

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CAMURUPIM, LITORAL DO PIAUÍ**

INTEGRATED ANALYSIS AND POTENTIAL ENVIRONMENTAL FRAGILITY
OF THE CAMURUPIM RIVER BASIN, COAST OF PIAUÍ

INTEGRATED ANALYSIS AND POTENTIAL ENVIRONMENTAL FRAGILITY
OF THE CAMURUPIM RIVER BASIN, COAST OF PIAUÍ

Roneide dos Santos Sousa¹
Glairton Cardoso Rocha²

Resumo: O presente artigo teve por objetivo analisar a fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio Camurupim, localizada no norte do estado do Piauí. A metodologia baseou-se no método estabelecido por Ross (1994; 2012), revisão de literatura, atividade de campo, processamento digital de imagens e análise espacial. O índice de Fragilidade ambiental potencial (FAP) foi obtido a partir da integração das características do relevo, da geologia, dos solos e do clima, por meio da técnica de álgebra de mapas em ambiente SIG. Os resultados demonstraram que para o mapa da FAP que analisou a integração dos condicionantes físico-naturais da paisagem obteve-se as classes muito baixa (2,07%), baixa (6,62%), média (15,32%) alta (28,41%) e muito alta (47,58%), revelando a alta fragilidade ambiental potencial da bacia. Conclui-se que a BHRC apresenta mais de 75% de áreas consideradas frágeis quanto aos processos erosivos e atividades antrópicas, sendo importante o monitoramento contínuo da área, a fim de evitar impactos que comprometam a capacidade de suporte dos sistemas ambientais.

Palavras-chave: Estudos Integrados; Paisagem; Álgebra de mapas; Bacia Hidrográfica.

Abstract: The present article aimed to analyze the potential environmental fragility of the Camurupim River Watershed, located in the northern region of the state of Piauí. The methodology was based on the method established by Ross (1994; 2012), literature review, fieldwork, digital image processing, and spatial analysis. The potential Environmental Fragility Index (EFI) was obtained by integrating the characteristics of relief, geology, soils, and climate, using map algebra techniques in a GIS environment. The results showed that for the EFI map, which analyzed the integration of the physical-natural determinants of the landscape, the classes obtained were very low (2.07%), low

¹ Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (2019). Professora Ajunta do Curso de Geografia (CGEO/CCHL) da Universidade Federal do Piauí. Email: roneide.sousa@ufpi.edu.br. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/7650255220053901>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-6850-573X>.

² Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista - UNESP - Rio Claro (2015). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). Docente permanente do Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial (IFPI). Email: glairtongeo@ifpi.edu.br Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/1470302147842355> Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-1706-7338>.

(6.62%), medium (15.32%), high (28.41%), and very high (47.58%), revealing the high potential environmental fragility of the watershed. It is concluded that the Camurupim River Watershed presents over 75% of areas considered fragile regarding erosive processes and anthropic activities, highlighting the importance of continuous monitoring of the area to prevent impacts that may compromise the environmental systems' carrying capacity.

Keywords: Integrated Studies; Landscape; Map Algebra; Watershed.

Resumen: El presente artículo tuvo por objetivo analizar la fragilidad ambiental potencial de la cuenca hidrográfica del río Camurupim, ubicada en el norte del estado de Piauí. La metodología se basó en el método establecido por Ross (1994; 2012), revisión de literatura, actividad de campo, procesamiento digital de imágenes y análisis espacial. El índice de fragilidad ambiental potencial (FAP) se obtuvo a partir de la integración de las características del relieve, la geología, los suelos y el clima, mediante la técnica de álgebra de mapas en ambiente SIG. Los resultados demostraron que para el mapa de FAP que analizó la integración de los condicionantes físico-naturales del paisaje se obtuvieron las clases muy baja (2,07%), baja (6,62%), media (15,32%), alta (28,41%) y muy alta (47,58%), revelando la alta fragilidad ambiental potencial de la cuenca. Se concluye que la BHRC presenta más de 75% de áreas consideradas frágiles en cuanto a los procesos erosivos y actividades antrópicas, siendo importante el monitoreo continuo del área, con el fin de evitar impactos que comprometan la capacidad de soporte de los sistemas ambientales.

Palabras clave: Estudios Integrados; Paisaje; Álgebra de mapas; Cuenca Hidrográfica.

Introdução

Entender as interferências antrópicas nas diferentes paisagens do espaço geográfico nos últimos anos tem sido a preocupação de diversos pesquisadores, em função dos impactos ambientais gerados, sobretudo pela exploração crescente dos recursos naturais, devido à incompatibilidade das atividades econômicas, gerando implicações socioambientais.

É imprescindível que as unidades de paisagem sejam analisadas a partir da ótica geossistêmica, integrando as sociedades humanas como parte fundamental, visto que as progressivas ações antrópicas nos diferentes componentes físico-naturais afetam, cada vez mais, a funcionalidade do sistema e provocam degradação ambiental, superior à capacidade de suporte dos sistemas ambientais e, muitas vezes, irreversível.

Neste contexto, é prioritário que as atividades humanas sejam compatíveis com as potencialidades e fragilidades dos ambientes naturais (Ross, 1994; Ross; Fierz, 2017). As potencialidades dizem respeito às possibilidades de uso produtivo, conforme o recurso tecnológico atual, e a fragilidade exige que os conhecimentos setorializados das unidades

de paisagem sejam analisados de forma integrada, reconhecendo as relações de interdependência entre eles (Ross et al., 2022).

A dinâmica das paisagens, a partir da conversão de ambientes naturais em áreas antropizadas, somada à falta de planejamento e fiscalização dos órgãos responsáveis, tem colocado em risco a qualidade dos ecossistemas e de áreas protegidas presentes no território nacional (Cavalcanti et al., 2022), sobretudo no estado do Piauí.

