidade ambiental, o geoprocessamento se torna uma ferramenta aliada na combinação de dados e valores, que associam uma melhor ênfase aos resultados, que se integram e permitem fornecer atributos, além

de conceber um cruzamento de inferências geográficas. Os estudos de Ross (1994), Kawakubo *et al.* (2005), Alvares (2014), Gouveia e Ross (2019), França e Mucida (2022), dentre outros, permitiram organizar a conjunção de fatores e agrupamentos de análises de inferências, que resultaram no detalhamento sobre como os espaços geográficos funcionam por meio das ações naturais, e com a inserção da antropização nessas áreas.

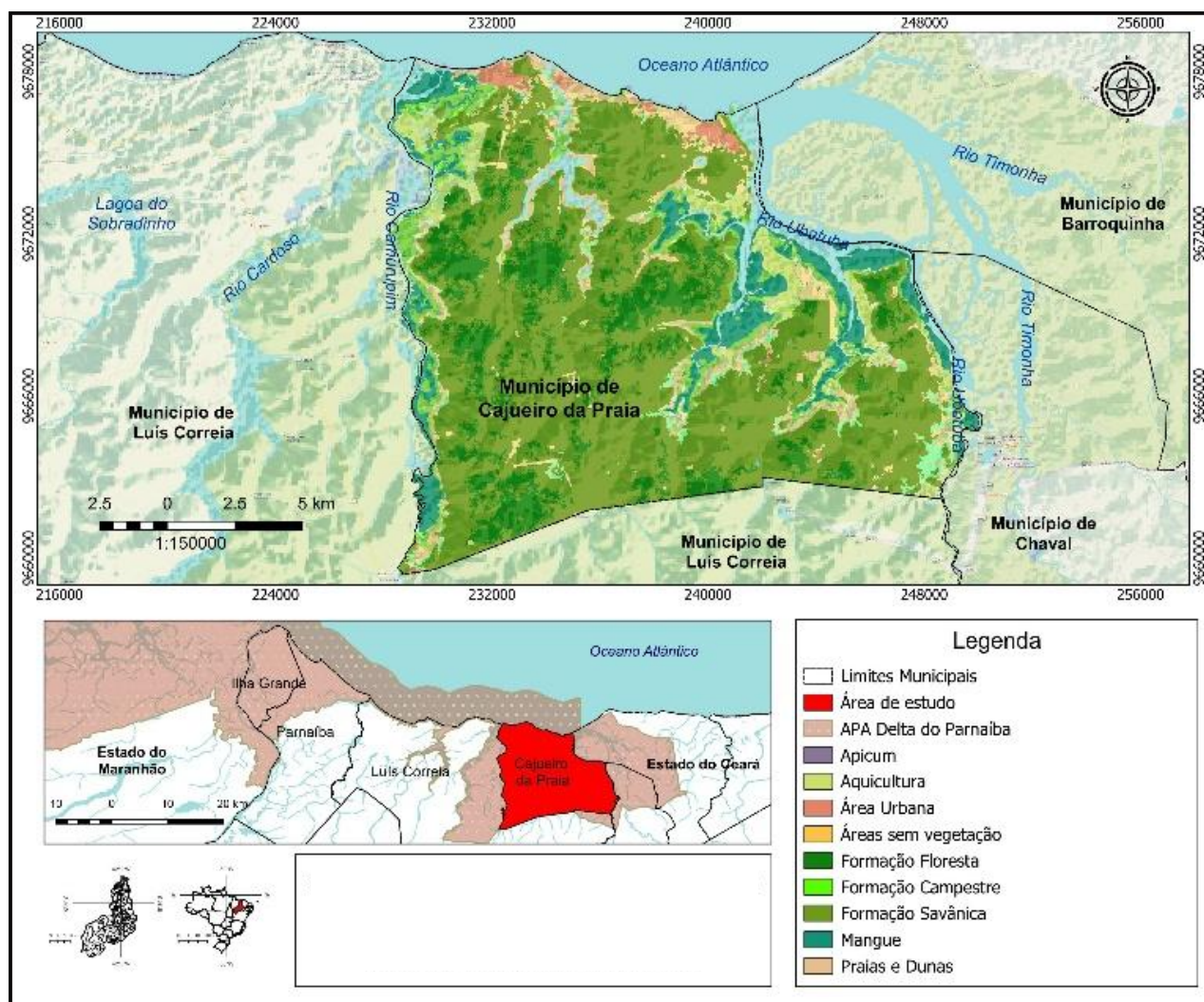
Considerando os aspectos observados, este estudo tem como objetivo analisar a fragilidade ambiental do município de Cajueiro da Praia (PI), com ênfase nas áreas litorâneas, a partir da aplicação de técnicas de geoprocessamento. Buscando identificar os elementos naturais e antrópicos que contribuem para a suscetibilidade ambiental, com vistas à elaboração de diagnósticos que subsidiem o planejamento territorial e a gestão sustentável do turismo na região.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O município de Cajueiro da Praia é um dos quatro municípios que compõem o litoral do Estado do Piauí, com uma extensão territorial de aproximadamente 271,165 km² (IBGE, 2023). Caracteriza-se pela presença de uma extensa planície fluviomarinha e feições da região deltaica, incluindo mangues, dunas, praias, rios e lagunas (Figura 1). A emancipação do município ocorreu no ano de 1995, desmembrando-se do município de Luís Correia. É importante ressaltar que esta área fazia parte do estado do Ceará, mas, por meio de um acordo histórico relacionado ao contexto da Guerra dos Balaíos, o território foi cedido ao Piauí, e em contrapartida, o município de Crateús foi transferido ao Ceará (Cajueiro da Praia, 2022).

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Organizado pelos Autores (2025)

Seu território está inserido na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba, importante delimitação na categoria de Uso Sustentável (US), com área de 313.800 ha, criada pelo Decreto Federal s/no de 28 de agosto de 1996, sob responsabilidade dos órgãos ambientais como ICMBio e IBAMA, onde há encontro vigente de ecossistemas e biomas da caatinga, cerrado e ambientes costeiros e marinhos, compreendendo 271,97km dentro do município, ou 100% de todo o território do município (ICMBio, 2020).

O desenvolvimento do turismo na região impulsionou a criação do município, além da pecuária, pesca, lavoura e da urbanização da localidade, cuja população inicial

consistia em comunidades ribeirinhas e caiçaras, com origens ligadas ao povoamento indígena (Marques, 2019). O município permitiu, assim, torna-se um produto turístico, ligado principalmente ao turismo de sol e praia, tendo como destino integrado a Rota das Emoções, que interliga roteiros entre os estados do Maranhão, Piauí e Ceará.

2.2 Procedimentos Metodológicos

A metodologia adotada baseou-se na proposta de Ross (1994), adaptada por França e Mucida (2022), com foco na análise integrada de fatores geoambientais para a determinação da Fragilidade Ambiental Potencial (FAP) e da Fragilidade Ambiental Emergente (FAE). Logo, essa proposta de análise está ligada ao desequilíbrio ecológico decorrente de intervenções antrópicas em ambientes estáveis, os quais são afetados por relações que afetam seu fluxo e as matérias existentes nesses espaços naturais (Tricart, 1977). Neste caso, Ross (1994) salienta o avanço das tecnologias e dos recursos utilizados no que se refere ao crescimento populacional e às alternativas de captação dos elementos naturais, como forma de abastecer as necessidades da sociedade, as quais necessitam ser ordenados e zoneados. No estudo, foram considerados os seguintes parâmetros: geologia, pedologia, declividade, precipitação e uso e cobertura do solo.

A análise permitiu a geração de produtos cartográficos, por meio do software Qgis, versão 3.40. As análises dos parâmetros, para identificar a instabilidade da área de estudo, foram realizadas utilizando dados de plataformas e sites, que já possuíam atributos geoespaciais, como o IBGE e a plataforma BDia, com variáveis de geologia, geomorfologia e pedologia da área de estudo. As camadas rasters foram obtidas da plataforma da USGS Earth Explorer e da plataforma *EarthData* desenvolvida pela NASA e integrada ao *Earth Observing System Data and Information System* (EOSDIS), no qual se obtiveram dados geoespaciais do *Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second V003*(2013-2014), para informações de declividade, com resolução de 30m (Quadro1).