Ross (1994) afirma que as condições genéticas dos elementos naturais das paisagens determinam suas fragilidades naturais frente às intervenções antrópicas. Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2011) definem paisagem como sendo um conjunto inter-relacionado de formações naturais e antropizadas, no qual possuem estruturas (forma e arranjo espacial), dinâmica e processo evolutivo próprio. Ainda segundo os autores, a paisagem natural é sinônimo de geossistema, considerada uma categoria de sistemas abertos, dinâmicos e hierarquicamente organizados.

A análise da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados tem uma importância fundamental como ferramenta de gestão e ordenamento territorial (Santos; Marchioro, 2020) e possibilita, de forma integrada, a construção de cenários físico-ambientais úteis à tomada de decisão.

A aplicação das geotecnologias, a partir da elaboração de produtos cartográficos relacionados com a fragilidade do ambiente, difunde-se nas pesquisas geográficas, uma vez que configuram um conjunto de ferramentas eficientes para a gestão territorial e promoção da qualidade da paisagem (Novo, 1998; Fitz, 2008). Dessa forma, as inferências geográficas tornaram-se importantes na análise de variáveis geoambientais para tomada de decisão (Câmara et al., 2001).

A avaliação da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas é uma importante ferramenta no auxílio ao planejamento e intervenção para a produção sustentável e conservação ambiental, especialmente quando se trata de bacias costeiras, onde apresenta, entre suas unidades de paisagem, áreas naturalmente frágeis às intervenções humanas, a citar bosques de manguezais, apicuns, planícies de inundação e estuário (Sousa, 2019).

A adoção do recorte espacial de bacias hidrográficas nos estudos geográficos, sobretudo nas análises ambientais, é consolidada entre os pesquisadores, por permitir a análise integrada dos elementos físico-naturais e humanos (Guerra, 1978; Tucci, 1997;

Christofolletti, 1980; 1999; Tundisi, 2003; Rodríguez et al., 2011) e por considerarem unidade sistêmica e complexa, com intensas trocas de energia e matéria.

A bacia hidrográfica constitui um sistema natural equilibrado, onde as alterações antrópicas podem comprometer sua fragilidade (Christofolletti, 1980). É considerada, segundo a Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, como unidade territorial para fins de planejamento da gestão hídrica do Brasil (BRASIL, 1997), sendo tida, no âmbito do planejamento territorial, como a unidade básica de análise para o desenvolvimento de ações e medidas estruturais e não estruturais com a perspectiva de integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental (Carvalho, 2020).

Esta pesquisa trata da compreensão da fragilidade ambiental potencial da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Camurupim (BHRC), localizada no norte do estado do Piauí. A escolha desse recorte justifica-se pela necessidade de ampliação de estudos com recortes para bacias hidrográficas no litoral piauiense, por abranger um complexo estuarino com elevada diversidade de funções e serviços ambientais e por ser uma área em constante fragmentação dos padrões espaciais e da estrutura da paisagem (Amorim, Sousa; Piroli, 2021), a citar a introdução de diques para construção de piscinas para carcinicultura, mineração e desmatamento para ocupação, agricultura de subsistência e áreas de pastos, o que provoca impactos significativos e altera os fluxos de energia e matéria dos sistemas ambientais (Mereiles; Campos, 2012; Sousa, 2019).

A pesquisa teve por objetivo analisar a fragilidade ambiental potencial da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Camurupim, localizada no norte do estado do Piauí, com base no método prescrito por Ross (1994; 2012), a fim de determinar os diferentes níveis de fragilidade a processos de degradação. A análise da fragilidade ambiental potencial da BHRC propicia o diagnóstico das diferentes classes de fragilidade dos sistemas naturais, além de constituir-se em importante instrumento no processo de planejamento ambiental, útil para tomada de decisão.

Material e Métodos

Área de Estudo

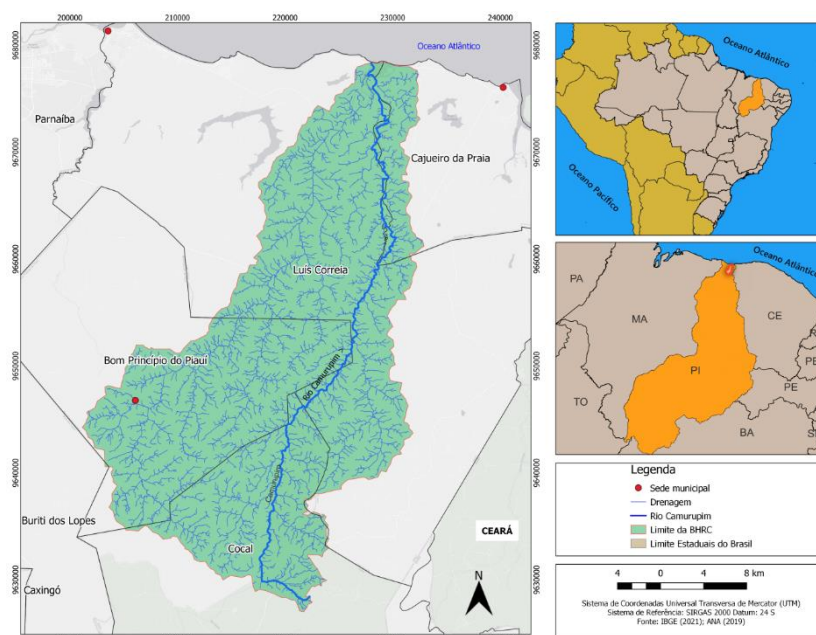
A Bacia Hidrográfica do Rio Camurupim (BHRC), está localizada na região litorânea do Baixo Curso do Rio Parnaíba, é uma das seis sub-bacias costeiras do litoral piauiense (Lima, 2020). Com aproximadamente 820 km² de área a BHRC compreende

parte do território dos municípios de Luís Correia, Cajueiro da Praia, Bom Princípio do Piauí e Cocal (Figura 1). A área da bacia possui altitude que varia de 1m (jusante) a mais de 250 metros (montante).

A BHRC apresenta unidades de paisagem em seu baixo curso, tais como estuários, faixas de praia, dunas móveis e planícies fluviomarinhas, esta última contendo as subunidades dos bosques de manguezais, apicuns e salgados. Esses sistemas ambientais apresentam uma alta vulnerabilidade ambiental natural às ações antrópicas (Sousa, 2019).

A região onde se localiza a bacia possui um tipo climático semiárido, conforme a classificação climática do estado do Piauí, baseada em Thornthwaite (1948), caracterizada por baixa amplitude térmica anual, com precipitação e temperatura anual variando de 1.200 a 1.400 mm e de 28°C a 30°C, respectivamente (Andrade Junior et al., 2004).

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Camurupim (BHRC)

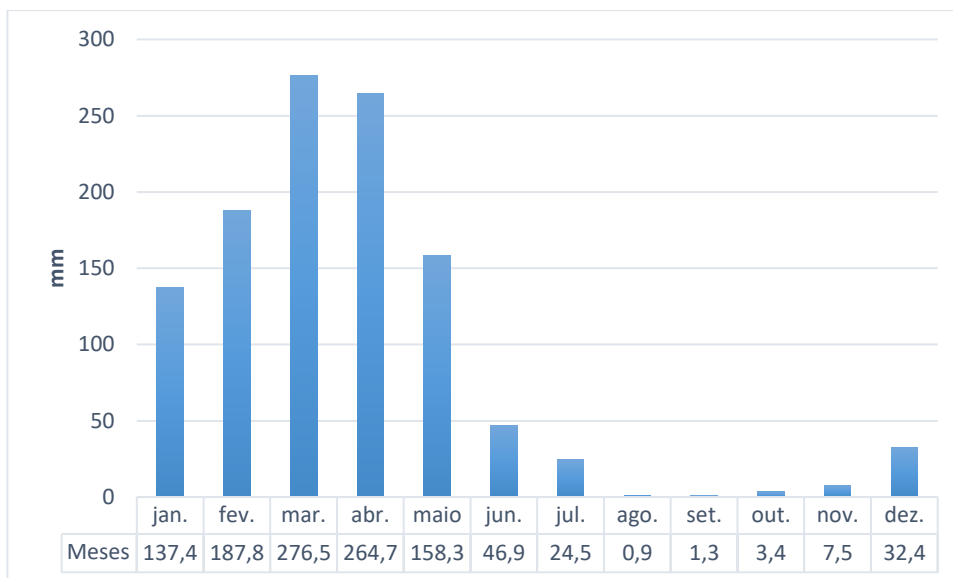


Fonte: Autores (2023)

Com base nos dados da média anual de precipitação (1981-2020) obtidos pelo *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Stations (CHIRPS)* para a área da BHRC, observa-se o padrão das chuvas, com concentração do período chuvoso de dezembro a maio e período seco de agosto a novembro. Silva et al. (2020) destacam a

capacidade do CHIRPS em reproduzir com precisão a variabilidade sazonal da precipitação (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição média anual da precipitação da área da BHRC (1981 a 2020)



Fonte: adaptado de CHIRPS

A base geológica predomina a estrutura sedimentar, com destaque para os Depósitos fluviomarinhos, Aluviões holocênicos, Grupo Barreira, Grupo Serra Grande e Coberturas Detrito Laterítica, e em menor proporção a estrutura cristalina correspondendo a unidade Suíte intrusiva de Chaval e ao complexo Granja (Lima; Brandão, 2010; IBGE, 2019).

Quanto as formas de relevo predominam superfícies planas a onduladas, as áreas com maiores altitudes correspondem a montante da bacia, caracterizadas por serras baixas, com 150m a 300m de altitude. Dentre as unidades de relevo tem-se a faixa de praia, planície fluviomarinha, planície fluvial, tabuleiros litorâneos, serras baixas e superfícies aplainadas e dissecadas de Chaval (Sousa, 2019). Quanto aos tipos de solos apresentam-se associação de solos com alta e muito alta fragilidade aos processos erosivos, a citar os Neossolo Quartzarênico, Gleissolo Sálico, Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Planossolos e os Neossolos Litólicos (IBGE, 2019).

Os biomas arbóreos são reconhecidos na área, com a predominância da Caatinga arbustiva, e áreas de contato com a vegetação típica de Cerrado, carnaubais e na região litorânea têm-se as restingas. Quanto aos recursos hídricos apresenta-se como principais

cursos d'águas o rio Camurupim e o rio Cardoso, onde juntos formam uma única foz que desemboca no Oceano Atlântico, entre os municípios de Luís Correia e Cajueiro da Praia, no estado do Piauí. Seus principais afluentes são relevantes como recurso natural e abastecem as comunidades locais.

Quanto às formas de uso e ocupação da terra, caracteriza-se a BHRC como sendo essencialmente rural, dentre as principais atividades econômicas destacam-se a agropecuária, mesclando atividades de agricultura de subsistência e criação de bovinos e caprinos. Na área da bacia situa-se a sede do município de Bom Princípio do Piauí, que apresenta um baixo contingente populacional estimado em 5.636 habitantes (IBGE, 2022).

No baixo curso predominam atividades voltadas à produção de camarão (carcinicultura), pesca tradicional, mineração e ao turismo. A BHRC está parcialmente inserida na unidade de conservação da Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba, cobrindo na área de estudo, a foz, a planície fluviomarinha e parte dos tabuleiros costeiros recobertos por sedimentos quaternários (Brasil, 1996), a mesma é de uso sustentável dos recursos naturais (ICMBIO, 2020).

Procedimentos metodológicos

A pesquisa foi dividida em três etapas: na primeira foram realizadas as pesquisas bibliográficas, principalmente em periódicos científicos, sobre a temática e aquisição de dados cartográficos. A segunda etapa correspondeu aos levantamentos de campo, com o propósito de verificar *in loco* as características físico-naturais e antrópicos da área de estudo, nessa etapa, fez-se uso de câmera fotográfica e do GPS *Garmin* para coleta de pontos de coordenadas geográficas. A terceira etapa consistiu na elaboração dos mapas temáticos e na modelagem para determinar a Fragilidade Ambiental Potencial para a BHRC, com base na proposta de Ross (1994; 2012) e literatura especializada.