Quadro 1 – Bancos de dados obtidos para as análises

Plano de Informações	Base de dados	Tipo de dado ou método
Modelo Digital de Elevação (MDE/ SRTM)	Earth Explorer (USGS) (https://earthexplorer.usgs.gov/)	Raster (Matricial)
Domínios Geológicos	BDia (https://bdiaweb.ibge.gov.br/)	Vetorial
Classes de Solos	Bdia (https://bdiaweb.ibge.gov.br/)	Vetorial
Precipitação Pluviométrica	UFRGS (https://www.ufrgs.br/hge/ana-data-acquisition/)	Vetorial
Cobertura e uso do solo	MapBiomas – Coleção 9 (https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/)	Raster (Matricial)

Fonte: Organizado pelos Autores (2025)

Dentre as ferramentas também utilizadas está o Google Earth Engine (GEE), como mecanismo para obtenção de dados, além dos índices de precipitações do banco de dados global, que inclui estimativas com resolução de 0,05 do *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS). Neste caso, integrado ao GEE, pode ser utilizado para calcular anomalias de precipitação, identificar tendências climáticas e monitorar secas em diferentes escalas temporais.

Os parâmetros foram classificados em seus respectivos pesos, o que permitiu distinguir e organizar as informações realizadas in loco e em gabinete. Neste caso, os dados obtidos seguiram os indicativos categóricos, adaptados da proposta de Ross (1994): (i) 1- Baixo, (ii) 2 - Levemente Baixo, (iii) 3 - Média, (iv) 4 - Alta, e (v) 5 - Extremamente Alta. A ponderação seguiu os níveis de critérios individuais para instabilidade e os fatores externos que tendem a influenciar (França; Mucida, 2022). Somado a isso, seguiu-se também a ponderação para todos os outros aspectos deste estudo (geomorfologia, geologia, pedologia, climatologia, e do uso e cobertura relevo, solo, clima e uso da terra).

Esses parâmetros de classificação e ponderações, estiveram relacionados ao método Overlay Booleano (superposição booleano ponderada), que consiste na decisão linear de análise de multicritérios no Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para combinar múltiplas camadas de dados geoespaciais

com base em operações lógicas booleanas (*and*, *or*, *not*), em que 1 (verdadeiro) atende ao critério, e 0 (falso), não atende ao critério determinado. Logo, se trata de combinações de mapeamento de atributos comensuráveis, e de ponderações se organizam em sobreposição por multiplicação ou adição para se obter a pontuação geral de cada célula (alternativa) (Quadro 2).

As técnicas de sobreposição, permitem uma inferência geográfica, ou seja, o ajuste de diferentes dados combinados de distintas formas e a análise de um ou mais argumentos, em que as camadas de mapas de atributos (mapas de entrada) sejam agregadas para determinar a camada de mapa composta (mapa de saída) (Malczewski, 2000).

Quadro 2 – Etapas como base dados raster, para análise e combinações possíveis de valores e correlações em SIG

Procedimentos de combinação linear ponderada	Práticas comuns	Melhores práticas
Identificação do conjunto de camadas de atributos	Processo orientado pela disponibilidade de dados	Abordagem ad-hoc; Estrutura hierárquica de objetivos e atributos; processo de especificação de problemas incompletos e incorretos
Definição do conjunto de alternativas viáveis	Células de grade fixas	Problema de unidade de área modificável; Análise multiescalar
Geração de mapas de atributos com unidades homogêneas	Padronização do intervalo de pontuação	Problema de não-linearidade; Análise de função de valor
Atribuição de pesos aos atributos	Atribuição direta ou comparações pareadas	Unidades de medida e faixas de valores de atributos ignorados; Análise multicritério
Combinação de mapas de atributos e pesos	Operações de sobreposição	Problema de independência preferencial; Operações de sobreposição (checagem da independência preferencial)
6. Classificação das células da grade	Ordenação das células	Problema de interdependência espacial; Ordenação das células (examinando todas as combinações de células)

Fonte: Adaptado de Malczewski (2000)

Trata-se, neste caso, de um modelo de combinação linear ponderada (*weighted linear combination - WLC*), em que se integra como exemplar de decisão baseado em SIG, que possui ponderações e com estas, permite resultar em mapas de atributos, e

consequentemente em procedimentos para derivar mapas de atributos com unidades homogêneas (Malczewski, 2000), o que permite uma análise mais abrangente.

Diante do proposto, as determinações das áreas de fragilidades foram processadas pela utilização da ferramenta “Calculadora Raster” do Qgis, tendo utilizado a equação das camadas raster, que estão organizadas em matriz numérica, sendo uma operação entre essas matrizes e seus dados (valores dos pixels). Para a determinação das fragilidades foram realizados os cálculos de acordo com os parâmetros indicados:

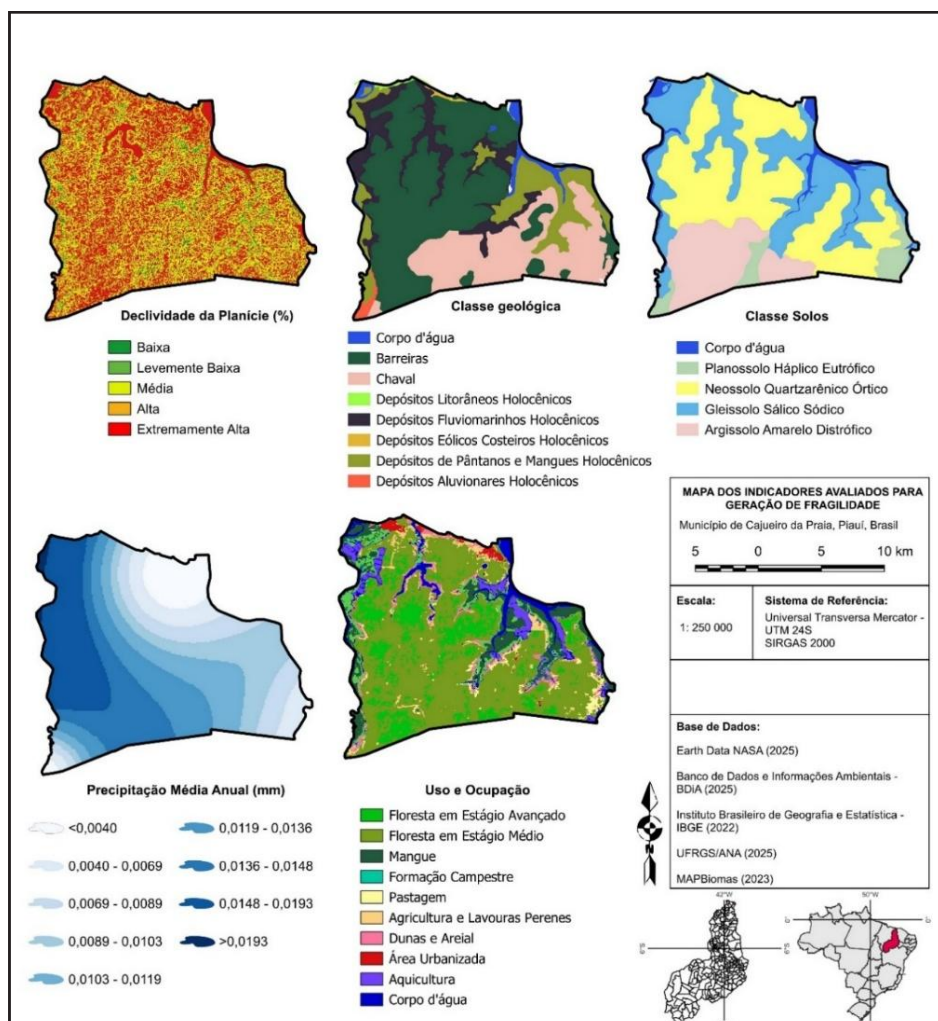
$$FAP = ([D] + [G] + [C] = [FR] + [S] = [FP] + [UCT] = [FA])$$

Sendo: declividade (D) somada a geologia (G) e ao clima (C), resultando na fragilidade do relevo (FR), em que se adiciona o parâmetro solo (S), obtém-se a fragilidade ambiental potencial (FAP). Incluindo-se o uso e cobertura da terra (UCT), para assim obter a fragilidade ambiental emergente (FAE) (Gouveia; Ross, 2019). Para auxiliar a finalização dos resultados obtidos, utilizou-se ainda a ferramenta Semi-Automatic Classification, que agrega a dimensão das áreas resultantes de análises e do cruzamento associativo pelas inferências realizadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a área de estudo, adotou-se uma adaptação metodológica proposta por Ross (1994), a qual permite identificar os diferentes níveis de fragilidade ambiental frente aos processos de degradação, por meio do mapeamento do potencial de fragilidade ambiental. Considerando a fragilidade potencial como a suscetibilidade intrínseca do ambiente à degradação, foram observadas mudanças significativas no ambiente de estudo, mesmo na ausência de interferências antrópicas, resultantes de suas próprias características naturais (Figura 2), como processos erosivos, mudanças da dinâmica dos corpos hídricos, variações climáticas, processos geoquímicos, dentre outros. Por outro lado, a fragilidade ambiental manifesta-se quando o ambiente sofre impactos oriundos de ações externas ou de agentes exógenos, exigindo intervalos de tempo significativos para a recuperação de suas condições naturais (Kawakubo *et al.*, 2005).