Realizou-se a estruturação e organização de um Banco de Dados Geográficos (BDG), em ambiente SIG. Os dados geográficos (vetores e raster) foram obtidos de forma gratuita, por meio de órgãos oficiais (ANA, IBGE, CPRM, MAPBIOMAS, IPEF, EMBRAPA, INPE), em seguida, foram analisados, processados e refinados de forma combinada no *software* QGIS versão 3.22.9 e ArcGIS PRO (licença gratuita). O referencial geodésico utilizado na elaboração dos mapas temáticos foi o SIRGAS 2000,

e o sistema de projeção Universal Transversa Mercator (UTM) para a zona 24S. Para os diferentes planos de informação (PIs) adotou-se a escala de 1:200.000.

Conforme Ross (1994; 2012) para cada critério foram estabelecidos pesos das classes de fragilidade ambiental, de acordo com a avaliação técnica de suas características: 1 (Muito Baixa), 2 (Baixa), 3 (Média), 4 (Alta) e 5 (Muito Alta).

No quadro 1 é apresentado as descrições das classes de fragilidade de acordo com os respectivos pesos. A ponderação dos níveis de fragilidade para cada tema relaciona-se à resistência aos processos erosivos, sedimentação e risco de degradação, considerando características individuais de cada critério e dos fatores externos que podem influenciar na sua maior ou menor fragilidade.

Quadro 1- Classes de fragilidade e seus respectivos pesos e descrições

Classes	Pesos	Descrição das classes
Muito Baixa	1	Alto potencial de resiliência e equilíbrio dinâmico.
Baixa	2	Apresenta condições morfodinâmicas estáveis na paisagem
Média	3	Apresenta fragilidade em transição das classes inferiores para as superiores; uma categoria de alerta para os riscos de degradação ambiental. Têm restrições moderadas ao uso de recursos naturais e ao uso antrópico.
Alta	4	Apresenta alta restrição ao uso de recursos naturais e uso da terra, exige avaliações cuidadosas para a implementação de qualquer empreendimento ou intervenção antrópica, a fim de minimizar o impacto ou priorizar a conservação ou proteção.
Muito Alta	5	Apresenta áreas instáveis, com extrema sensibilidade ambiental. Têm restrições severas para o uso dos recursos naturais e do uso da terra. São áreas de relevante interesse para a conservação florestal e da biodiversidade.

Fonte: França e Mucida (2022).

Os pesos atribuídos para fragilidade ambiental dos critérios de cada camada foram implementados de acordo com fundamentação técnica e baseado na literatura especializada para cada tema: Geologia, Solos, Clima e Relevo.

Variável Geologia

Os dados de geologia em formato vetorial, foram adquiridos no banco de dados e informações espaciais (BDiA) do IBGE, com adaptação para a escala de 1:200.000. A área de estudo é representada pelas seguintes classes: Depósitos litorâneos, depósitos costeiros, depósitos de pântanos e mangues, depósitos fluviomarinhas, depósitos aluvionares, Serra Grande, Cobertura Detrítica Laterítica, Grupo Barreiras, Granja e Suíte intrusiva de Chaval, que foram hierarquizados em graus de Baixa a Muito Alta (Quadro

2). A definição das classes e graus de fragilidade para o mapa de geologia se basearam em Ross (1994; 2012) e Franco et al., (2012).

Quadro 2 - Classes de fragilidade para geologia da BHRC

Peso	Classes de fragilidade	Geologia
2	Baixa	Suíte Intrusiva de Chaval Granja
3	Média	Grupo Barreiras
4	Alta	Cobertura Detrítica Laterítica Serra Grande
5	Muito Alta	Depósitos litorâneos
		Depósitos eólicos costeiros
		Depósitos de pântanos de mangues
		Depósitos fluviomarinhos
		Depósitos aluvionares

Fonte: adaptado de Ross (1994; 2012), Franco et al (2012)

Variável Solos

Os dados de solos em formato vetorial, foram adquiridos no banco de dados e informações espaciais (BDiA) do IBGE, que tem por base mapeamentos pré-existentes do Projeto RADAMBRASIL, com adaptação para a escala de 1:200.000. A caracterização levou em consideração levantamentos pedológicos realizados na área (Cabral et al., 2019; Valladares et al., 2019; Cabral, Valadares; Aquino, 2020) e as diretrizes do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013).

A área de estudo é representada pelas seguintes classes de solos: Argissolo Amarelo Distrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, Neossolo Litólico Distrófico, Neossolo Quartzarênico Órtico, Planossolo Háptico Eutrófico e os Gleissolos Sálco Sódico que foram hierarquizados em 2 classes de fragilidade Alta e Muito Alta (Quadro 3).

Quadro 3 - Classes de fragilidade para solos da BHRC

Peso	Classes de fragilidade	Classes de Solos	Textura
4	Alta	Argissolo Amarelo Distrófico	Arenosa/média
		Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	Arenosa/argilosa e arenosa/média
5	Muito Alta	Neossolo Litólico Distrófico	Arenosa/Média
		Neossolo Quartzarênico Órtico	Arenosa
		Planossolo Háptico Eutrófico	Arenosa/argilosa e arenosa/média
		Gleissolos Sálco Sódico	Indiscriminada

Fonte: Adaptado de Ross e Fierz (2017)

Variável Clima

Os dados de clima levaram em consideração o mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil (Alvares et al. 2014), do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais-IPEF, disponível em formato *raster* em (<http://www.ipef.br/geodatabase/>). Os tipos climáticos de Köppen são simbolizados por dois ou três caracteres, onde o primeiro indica a zona climática e é definido pela temperatura e precipitação, o segundo considera a distribuição das chuvas e o terceiro é a variação sazonal da temperatura (Alvares et al., 2014).

A classificação estabelece para a região da BHRC o clima tropical (As) quente e úmido com chuvas de inverno, com distribuição desigual da precipitação com período seco entre 3 e 6 meses, conforme o quadro 4.