Figura 2 – Indicadores de avaliação e estudos para a geração da fragilidade do município de Cajueiro da Praia



Fonte: Organizado pelos Autores (2025)

3.1 Parâmetro Geologia

Os dados deste parâmetro foram obtidos do IBGE, da plataforma BDia e do levantamento da geodiversidade do Piauí pela CPRM (2010), além da classificação de Ab' Sáber (1998) e informações do Projeto RADAM Folha SA.23 São Luís (1973).

As classes geológicas da área de estudo incluem Tabuleiros litorâneos, Terraço fluvio-marinhos e camadas da Superfície Dissecada de Chaval (CPRM, 2010). A região destaca-se por depósitos fluvio-marinhos sedimentares resultantes da interação entre tabuleiros costeiros e planícies marinhas (Barbosa; Valladares, 2018), comuns

na costa do Piauí (Ross Cunico, Lohmann, 2022), e estuários ao noroeste e nordeste do município.

Assim, estas encontram-se na Bacia Sedimentar Fanerozoica, associada à erosão fragmentada de depósitos fluviais (RADAMBRASIL, 1973). Isso demonstra a ação aplainadora na área ao sul do município, entre os municípios de Luís Correia e Cocal, com maciços antigos presentes (Ab' Sáber, 1998) que se complementam com depósitos de pântanos e mangues holocênicos e depósitos eólicos, ambos da escala geológica fanerozoica (541 milhões de anos) e cenozoica (66 milhões de anos), que se acumulam na planície fluviomarinha.

Quadro 3 – Análises do parâmetro geologia

Peso	Classe de Fragilidade	Classe geológica	Mais resistentes (menos suscetíveis a processos erosivos)	Litologia Mais Antiga
2	Levemente Baixa	NP3(G)ch – Formação Chaval	Rocha sedimentar mais antiga e consolidada, apresentando maior resistência à erosão.	Neoproterozoico: Formação rochosa mais antiga da lista (1 bilhão a 541 milhões de anos)
Peso	Classe de Fragilidade	Classe geológica	Moderadamente resistentes	Neógeno/Quaternário: Sedimentos de idades entre o Mioceno e o Pleistoceno (23 milhões a 2,6 milhões de anos)
3	Média	NQb – Formação Barreiras	Composta por arenitos e argilitos mais consolidados, mas ainda sujeitos à erosão.	
Peso	Classe de Fragilidade	Classe geológica	Mais frágeis (altamente suscetíveis a erosão e mudanças ambientais):	Holoceno: 11.700 anos e mais recente
5	Extremamente Alta	Q2e1 – Depósitos Eólicos Costeiros Holocênicos	Areias soltas de dunas, facilmente removidas pelo vento (erosão eólica) e ocupação inadequado do solo.	
5	Extremamente Alta	Q2li – Depósitos Litorâneos Holocênicos	Areias de praia, influenciadas por marés e problemas de drenagem fluvial	
5	Extremamente Alta	Q2m – Depósitos de Pântanos e Mangues Holocênicos	Solos orgânicos e argilosos, instáveis e saturados de água, além da remoção de manguezais	
5	Extremamente Alta	Q2fm – Depósitos Fluviomarinhos Holocênicos	Mistura de areia, silte e argila, sujeitos a variações de maré.	
5	Extremamente Alta	Depósitos Aluvionares Holocênicos	Sedimentos recentes de rios, móveis e pouco consolidados.	

Fonte: Adaptado de Franco *et al.* (2012)

A análise geológica mostrou que rochas sedimentares têm diferentes níveis de integridade, destacando sua fragilidade em relação aos processos de intemperismo e erosão. Depósitos sedimentares quaternários são os mais frágeis. A formação Barreiras e Chaval, embora sujeitas ao intemperismo, possuem litologia mais antiga com sedimentos arenosos, argilosos e conglomeráticos, sendo menos frágeis que os depósitos do Holoceno. Em termos de fragilidade ambiental, os depósitos sedimentares são afetados por ações humanas relacionadas ao uso e ocupação das áreas geológicas.

3.2 Parâmetro Solo

As análises dos indicadores obtidos foram associadas ao banco de dados fornecido pelo BDIA do IBGE e à classificação de suscetibilidade de degradação do solo, considerando processos, fatores e causas que levam ao declínio da qualidade do solo (Lal, 1997). De acordo com Albuquerque *et al.* (2015), a fragilidade do solo é caracterizada pela resistência textural, estrutural, mecânica, hídrica, química, ecológica e biofísica, sendo todas integradas à fragilidade induzida por fatores que favorecem essa condição.

Para Crepani (2001), os processos de análise da fragilidade do solo estão associados ao intemperismo físico e químico, em que os processos de desintegração da rocha alteram sua composição original, resultando na sedimentação ou separação do material original e dando origem ao solo presente vários processos espaço-temporais de uma área. A água é o principal agente das transformações das rochas pelo intemperismo.

Sendo assim, a área de estudo tem como representante Gleissolo Sálco Sódico, que abrange quase toda a área, com presença de processo erosivo laminar ligeira e é mal drenado em relevo plano. Por se tratar também presença do Neossolo Quartzarênico Ótico, encontrado em quase toda o litoral piauiense, de risco erosivo baixo, pelo predomínio de macroporos, com drenagem excessiva e baixo volume de microporos, resultando em baixa capacidade de armazenamento de água (Albuquerque *et al.*, 2015), este se encontra dissipado entre pontos da faixa de praia e dunas.

Entretanto, a este último são atribuídas restrições, sendo considerado impróprio para aterros sanitários e lagoas de decantação, devido à facilidade de contaminação dos aquíferos (Cabral; Valadares; Aquino, 2020). Neste mesmo sentido, Barbosa e Valladares (2018), identificaram que na região, pela granulometria fina a média, os processos erosivos são selecionados pelo transporte eólico, estando sobreposto a uma litologia antiga, no qual são formados por antigos e novos campos de dunas.

A delimitação do município permite que este seja representado pela presença de Argissolo Amarelo Distrófico, presente dentro da planície litorânea entre os municípios de Luís Correia e Cajueiro da Praia, que se caracteriza ainda pela redução da infiltração e potencializa a erosão em períodos de chuvas intensas e prolongadas. Logo, essa área é destacada por comunidades que praticam atividades agrícolas de subsistência e outros tipos de lavouras, apesar do solo pobre em nutrientes, mas que se destaca pela correção da acidez e pela adição de fertilizantes a obtenção das produções.

Essas pequenas áreas são distinguidas pela presença de Planossolo Háptico Eutrófico, que possui como característica de fragilidade, ações de encharcamento, erosão e compactação, quando mal manejado. As mesmas áreas se aproximam da zona de ocorrência do encontro com minerais de potássio na área sudeste do município de Luís Correia (RADAMBRASIL, 1973), próximo ao complexo Granja, na divisa com estado do Ceará, sendo encontrados plútons graníticos de Chaval, da Província Borborema (Candido, 2023).