Quadro 4 - Clima e comportamento pluviométrico da região da BHRC

Classes de clima	Situação da Precipitação Pluviométrica	Fragilidade
As	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	Alta

Fonte: adaptado de Massa e Ross (2012)

Variável Relevo

A variável relevo levou em consideração a identificação das formas de relevo a partir dos *Geomorphons*, conforme Jasiewicz; Stepinski, (2013) e Gouveia e Ross (2019) e o Índice de Dissecção do relevo (IDR), conforme Guimarães et al., (2017). Para a classificação automatizada do relevo da BHRC foi utilizado o MDE TOPODATA com resolução espacial de 30m, obtido na Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE (DSR, 2020).

Para o mapa das formas de relevo a partir do *Geomorphos*, utilizou-se o programa SAGA GIS, para a classificação automatizada (Amorim; Capoane, 2022). O módulo delinea 10 unidades de relevo mais comumente encontradas (plano, pico, crista, ressalto, crista secundária, encosta, fosso, vale, base de encosta, e escavado), aplicando um algoritmo de reconhecimento padrão que se baseia em um raio de busca de vizinhança local a partir de um ponto focal central (Jasiewicz; Stepinski, 2013). Os pesos obtidos para os *Geomorphons* levaram em consideração Gouveia e Ross (2019) (Quadro 5).

Quadro 5 - Classes de fragilidade para as formas de relevo Geomorphos da BHRC

Peso	Classes de fragilidade	Geomorphos
1	Muito Baixa	-
2	Baixa	Topos – picos (2), cristas (3), ressalto (4) e cristas secundárias (5)
3	Média	Vertentes convexas e plano convexas – encostas (6)
4	Alta	Planície fluviomarinha – Plano (1)
5	Muito Alta	Vertentes côncava e plano-concavas -bases das encostas (9) e escavados (10) Planície Fluvial – fossos (7) e vales (8)

Fonte: adaptado de Gouveia e Ross (2019)

Já o mapa do Índice de Dissecção do Relevo (IDR) corresponde a análise morfométrica e morfológica entre o grau de entalhamento do vale e a dimensão interfluvial média. O IDR é classificado hierarquicamente em muito fraca, fraca, média, forte e muito forte para fins de fragilidade ambiental (Guimarães et al. 2017; Souza et al., 2020) (Tabela 1). Para a BHRC obteve-se 2 classes forte e muito forte.

Tabela 1 - Classes de Fragilidade com base no IDR

Classe de Fragilidade	Matriz
Muito fraca	11
Fraca	21, 22, 12
Média	31, 32, 33, 13, 23
Forte	41, 42, 43, 44, 14, 24, 34
Muito forte	51, 52, 53, 54, 55, 15, 25, 35, 45

Fonte: adaptado de Ross e Fierz (2017).

Procedimento operacional para a análise da Fragilidade Ambiental Potencial

O mapa de Fragilidade Ambiental Potencial foi organizado por meio da combinação dos planos de informação (método *booleano*), onde foram reclassificados e atribuídos os pesos para cada classe, posteriormente procederam-se com a conversão de dados vetoriais, mapas bases, em formato matricial (*raster*), com tamanho de célula de 30 m. Em seguida, por meio de Álgebra de Mapas, foi utilizada a ferramenta *raster calculator* do ArcGIS para o desenvolvimento da operação.

A determinação da fragilidade ambiental potencial (FAP) foi realizada utilizando a seguinte equação:

$$(Eq.1) \quad FAP = ([G] + [S] + [C] + [R] + [IDR]) / 5$$

Onde: FAP: fragilidade ambiental potencial; G: fragilidade das classes de geologia; S: fragilidade das classes de solos; C: fragilidade das classes de Clima; R: fragilidade das classes das formas de relevo; IDR: fragilidade do índice de dissecção do relevo;

A partir da integração dos planos de informação do meio físico-natural foi gerado o mapa de fragilidade ambiental potencial (FAP) para a BHRC, nos quais foram atribuídos parâmetros de classes de muito baixa a muito alta, conforme Ross (1994; 2012), além de pesos para cada variável analisada, e consulta à literatura especializada.

Resultados e Discussão

Fragilidade das unidades de paisagem

A determinação da FAP levou em consideração, inicialmente, a caracterização setorizada das unidades de paisagem a fim de avaliar suas potencialidades e fragilidades e, em seguida, a análise integrada das variáveis físico-naturais, reconhecendo que os mesmos são interdependentes e estão em equilíbrio dinâmico.

Para a variável geologia as unidades foram ponderadas em classes de Baixa a Muito Alta Fragilidade Ambiental Potencial aos processos erosivos. Assim, os Depósitos litorâneos (correspondente à faixa de praia), os Depósitos eólicos costeiros (dunas móveis), os Depósitos de pântanos e mangues e os Depósitos fluviomarinhas correspondem às áreas que sofrem com inundações periódicas e submetidas diariamente as oscilações de maré e, por fim, os Depósitos aluvionares, correspondendo as planícies de inundação, foram admitidos como de Fragilidade Ambiental Potencial Alta aos processos morfogenéticos.

Segundo Cavalcanti et al., (2022) a morfologia típica de planícies sedimentares relacionada ao sistema fluvial, geralmente constituídos por sedimentos arenosos e argilosos, são mutáveis devido a erosão fluvial, principalmente quando não há cobertura vegetal. Ainda segundo os autores, os depósitos fluviomarinhas, são derivados da ação combinada dos processos fluviais e marinhos, constituindo-se de argila, areia e cascalho inconsolidados e semiconsolidados, apresentando baixos níveis de consolidação sendo exposto a erosão.

Para a classe Alta da FAP foram ponderados as coberturas Detrítica Laterítica e os sedimentos do Grupo Serra Grande. Na classe de média Fragilidade Ambiental Potencial foram admitidos os sedimentos do Grupo Barreiras, levando em consideração a presença de sedimentos grossos e inconsolidados, predominância de fácies areno-argilosa e com agregados mais friáveis. Na classe Baixa teve-se a Suíte intrusiva de Chaval e o complexo Granja, correspondendo ao embasamento cristalino da área de

estudo e considerado por Franco et al. (2012) de baixa fragilidade ambiental em comparação aos sedimentos do Grupo Barreiras.