Para Albuquerque *et al.* (2015) a identificação do solo frágil se torna dificultoso, pois cada fator ou ação podem promover diversos resultados, o que acarreta na deficiência. Assim, a fragilidade proposta seguiu os parâmetros de Ross (1994), que considera como critério o escoamento superficial difuso e a concentração determinante do escoamento pluvial. Para isso, se utilizou também a relação da fragilidade potencial (vulnerável às ações naturais) e fragilidade ambiental (capacidade de se recuperar e se adaptar aos impactos quando alterados) (Kawakubo, *et al.*, 2005) (Quadro 4).

Quadro 4 – Análises do parâmetro geologia

Peso	Classe de Fragilidade	Classe de solos	Indícios FAP	Indícios FAE
4	Alta	Gleissolos Sálcos Sódicos	Alagamentos e encharcamento, especialmente em áreas de várzea e planícies aluviais.	A ocupação desordenada e o uso inadequado (como o cultivo sem drenagem adequada)
4	Alta	Argissolos Amarelos Distróficos	Alta acidez e baixa fertilidade natural, além de erosão laminar	A ausência de cobertura vegetal reduz a proteção do solo
5	Extremamente Alta	Neossolo Quartzarênico Órtico	Erosão eólica (em regiões secas) e à baixíssima capacidade de armazenar água	Degradação rápida do solo em áreas com uso inadequado ou exploração excessiva
5	Extremamente Alta	Planossolo Háplico Eutrófico	Encharcamento sazonal e erosão quando a remoção da vegetação ou uso inadequado do solo.	Desmatamento e uso do solo e compactação para manejo agrícola

Fonte: Adaptado de Kawakubo *et al.* (2005); Ross (1994)

Como demonstrado, a configuração do solo nas delimitações da área de estudo, está relacionada ao uso e ocupação das áreas, principalmente à remoção da cobertura natural, o que se torna representativo da suscetibilidade natural de degradação do solo, sendo este favorecido pela fragilidade potencial. Dentre os destaques associados à área, foram identificados por processos erosivos e alagamentos, possivelmente resultantes do desordenamento da área.

3.3 Parâmetro Precipitação Pluviométrica

O clima do município de Cajueiro da Praia, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, é categorizado com base em fatores como precipitação, temperatura, e distribuição de chuvas, como tropical com estação seca no verão (As) (Alvares *et al.*, 2014), caracterizado por alta temperatura média anual (entre 26 °C e 32 °C) e sazonalidade acentuada na distribuição das chuvas. A precipitação anual varia entre 800 mm e 1.500 mm, com forte concentração entre os meses de novembro e abril, período no qual ocorrem de 70% a 80% do total das chuvas. Assim, a área de estudo, influenciada por variações entre o clima quente e úmido, com estação chuvosa e estiagem no inverno (Aw) (Guerra, 1955), e quente úmido com estação seca no verão e chuvas no outono/

inverno (As), com temperatura média anual de 26 a 32 °C, principalmente relacionadas ao norte do estado do Piauí (Alvares *et al.*, 2013) (Quadro 5).

Entretanto, somente o clima tropical com verão seco (As) está delimitado dentro da área de estudo, de acordo com Spörl (2001), sob orientação de Ross, foi elaborado o nível de classificação para a fragilidade da área de estudo. Essa sazonalidade pluviométrica, com longos períodos de estiagem, torna os processos geomorfológicos como o intemperismo, a erosão e a lixiviação, mais sensíveis à dinâmica das chuvas. Além disso, a deficiência de cobertura vegetal em algumas áreas potencializa os efeitos da concentração das chuvas em curtos períodos.

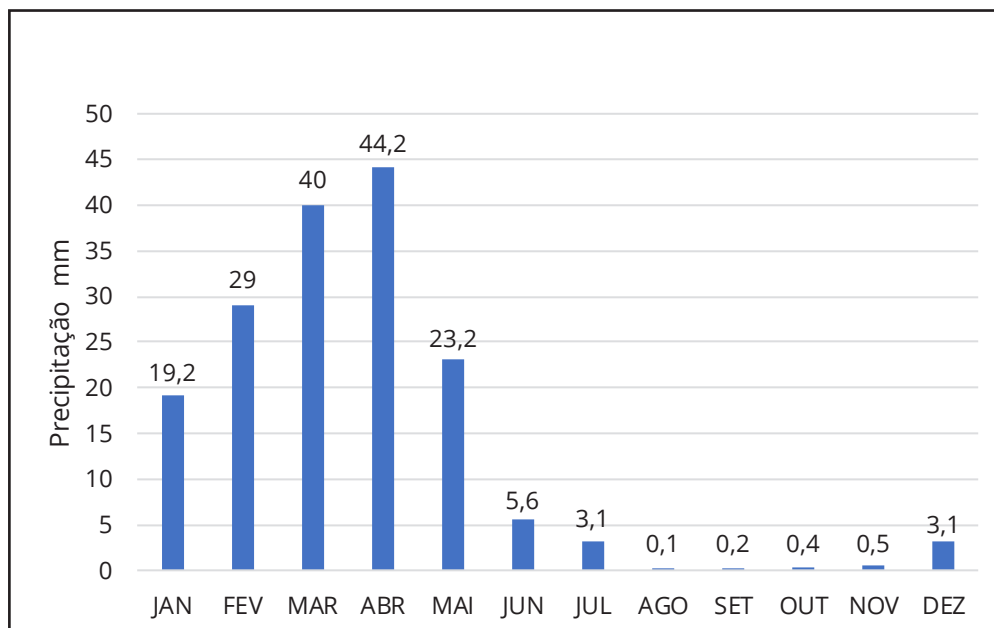
Quadro 5 – Análises do parâmetro geologia

Peso	Classe de Fragilidade	Classificação de Köppen	Tipo de Clima	Precipitação total	Características Pluviométricas
4	Alta	As	Clima Tropical com Estação Seca no Verão	800 mm a 1500 mm	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril, quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas.

Fonte: Adaptado de Spörl (2001)

Portanto, o parâmetro do clima está associado à zona tropical delimitada pela linha costeira, a qual se caracteriza como região seca e quente, conforme detectado pela técnica de validação proposta por Beck *et al.* (2023), obtida em formato raster (<https://www.gloh2o.org/koppen/>). A interpretação das análises, também estiveram associadas aos dados obtidos por Sousa e Rocha (2024), no que se referiu à distribuição de chuvas no perímetro da área de estudo da bacia do rio Camurupim, associada à bacia hidrográfica com clima tropical quente e úmido, pela oscilação de períodos de estiagem de 3 a 6 meses ao ano (Figura 3), no que se refere ao segundo semestre dos anos respectivamente analisados, associados à distribuição média de precipitação.

Figura 3 – Distribuição média anual da precipitação da área da 1995 a 2020



Fonte: Adaptado do Google Earth Engine (CHIRPS)

A associação entre o clima e a delimitação costeira tropical permite integrar o parâmetro climático à dinâmica de funcionamento do geossistema local. A alternância entre períodos chuvosos e secos influencia diretamente os fluxos de energia e matéria na bacia hidrográfica do rio Camurupim, afetando a recarga hídrica, o regime dos corpos d'água e a cobertura vegetal. Isso é pode ser visualizado na foz do rio, entre as praias de Maramar, no município de Luís Correia, e na praia de Barra Grande, em Cajueiro da Praia, onde são apresentados vários bancos de areia, sendo estes interpretados como componentes estruturantes do sistema natural, em interação com fatores morfopedológicos e hidrológicos.

A oscilação das precipitações correspondente à faixa litorânea diminui conforme sua aproximação com o interior do estado, com o clima semiárido ao sul. Entretanto, o município apresenta dinâmicas de correlação de atraso de chuvas, associadas à baixa declividade e a fatores correspondente às anomalias das águas do Oceano Pacífico, indicadas pelo fenômeno do El Niño e La Niña. Essas áreas são frequentemente relacionadas também ao tipo de vegetação presente na região, as quais estão integradas a zona de clima Aw, com dominância da vegetação da caatinga (Guerra, 1955).

A dinâmica, distribuição e intensidade das chuvas se comportam como agente modificador dos processos morfodinâmicos, tornando-se decisivas nos processos de intemperismo das rochas e solos. Assim se entende que este parâmetro se apresenta como variável de análise da fragilidade ambiental, conforme a capacidade da fragilidade potencial (Spörl, 2001).