No critério de solos, as classes foram ponderadas em Alta e Muito Alta aos processos erosivos, dessa maneira a classificação das classes levaram em consideração pesquisas e levantamentos de solos na área de estudo. Atribui-se classe Alta para os Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico, os Planossolo Háptico e os Gleissolos Sáfico, já para a classe alta tem-se os Argissolo amarelo e os Argissolo vermelho-amarelo. Os pesos foram adotados levando-se em consideração suas características naturais de inundação, potencial de retenção de água, escoamento superficial e coesão entre as partículas e interações com a paisagem.

Quanto ao critério do Clima obteve-se a fragilidade Alta, caracterizado por Massa e Ross (2012) quanto a situação pluviométrica que apresenta distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses e alta concentração das chuvas no verão, entre dezembro a março, e concentração do período chuvoso entre novembro e abril, sendo que no verão concentra-se os eventos de maiores intensidades. A precipitação da área de estudo, nos períodos chuvosos, atinge uma média de 276,5 mm e nos períodos mais secos apresenta uma média de 0,9 mm. Quanto maior a intensidade pluviométrica maior a perda de solo pela erosividade da chuva.

O relevo foi determinado utilizando-se parâmetros morfológicos (elementos de formas do relevo – 5º táxon) a partir da classificação automatizada das formas de relevo (*geomorphons*) e através do índice de dissecação do relevo (IDR). Para a área da BHRC obteve-se, quanto as formas de relevo, as classes de Baixa a Muito Alta. A FAP baixa representou os *geomorphons* 2 (topos), 3 (cristas), 4 (ressalto), 5 (cristas secundárias), configurando-se as serras e mesas com topo plano e com cobertura vegetal significativa o que atenua os processos erosivos; a classe média, foi atribuído ao *geomorphons* 6 (vertentes convexas e plano convexas e encostas).

Já a FAP Alta ao *geomorphos* 1 (plano) correspondendo a planície fluviomarinha; a FAP Muito Alta atribui-se aos *geomorphons* 7 (fossos) 8 (vales), 9 (vertentes côncavas e plano côncava – bases de encostas). Para o IDR obteve-se duas classes de fragilidade: Alta e Muito Alta, representando densidade e dimensão interfluvial dos canais de drenagem, conforme Ross (1994). Gouveia e Ross (2019) afirmam, ainda, que a

classificação automatizada do relevo implica na redução do tempo de trabalho e na subjetividade da interpretação visual das formas.

Fragilidade Ambiental Potencial da bacia hidrográfica do Rio Camurupim

O mapeamento da Fragilidade Ambiental Potencial (FAP) evidencia a influência do relevo como um importante fator de condicionamento da fragilidade, destacando os vales, as áreas inundáveis e úmidas da bacia, como as planícies fluviomarinhas e fluviais. Segundo Santos e Marchioro (2020), a determinação da FAP pode indicar o equilíbrio dinâmico natural sem a intervenção humana. Os autores observam que predominam os processos pedogenéticos para as classes muito baixa e baixa, e os processos morfogenéticos para as classes alta e muito alta. A FAP é entendida como a estabilidade do meio físico-natural em relação às suas condições naturais, enquanto sistema aberto.

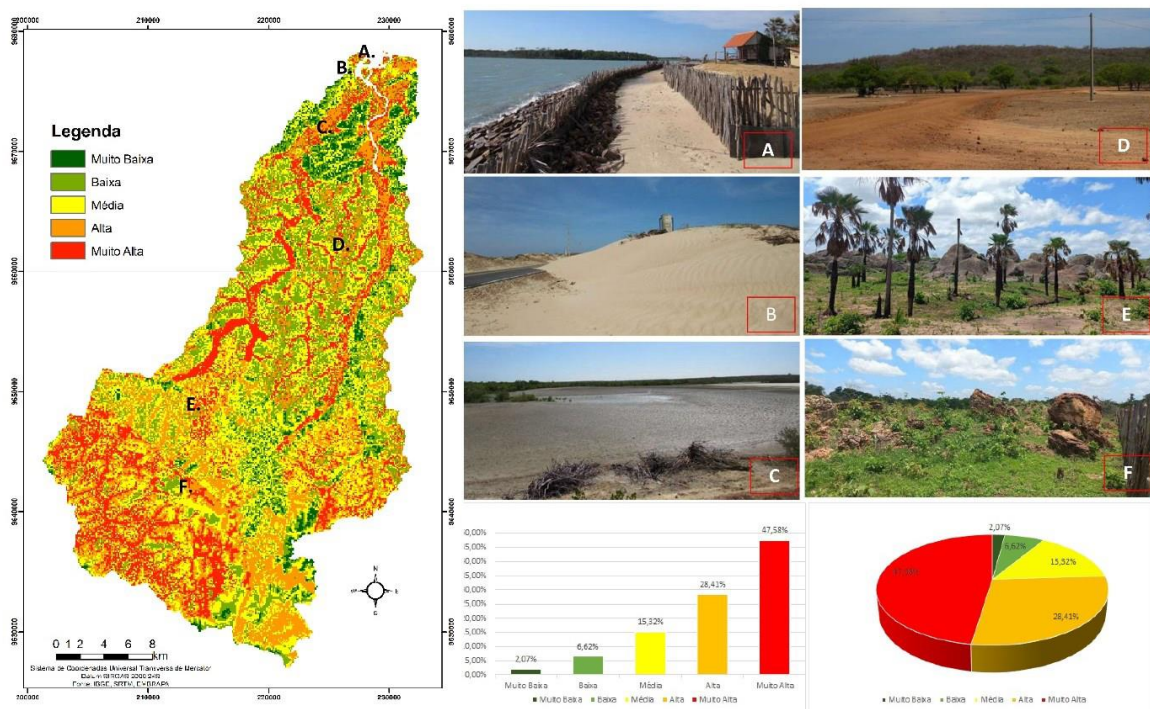
O mapeamento das classes de fragilidade permite compreender as interações dinâmicas que atuam sobre o sistema natural da bacia hidrográfica do rio Camurupim e, assim, reconhecer as limitações do uso da terra, visando à proteção ambiental das áreas mais vulneráveis. A determinação espacial da FAP, que analisou a integração dos condicionantes da paisagem, resultou nas seguintes classes: muito baixa (2,07%), baixa (6,62%), média (15,32%), alta (28,41%) e muito alta (47,58%) (figura 3). Predomina a alta fragilidade natural da bacia aos processos de degradação e inserção de atividades socioeconômicas que possam desestabilizar o sistema ambiental.

Na figura 3a é possível verificar a área da foz do rio Camurupim com intervenções humanas na costa, em virtude do processo de erosão costeira. A figura 3b representa uma paisagem dominada por campos de dunas móveis, onde ocorre a mobilização natural dos sedimentos inconsolidados de areia, observa-se também o transporte desse material sob as vias de acesso. A figura 3c, tem-se a planície salina de apicum e no segundo plano o bosque de manguezais, trata-se de uma área com constante ou periódica saturação por água, e forte gleização.

A figura 3d, apresenta uma paisagem típica de propriedade rural, no município de Luís Correia, Piauí, estando inserida em um relevo plano a suave ondulado, ao fundo tem-se a presença de serras baixas vegetadas. Na figura 3e apresenta afloramentos de rochas graníticas, correspondendo as rochas do embasamento cristalino da Suíte intrusiva de Chaval. Por fim, na figura 3f tem-se uma paisagem com coberturas Dendríticas Laterítica,

que em algumas áreas da bacia encontra-se com ausência da cobertura vegetal, sendo utilizado como material de empréstimo.

Figura 3. Fragilidade Ambiental Potencial da bacia hidrográfica do rio Camurupim. Espacialização das paisagens no mapa de fragilidade ambiental potencial da BHRC. a) Estuário do rio Camurupim, com a presença de estacas e rochas de contenção da erosão costeira na praia de Macapá em Luís Correia (LC); b) Dunas ativas com avanço para a rodovia; c) Planície de apicum situado as margens do manguezal em LC; d) Área de solo exposto e relevo plano na comunidade rural de Campos (LC); e) afloramento de rochas graníticas intrusivas em área plana com presença de carnaubal; f) afloramento de rochas Detrítica areníticas na zona rural de LC.



Fonte: Autores (2023).

Foi observado que 75,99% da área da BHRC foi classificada como de Fragilidade Ambiental Potencial Alta e Muito Alta, correspondendo principalmente às áreas da planície fluvio-marinha, planícies de inundação dos rios Cardoso/Camurupim e seus afluentes. Segundo Gouveia e Ross (2019), as áreas de planícies de inundação se configuram como de fragilidade alta e muito alta devido à instabilidade do terreno aos riscos de inundação. O relevo nesse setor é pouco dissecado (plano e suave ondulado), correspondendo aos Geomorphons plano (1), fossos (7) e vales (8).

As áreas planas caracterizam um relevo pouco movimentado na bacia hidrográfica, especialmente no baixo curso, predominando na planície costeira, composta por depósitos sedimentares quaternários associados a variações relativas do mar e à planície de inundação. Os vales e fossos se associam aos canais de drenagem mais encaixados no relevo e aos processos fluviais.

Os parâmetros morfológicos permitiram identificar áreas de planícies, evitando a classificação dessas áreas como sem restrições do meio físico (Gouveia; Ross, 2019). Quanto ao IDR apresentou nesses setores a classe 4, forte, que corresponde a morfometria com topos planos e convexos e amplos canais de forte entalhamento ou formas de topos planos ou convexos de pequena dimensão interfluvial e médio entalhamento dos canais (Ross, 2012).

Os solos dessa porção são classificados como Gleissolos, Planossolos e Neossolos Quartzarênicos. Cabral e Valladares (2015) afirmam que, embora localizados em relevo plano, esses solos possuem alta suscetibilidade aos processos erosivos devido ao seu gradiente textural. Gouveia e Ross (2019) e Souza et al. (2020) estabelecem para essas classes de solos os níveis de fragilidade Alta e Muito Alta.

Os Gleissolos Sálidos Sódicos estão presentes na área da planície fluviomarina dos rios Cardoso/Camurupim, sendo encontrados em relevo plano, mas não apresentam potencialidade agrícola devido à presença de lençol freático elevado e ao risco de inundações frequentes. A concentração de sais solúveis no solo é alta, tornando a dessalinização inviável pela proximidade com o mar, sendo recomendados para preservação ambiental (EMBRAPA, 2013).

Em virtude da conexão direta com os cursos d'água, constituem áreas vulneráveis, que devem ser manejadas evitando a poluição e a retirada excessiva de água do sistema (Cabral; Valladares; Aquino, 2020). Estão associadas à atividade de carcinicultura que são implantadas nas proximidades com o ecossistema de Mangue, essas atividades provocam impactos significativos, a citar aterramento e desmatamento da vegetação de mangue, lançamento de efluentes entre outros (Fernandes et al., 2018).

Os Planossolos Háplicos compreendem solos de muito alta fragilidade, estão localizados em área de relevo plano, apresentam minerais, que se caracterizam pela acentuada diferença textural entre o horizonte B plânico e o subjacente. Mostram condições de drenagem, em geral, imperfeita ou má, e permeabilidade muito lenta, que

pode ser responsável pela presença episódica de lençol freático suspenso. Segundo Cabral e Valladares (2015) sua susceptibilidade à erosão é significativa devido ao acentuado gradiente textural e ao fato de a textura do horizonte superficial ser mais leve, o que leva a uma menor retenção de água e nutrientes, uma menor agregação e, portanto, uma resistência mais baixa aos processos erosivos, podendo ser aptos para culturas adaptadas ao eventual excesso de umidade.