As análises climáticas também estiveram associadas à dinâmica da vegetação, na identificação das unidades de paisagens, e aquelas que tiveram participação antropizada, o que permitiu uma combinação de valores agregadores da transformação do espaço geográfico (Ross; Cunico; Lohman, 2022), destacando-se pela presença dos elementos naturais dos tabuleiros costeiros e planícies marinhas, dentro de corredores do domínio das interplanáticas quentes e semiáridas do Piauí, que dão acesso ao litoral (Ab' Sáber, 2008) os quais dispõem da dinâmica entre os elementos em relação ao uso e ocupação do solo, através de sistemas integrados e fatores que ocasionaram as mudanças da paisagem.

3.4 Parâmetro Declividade

A classificação da declividade, partiu dos parâmetros estabelecidos pela Embrapa (2004), mediante a capacidade de uso/aptidão agrícola, associados à declividade do terreno, como forma de análise das fragilidades, em relação aos processos erosivos. Logo, resguardou-se como base das diferentes formas de elevação, a técnica de Stepinski e Jasiewicz (2011), na qual são projetados dentro de uma célula-alvo, padrões e classificações, onde se reduz padrões que são resultados de rotação ou reflexão de outros padrões, o que é compreendido por um conjunto abrangente de modelos, denominados de “geomorfons”, idealizados de forma independente de tamanho, relevo e orientações da feição real (Quadro 6).

Ao realizar a redução, se torna possível conectar esses valores, o que permite compreender as elevações presentes de uma área, de paisagens reais, em apenas uma pequena fração dos geomorfons possíveis. Desta forma, foram calculadas as áreas e a porcentagem de cada classe de relevo, pela reclassificação da Embrapa (2021),

utilizando a ferramenta de reclassificação para categorizar os valores da imagem raster, tendo como expressão da fragilidade os parâmetros de Ross (1994), e Gouveia e Ross (2019), mas tendo como análise a planície costeira como área de fragilidade em relação a pedologia e os processos de intemperismo.

Quadro 6 – Análises do parâmetro geologia

Peso	Tipo	Padrões geomorfons	Níveis de Fragilidade
1	Forte Ondulado	Topos (picos, cristas e cristas secundárias)	Baixo
2	Ondulado	Encostas convexas	Levemente Baixo
3	Moderadamente ondulado	Vertentes côncavas e planocôncavas (bases das encostas e escavados)	Média
4	Suave ondulado /Plano	Planície fluviomarinha	Alta
5	Planície de Inundação	Planície Fluvial (fossos e vales)	Extremamente Alta

Fonte: Adaptado de Embrapa (2004); Gouveia e Ross (2019); Sousa e Rocha (2024)

Neste caso, a planície fluviomarinha se encontra dentro do maior grau de fragilidade, vista a ação do fluxo de água em eventos extremos, como períodos de inundações e chuvas torrenciais, além da dinâmica sedimentar e dos mecanismos naturais e antrópicos que causam a erosão costeira (Silva; Lima, 2019). Entretanto, a erosão é mais lenta nas partes mais altas devido à menor presença de água e ao intemperismo, em relação à declividade acentuada.

Isso se deve ao conhecimento sobre a área, a qual encontra dentro da planície costeira, na qual se identificou elevações máximas inferiores de até 27m em relação ao nível do mar, o que permite compreender que inundações sazonais contribuem para os processos erosivos, além da remoção da vegetação ou uso inadequado do solo da área, que demonstram o avanço erosivo na região. Essas afirmações estão associadas à dissecação do relevo e à densidade de drenagem (Calvacanti; Viadana, 2007), restritas a um território próximo à linha da costa.

3.5 Parâmetro Uso e Cobertura do solo

Relacionado com os demais parâmetros, o uso e cobertura do solo corresponde ao grau de proteção das áreas que foram integradas nas ações antropizadas, apresentando atividades de descaracterização sobre o solo natural (Tabela 1). Assim, a análise da fragilidade está associada a cobertura vegetal por meio da interpretação temporal, a partir das camadas identificadas, e sua classificação proposta.

Tabela 1 – Análise da mudança da cobertura e uso do solo no Município de Cajueiro da Praia

Classes	1995 km²	2005 km²	2015 km²	2023 km²	Mudança km²
Vegetação nativa	197.266,150	190.208,469	187.319,898	181.803,324	187.319,898
Mangue	31.661,850	33.544,731	33.925,769	34.018,575	33.925,769
Antropização	5.642,397	10.106,877	11.796,116	18.875,214	11.796,116
Praias e dunas	143.438,06	11.753,283	12.404,706	8.695,163	12.404,706
Corpos d'água	23.017,552	25.489,391	26.174,724	28.491,293	26.174,724
Total	257.731,387	271.102,751	271.621,213	271.883,569	271.621,213

Fonte: Autores (2025), adaptado de MapBiomass (2025)

Observa-se uma significativa redução da cobertura vegetal nativa no município de Cajueiro da Praia entre 1995 e 2023, impulsionada pelas atividades econômicas desenvolvidas em seus limites territoriais. Essa transformação está particularmente associada ao crescimento do valor turístico e à exploração dos recursos hídricos, especialmente por meio de atividades como a aquicultura, que se expandiram nas áreas de manguezais e ao longo da orla marítima, afetando diretamente as comunidades de Barra Grande, Barrinha e a sede municipal, onde o processo de urbanização se consolidou de forma acelerada (Costa; Santos, 2023).

As primeiras atividades turísticas significativas na região emergiram a partir dos anos 2000, situação que intensificou as interações antrópicas com os ecossistemas naturais. Esse fenômeno resultou em alterações paisagísticas significativas, especialmente em áreas ambientalmente frágeis, com ocupação desordenada do solo e aumento da pressão sobre os recursos naturais. Além disso, evidenciaram-se

conflitos socioambientais decorrentes da competição pelo uso do espaço, agravando ainda mais a fragilidade ambiental da região (Massa; Ross, 2012). Essa dinâmica reforça a necessidade de um planejamento territorial que equilibre o desenvolvimento econômico com a conservação dos ecossistemas costeiros, particularmente os mais sensíveis a essas transformações (Quadro 7).

Quadro 7 – Análises do parâmetro geologia

Peso	Classe de Fragilidade	Tipos de Uso e Ocupação
1	Baixo	Solo exposto ou Mineração; Área Urbanizada e Construída
2	Levemente Baixo	Pastagens
3	Média	Agricultura e Lavouras Perenes
3	Média	Praias e Dunas
4	Alta	Vegetação de Várzea
4	Alta	Floresta em Estágio Médio ou Avançado
5	Extremamente Alta	Manguezal
5	Extremamente Alta	Corpos d'água

Fonte: Adaptado de Souza; Costa; Carvalho (2011); Massa; Ross (2012); MapBiomass (2025)

A classificação de fragilidade ambiental, com pesos variando de 1 a 5, reflete a suscetibilidade dos diferentes usos do solo à degradação. Áreas com baixa fragilidade (peso 1) incluem solos expostos, regiões de mineração e zonas urbanizadas, já intensamente modificadas e relativamente estáveis frente a processos naturais. As pastagens representam fragilidade levemente baixa (peso 2), com impactos moderados sobre o solo. A fragilidade média (peso 3) abrange áreas agrícolas, lavouras perenes, praias e dunas, onde há tanto interferência antrópica quanto dinâmica natural sensível. Com alta fragilidade (peso 4), encontram-se vegetações de várzea e florestas em regeneração, ambientes ecologicamente relevantes e vulneráveis a perturbações. Já os manguezais e corpos d'água, classificados com

fragilidade extremamente alta (peso 5), são ecossistemas essenciais e altamente sensíveis, demandando prioridade em ações de conservação e manejo ambiental.

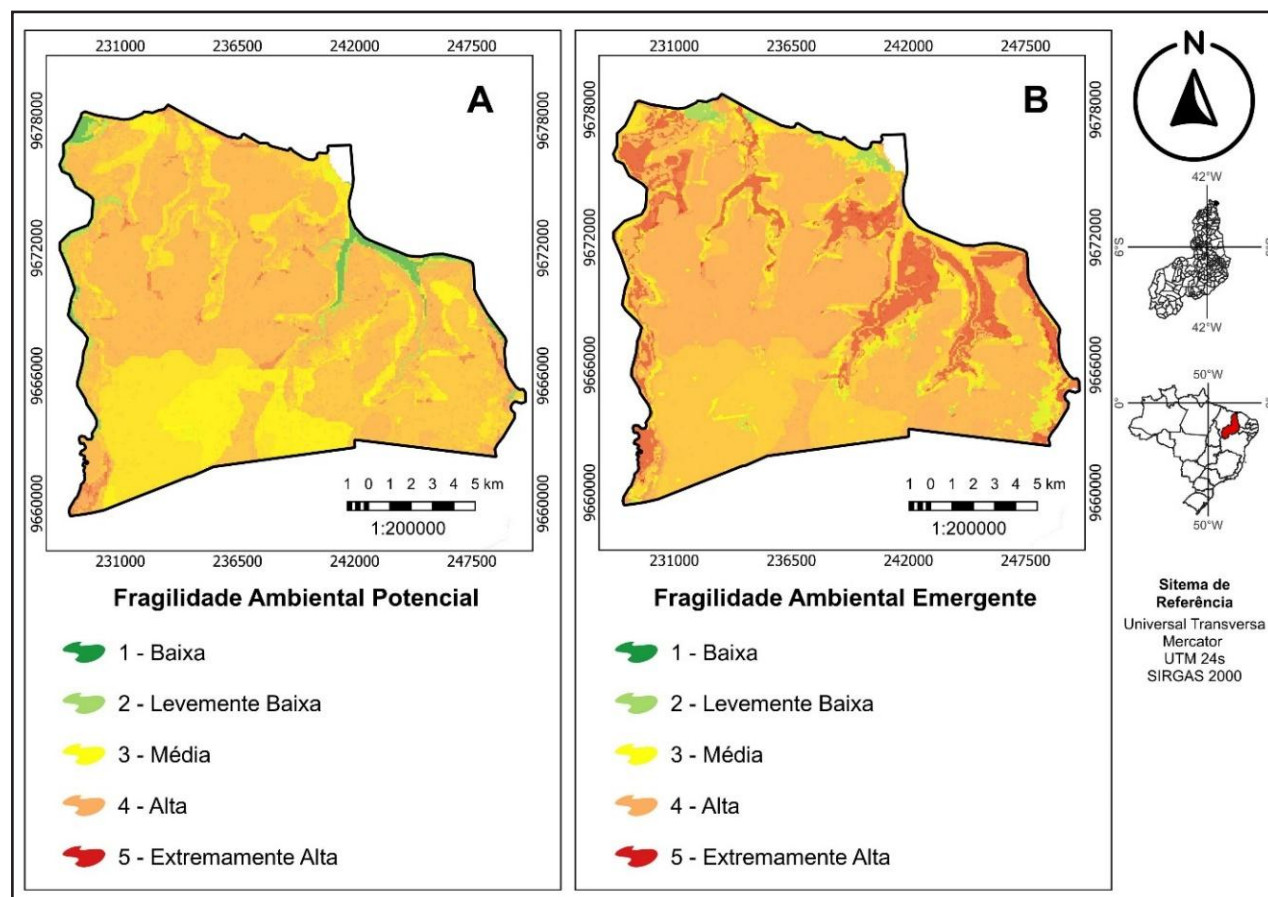
Assim se estabeleceu com relação a vulnerabilidade ambiental está relacionado à proteção do solo, no que tange à remoção da cobertura vegetal. Entretanto, a sensibilidade pelo uso e ocupação está ligada diretamente ao apogeu do turismo do litoral, que está próximo das áreas de fragilidade alta e extremamente alta, tendo as vegetações que ainda se encontram preservadas, dentro da perspectiva da planície de inundação. A praia de Barra Grande, que se insere na intercessão dessas áreas, possui elementos geoecológicos frágeis, de dinâmicas diversificadas, como o Rio Camurupim (a oeste) e o Rio Ubatuba (ao leste).

3.6 Mapeamento da Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente

A partir dos dados raster obtidos nas plataformas indicadas, foram processados os parâmetros estabelecidos neste estudo, incluindo informações geológicas e pedológicas convertidas de shapefiles para formato raster. Concluída essa etapa, procedeu-se à reclassificação das camadas raster, o que viabilizou as análises subsequentes. Mediante a quantificação dos dados e a aplicação de ponderações adequadas, foi possível determinar a representatividade das fragilidades ambientais através de inferência geográfica, a qual compreendeu a análise espacial, a identificação de padrões e a modelagem na área de estudo.

Com base nos resultados do mapeamento da fragilidade sobre na área de estudo (Figura 4), o município apresentou FAP correspondente à escala de indicativos “média” (243,29 km²), que corresponde a 89,68%, com área concentrada principalmente em relação à geologia e à pedologia, tendo como principal ocorrência os solos quartzareníticos, com o Neossolo encontrado próximo as áreas de curso da água, como os rios Camurupim e Ubatuba. Em seguida, destaca-se o Argissolo, que se insere na parte sudoeste do município e vai ao encontro da vegetação de Floresta em estágio médio, sendo representada principalmente pela formação savânica (cerrado).

Figura 4 – Produto de demonstração do FAP e FAE



Fonte: Organizado pelos Autores (2025)

Essa mesma área também é representada pela inserção geológica de depósitos fluviomarinhos, os quais apontam para a dinâmica e transformação da área, com atividades de antropização, delimitadas pela planície de inundação, representados pela vegetação de manguezais, que se encontram no complexo estuarino dos rios Ubatuba e Camurupim (Meireles; Campos, 2010). Tal configuração corrobora, as perspectivas sobre a ocupação desordenada dentro da delimitação do Gleissolo Sálco, representado por áreas de vegetação de várzea. A planície de inundação da área também está associada à declividade baixa (<6%), mas que é enfatizado pela fragilidade extremamente alta, decorrentes dos processos de abrasão na costa do município (Silva; Lima, 2019).

Entretanto, a área de FAP que se torna expressiva é a classificação “alta”, a qual corresponde a 14,06 km² (5,18%) em relação à dimensão territorial do município. Nessa delimitação, ainda se destaca a presença da vegetação preservada, que mantém

relação com os cursos d'água e o regime hídrico da região, predominante pelo clima (As) e pela distribuição da precipitação entre os primeiros seis meses do ano, geralmente entre novembro e maio, propensa a correlações de atrasos da estação chuvosa, tendo anomalias que transferem as chuvas durante essa época (Guerra, 1955).

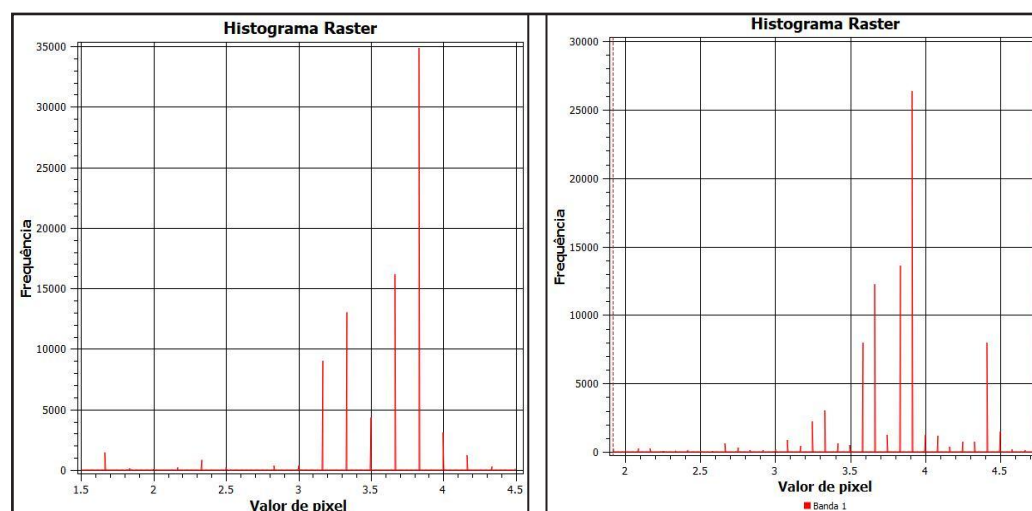
Como o município ainda apresenta características da região deltaica, sendo preponderante a planície fluviomarinha, nesses locais destaca-se a ocorrência de vegetação herbácea, com presença de apicum e formações de mangues, tanto na foz do curso do rio Camurupim, quanto do rio Ubatuba, além das lagunas formadas durante o período chuvoso, que se encontram dentro da área de amortecimento, permitindo assim a proteção dos processos de assoreamento. No entanto, a correlação da antropização da faixa de praia e do avanço sobre a vegetação preservada foi de 4,86%, desde a emancipação do município. Esses resultados, de remoção da vegetação natural de 72,54% de 1995, para 66,87% em 2023, permitiram intensificar o uso do solo e os processos erosivos, os quais se caracterizam como área de alta vulnerabilidade, principalmente onde são encontradas as vegetações em estágio médio.

Por se tratar de uma região turística, o município permitiu o avanço da urbanização na planície costeira e com isso a remoção da cobertura vegetal e descaracterização da paisagem natural, principalmente quando correlacionadas com as áreas de várzea, além da presença de atividades de aquicultura, em solos que já possuem fragilidade ambiental em potencial (Cavalcanti; Viadana, 2007). Assim essa caracterização da área de fragilidade em potencial, pode ser identificada pela frequência indicativa média e alta da camada raster (3 e 4), analisada pela modelagem dos mapas, sinalizados pelas células de pixels (Figura 5).

Desta forma, os dados *rasters* também estão correlacionados à mesma frequência da inferência, situação que permitiu a reprodução do mapeamento da fragilidade ambiental emergente, em que as mesmas áreas analisadas apresentam pontos de vulnerabilidade. Por conseguinte, a FAE esteve relacionada também as áreas da planície fluviomarinha, com destaque para as áreas de inundações e cursos d'água, quando se realizou a análise de sobreposição dos mapas gerados. Entretanto,

os índices resultantes destacaram-se por áreas extremamente altas e novamente com relação aos depósitos fluviomarinhos, que se inserem na área de Gleissolo.

Figura 5 – Histograma das camadas rasters em relação as classes obtidas da FAP e FAE



Fonte: Organizado pelos Autores (2025)

Logo a área com maior concentração de ação antrópica se localiza na intersecção do Neossolo Quartzarênico e dos Gleissolos, visto que o Argissolo Amarelo por dispor de alta acidez e baixa fertilidade natural, possui uma ocupação para atividades antrópicas, destacado-se pelo índice de concentração da cobertura vegetal, em que se enfatiza sua classificação média para FAP. Enfatiza-se ainda que essa mesma área apresenta afloramentos rochosos da Suíte Intrusiva de Chaval (Sousa; Rocha, 2024), com presença de *inselbergs* de textura granular e cristalina, predominantemente com relevo suave ondulado a escarpado (Candido, 2023).

Por se tratar de um clima tropical de transição com o semiárido, este permite a identificação e influência dos processos erosivos há milhões de anos, assim como da formação dessas paisagens (Meireles; Campos, 2010), criando feições únicas da geologia granítica, em que o relevo residual se encontra próximo das delimitações finais da área sul do município. Por isso, observam-se duas vertentes da superfície do município, destacadas pela planície costeira e fluviais (relevo suave e baixo), além de morros (relevo ondulado) (Quadro 8).

Quadro 8 – Análises do parâmetro geologia

Cajueiro da Praia	Padrão Geomorfológico	Geomorfon Correspondente
Dunas e cordões litorâneos	Acumulação eólica	Topos (cristas de dunas) – Representam os pontos mais altos das dunas móveis e fixas.
Encostas de dunas e falésias	Processos erosivos eólicos e marinhos	Encostas convexas – Declives que sofrem ação do vento e da maré.
Áreas de transição entre dunas e manguezais	Deposição sedimentar e processos hidrodinâmicos	Vertentes côncavas e planocôncavas – Locais onde há deposição de sedimentos e formação de solos mais úmidos.
Planícies costeiras e manguezais	Planícies de acumulação	Superfícies planas – Correspondem às áreas baixas, sujeitas a inundações e sedimentação fluvial/marina.

Fonte: Organizado pelos Autores (2025)

Logo, as áreas com maior FAP são encontradas em quase toda a área das planícies fluviomarinhas e costeira, com ênfase para os declives das ações naturais, destacados por campos de dunas, e pelas áreas de baixa declividade caracterizada pelos manguezais e vegetação de várzea (Barbosa; Valladares, 2018). Como já ocorre antropização da área na faixa de praia, tal processo tornou-se evidente nas áreas representadas por estado de preservação, as quais, no entanto, são vulneráveis às ações antrópicas. Historicamente, as ações antrópicas do município estiveram vinculadas ao desenvolvimento do turismo (Costa; Santos, 2023), sendo a área caracterizado inicialmente por vilas de pescadores, que tinham as atividades tradicionais como a pesca artesanal, sem que houvesse impactos consideráveis sobre a cobertura e uso do solo de forma expressiva.

Assim, denotou-se que os rasters com dados que caracterizaram a fragilidade extremamente alta, foram indicados pela pouca aproximação da antropização, mas que apresentaram vulnerabilidade para os processos erosivos, principalmente na questão de uso do solo presente na delimitação da área de estudo, devido à ocupação inadequada, aos pontos de alagamentos e à própria remoção da cobertura vegetal. Outro ponto destacado, de suma relevância para a FAE, foi a área das fozes dos dois rios, que já apresentam índices de possíveis impactos secundários, visto que as ações naturais da dinâmica dos rios, possuem processos que ocorrem durante há milhões

de anos, quando correlacionados a formação geológica da área e a erosão costeira (Meireles; Campos, 2010), a qual foi intensificada pelas ações antrópicas recentes.

Dessa forma, tanto o mapeamento da FAP quanto da FAE, estiveram vinculados diretamente ao dinamismo da declividade do município composto por 262,46km² (96,51%) da área analisada. Logo dentro da perspectiva de impactos socioambientais, a fragilidades estiveram integradas à classe média (243,29 km² ou 89,68%) da FAP, e às classes alta (216,60 km² ou 80,93%) e extremamente alta (44,21 km² ou 16,51%) da FAE. As áreas de fragilidade mostraram-se equivalentes e próximas, representando assim uma suscetibilidade a agravamentos e impactos posteriores, vista a sensibilidade da área que remonta a extensão do município.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da pesquisa evidenciaram relações entre a fragilidade ambiental e os processos naturais e antrópicos que moldam a paisagem do município de Cajueiro da Praia. A predominância de áreas com alta fragilidade na planície fluvio-marinha e costeira destaca a importância da dinâmica dos declives e da composição dos solos para a estabilidade ambiental. Os campos de dunas, os manguezais e a vegetação de várzea, mesmo desempenhando papel fundamental na manutenção do equilíbrio ecológico, apresentam vulnerabilidades inerentes às condições naturais e às pressões decorrentes da ocupação humana.

A evolução da ocupação da área, inicialmente marcada por vilas de pescadores e práticas tradicionais de pesca artesanal, demonstrou uma transição para um cenário em que o turismo e outras atividades passaram a exercer influência sobre a cobertura e uso do solo (Costa; Santos, 2023). Essa mudança intensificou os riscos de processos erosivos e alagamentos, especialmente nas zonas de maior suscetibilidade. O mapeamento da fragilidade ambiental permitiu identificar pontos críticos nos quais a interação entre fatores naturais e ações humanas pode comprometer a estabilidade do território, exigindo medidas preventivas e estratégias de manejo sustentável por parte da gestão pública em parceria com a iniciativa privada e a comunidade.

Diante desse cenário, é fundamental que políticas públicas e iniciativas de gestão territorial sejam direcionadas para à mitigação dos impactos ambientais e para à promoção do uso sustentável dos recursos naturais. A integração entre conservação ambiental e desenvolvimento econômico pode permitir um equilíbrio entre a preservação da paisagem e a manutenção das atividades socioeconômicas da região. Dessa forma, o planejamento adequado, aliado ao monitoramento contínuo, pode minimizar os riscos associados às áreas de alta e extrema fragilidade, garantindo a resiliência ecológica do município no médio e no longo prazo.

REFERÊNCIAS

- AB' SÁBER, A. N. Participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro: considerações finais e conclusões. **Revista do Instituto Geológico**, v. 19, n. 1-2, p. 51-69, 1998.
- AB' SÁBER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. In: (Orgs. :) LEMOS, A. I. G.; ROSS, J. L. S.; LUCHIARI, A. **América Latina: sociedade e meio ambiente**. Expressão Popular. 2008. 53, 1-22
- ALBUQUERQUE, J. A.; DE ALMEIDA, J. A.; GATIBONI, L. C.; ROVEDDER, A. P.; COSTA, F. D. Fragilidade de solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância agrícola para o Brasil. In.: CASTRO, S. S.; HERNANI, L. **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. EMBRAPA. Brasília. 2015.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M., Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theor. Appl. Climatol.** 113, 407–427. 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-012-0796-6>. Acesso em: 06 fev. 2025.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- BARBOSA, W.; VALLADARES, G. S. Mapeamento Geomorfológico do Município de Cajueiro da Praia, Costa Litorânea do Estado do Piauí (Geomorphological Mapping of the Municipality of Cajueiro da Praia, Coastal Coast of the State of Piauí). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1585-1592, 2018.
- BECK, H. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; LUTSKO, N. J.; DUFOUR, A.; ZENG, Z.; JIANG, X.; VAN DIJK, A. I. J. M.; MIRALLES, D. G. **High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections**. Scientific data, 10(1), 724. 2023. Disponível em: <https://www.gloh2o.org/koppen/>. Acesso em: 06 fev. 2025.

CABRAL, L. J. R. S.; VALLADARES, G. S. AQUINO, R. P. **Caracterização pedológica da planície costeira do estado do Piauí**. Geografia: Publicações Avulsas, Universidade Federal do Piauí, Teresina, v. 2, n. 1, p. 82-104, jan./jun. 2020.

CAJUEIRO DA PRAIA. **História do município**. Câmara Municipal de Cajueiro da Praia. Disponível em: <https://www.cajueirodapraia.pi.leg.br/o-municipio/historia>. Acesso em: 19 fev. 2025.

CANDIDO, J. S. S. Magmatismo alcalino ultrapotássico na Província Borborema: o Plúton Alcalino de Brejinho, PI/CE, Brasil. **Dissertação** (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geologia. UFMG. 2023.

CAVALCANTI, A. P. B. VIADANA, A. G. Estudo das Unidades Paisagísticas Costeiras do Estado do Piauí: potencialidades e limitações antroponaturais. **Revista Climatologia e Estudos da Paisagem**. v. 2, n.1, jan/jun. Rio Claro, Rio de Janeiro. 2007. 110-127p.

COSTA, L. J. da S.; SANTOS, E. O. da S. Turismo no litoral do Piauí: a influência da atividade turística para o espaço geográfico de Barra Grande, município de Cajueiro da Praia, Piauí. In.: E. C. Wenceslau (Org.). **Práticas em ensino, conservação e turismo no Brasil: volume 2**. São José do Rio Preto, SP: Reconecta Soluções, 2023.

CPRM. **Geodiversidade do estado do Piauí**. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Org.: PFALTZGRAFF, P. A. dos S.; TORRES, F. S. de M.; BRANDÃO, R. de L. Recife: CPRM, 2010.

CREPANI E.; MEDEIROS J.S. DE; HERNANDEZ P.; FLORENZANO T.G.; DUARTE V.; BARBOSA C.C.F. 2001. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos, SAE/INPE, 124 p.

EMBRAPA. **Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras: proposta metodológica**. (Org.:) PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. São Paulo. Jaguariúna. 2004.

EMBRAPA. **Território Mata Sul Pernambucana**. Relevo. (Org.:) ACCIOLY, L. J. de O.; SILVA, E. A.; PEREIRA, A. G. de S. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/relevo>. Acesso em: 12 fev. 2025.

FRANÇA, L. C. J.; MUCIDA, D. P. **A fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha em Minas Gerais**. Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2022. 52 p.

FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. S. **Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 1, n. 42, p. 114- 127, dez. 2012.

GOUVEIA, I. C. M. C.; ROSS, J. L. S. **Fragilidade ambiental: uma proposta de aplicação de geomorphons para a variável relevo**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, V. 37, P. 123-136, 2019.

GUERRA, I. A. L. T. **Tipos de clima do Nordeste**. Revista Brasileira de Geografia. 17, 449-496. 1955. Disponível em: <https://www.rbge.ibge.gov.br/index.php/rbg/article/view/2016>. Acesso em: 06 fev. 2025.

IBGE. **Município de Cajueiro da Praia**. Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pi/cajueiro-da-praia.html>. Acesso em: 19 fev. 2025.

ICMBIO. **Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Brasília, 2020.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2203-2210.

LAL, R. **Degradation and resilience of soils**. Philosophical Transactions of the Royal Society, London, v. 352, p. 997-1010, 1997.

MALCZEWSKI, J. **On the use of weighted linear combination method in GIS: Common and best practice approaches**. Transactions in GIS, 4(1), 5-22. 2000.

MAPBIOMAS. **Coleções MapBiomass: séries históricas de uso e cobertura da terra no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso: 19 fev. 2025.

MARQUES, M. B. O. **O turismo em Barra Grande-PI: características e alternativas para o seu desenvolvimento**. Seminários do LEG, n. 10, 2019.

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. **Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP**. Revista do Departamento de Geografia – Usp, São Paulo, v. 24, p. 57- 79, ago. 2012.

MEIRELES, A. J. A.; CAMPOS, A. A. **Componentes geomorfológicos, funções e serviços ambientais de complexos estuarinos no nordeste do Brasil**. Revista da ANPEGE, v. 6, n. 06, p. 89-107, 2010.

RADAMBRASIL. SA.23 São Luís e parte da folha SA 24 Fortaleza: **Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Ministério das Minas e Energia. Levantamento de Recursos Naturais v. 25. Rio de Janeiro. 639 p. 1973.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 8, 1994

ROSS, J. L. S.; CUNICO, C.; LOHMANN, M. **Geomorphology applied to spatial planning projects**. William Morris Davis-Revista de Geomorfologia, v. 3, n. 2, p. 1-20, 2022.

SILVA, C. H. S.; LIMA, I. M. de M. F. **Falésia de Cajueiro da Praia: testemunho da dinâmica da costa piauiense**. Revista de Geociências do Nordeste, v. 5, p. 30-41, 2019.

SPÖRL, C. Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. São Paulo, 1v. **Dissertação** (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2001.

STEPINSKI, T. F.; JASIEWICZ, J. **Geomorphons - a new approach to classification of landforms**. Geomorphometry. National Science Foundation, 2011.

SOUSA, R. S.; ROCHA, G. C. **Análise integrada e fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio Camurupim, litoral do Piauí**. Geofronter, v. 10, p. e8890-e8890, 2024.

SOUZA, M. M.; COSTA, L. H. da; CARVALHO, D. A. S. de. **Utilização de ferramentas de geoprocessamento para mapear as fragilidades ambientais na área de influência direta da UHE de Belo Monte, no estado do Pará**. Espaço Plural, São Paulo, n. 25, p.73-85, ago. 2011 Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/espacoplural/article/view/5683>

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, FIBGE/SUPREN, 1977.

Contribuições de autoria

1 – Mateus dos Santos

Doutorado em Geografia (Geografia Humana) pela Universidade de São Paulo
<https://orcid.org/0000-0001-9272-2040> • spironello@gmail.com
Contribuição: Escrita - primeira redação

2 – Valdira de Caldas Brito Vieira

Graduação em Licenciatura em Geografia pela Universidade Federal de Pelotas
<https://orcid.org/0000-0003-1764-4227> • gianecelente@hotmail.com
Contribuição: Escrita - primeira redação

3 – Edvania Gomes de Assis Silva

Doutorado em Educação pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos
<https://orcid.org/0000-0002-6106-4150> • li.gi.c@hotmail.com
Contribuição: Escrita - primeira redação

4 – Francisco Pereira da Silva Filho

Doutorado em Educação pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos
<https://orcid.org/0000-0002-6106-4150> • li.gi.c@hotmail.com
Contribuição: Escrita - primeira redação

Como citar este artigo

SANTOS, M.; VIEIRA, V. C. B.; SILVA, E. G. A.; SILVA FILHO, F. P. Análise da vulnerabilidade ambiental frente ao turismo em Cajueiro da Praia (PI): uma abordagem empírica. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 30, e94035, 2026. Disponível em: 10.5902/2236499494035. Acesso em: dia mês abreviado. ano.