Os Neossolos Quartzarênicos estão situados em área de relevo plano e suave ondulado, estão presentes na paisagem nas planícies de deflação eólica e tabuleiros costeiros estes solos possuem baixa fertilidade e retenção natural e disponibilidade de água, são solos com altas taxas de infiltração. Cabral e Valladares (2015), os descrevem como sendo solos arenosos, com elevada permeabilidade, porém apresentam baixa aptidão agrícola, podendo resultar em baixas produtividades, algumas culturas como coqueiros e cajueiros se adaptam bem a estes solos. Na área de estudo estes solos têm sido utilizados como pastagem, material de empréstimo e sendo ocupado de forma desordenada.

Dentre os principais impactos ambientais encontrados no baixo curso da BHRC destacam-se a prática de mineração, aquicultura, desmatamento, aterro inapropriado, caça e pesca irregular, uso agrícola acima da capacidade de suporte do solo, entre outras atividades que levam a degradação ambiental, incluindo a do solo (Valladares et al., 2019).

A geologia dessas áreas está associada aos depósitos costeiros e depósitos aluvionares. Os depósitos costeiros e flúvio-aluviais quaternários, devido ao baixo grau de coesão e alta dinâmica, possuem classe alta e muito alta de fragilidade. Já os baixos graus de fragilidade ambiental referem-se ao alto grau de competências das rochas, muito resistentes ao intemperismo e aos processos erosivos (Souza et al., 2020; Campos et al., 2021).

O alto curso da bacia, também, recebeu o nível de fragilidade alta e muito alta, a área corresponde ao relevo suave ondulado a escarpado, apresenta um conjunto de serras baixas, associada a extensos vales fluviais. Correspondem aos *Geomorphons* de morros com vertentes côncavas e plano-côncavas: bases das encostas (9) e escavados (10). As encostas possuem declividade entre 8% e 20% estando localizadas em áreas de interflúvio dos cursos fluviais, produzindo depósitos coluviais com leques aluviais quaternários.

Junto aos canais de drenagem estão os elementos ligados ao padrão escavado, que indicam áreas convergentes do relevo, geralmente associados a canais de drenagem nas porções mais altas da encosta. Os solos dessa área são os Neossolo Litólico e os Argissolo Amarelo e Argissolo vermelho-amarelo. A geologia da área corresponde aos sedimentos do Grupo Serra Grande, às Coberturas Detrítica Laterítica e afloramentos rochosos da Suíte Intrusiva de Chaval. De acordo com Santos e Sobreira (2008) a forte dissecação do relevo associado a solos rasos tende a apresentar fragilidade alta, sendo agravada com as precipitações elevadas.

Considerações finais

A BHRC apresentou áreas com classe média (15,32%), alta (28,41%) e muito alta (47,58) para o mapeamento da FAP, os dados revelam que a bacia apresenta elementos geoambientais naturalmente frágeis às atividades humanas, tendo para as classes baixa e muito baixa 2,07% e 6,62%, respectivamente. O mapeamento das classes de fragilidade permitiu compreender as dinâmicas que atuam sobre o sistema natural da bacia do rio Camurupim, oferecendo subsídios para a proteção ambiental das áreas mais vulneráveis. A análise espacial da FAP revelou uma predominância de fragilidade alta e muito alta na bacia, sugerindo uma susceptibilidade significativa aos processos de degradação e às atividades socioeconômicas que podem desestabilizar o ambiente.

As intervenções humanas, como evidenciado na área da foz do rio Camurupim, contribuem para a erosão costeira, que é uma ação natural, porém intensificada pelas ocupações em áreas impróprias. Enquanto as paisagens como dunas móveis e planícies de inundação apresentam desafios naturais significativos. A presença de planícies salinas e bosques de manguezais destaca a constante ou periódica saturação por água, exigindo medidas de manejo para evitar danos ambientais. A prática de atividades como mineração, aquicultura e desmatamento agravam ainda mais esses problemas, comprometendo a sustentabilidade ambiental da região.

Por fim, a análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Camurupim ressalta a importância de políticas de gestão ambiental e ordenamento territorial para mitigar os impactos negativos e promover um equilíbrio sustentável entre as atividades humanas e a conservação dos recursos naturais.

Referências

- 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.
- AMORIM, A. E. S.; CAPOANE, V. Classificação automatizada do relevo utilizando a ferramenta Geomorphons: estudo de caso para o município de Campo Grande – MS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 2, p. 750-766, 2022.
- AMORIM, A. T.; SOUSA, J. A. P. DE; PIROLI, E. L. O uso das métricas de ecologia da paisagem para análise dos padrões espaciais da Sub-Bacia hidrográfica do Ribeirão da Boa Vista. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, 2021.
- ANDRADE JUNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. **Atlas Climatológico do Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2004. 151 p. Disponível em: http://www.cpamn.embrapa.br/publicacoes/documentos/2004/doc_101.pdf. Acesso em: 3 jul. 2023.
- BRASIL. **Decreto nº 4.368, de 28 de agosto de 1996**. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba, nos Estados do Piauí, Maranhão, e Ceará, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/Anterior%20a%202000/1996/Dnn4368.htm. Acesso em: 3 jul. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 26 jul. 2022.
- CABRAL, L. J. R. S. et al. Classificação dos solos da Planície do Delta do Parnaíba, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 4, p. 1466-1483, 2019.
- 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.
- CABRAL, L. J. R. S.; VALLADARES, G. Potencialidade agrícola dos solos litorâneos do estado do Piauí. **Anais do XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2015.
- CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; ALMEIDA FILHO, R.; BÖNISCH, S. Técnicas de inferência geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 241-288.

CAMPOS, J. A. et al. Environmental fragility and land use capacity as instruments of environmental planning, Caratinga River basin, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 7, p. 1–13, 2021. DOI: 10.1007/s12665-021-09553-2

CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 42, n. 1, p. 140-161, jan-jun. 2020.

CAVALCANTI, A. et al. Fragilidade ambiental potencial e emergente da bacia do rio Mocajuba – PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, 2022.

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

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sofl/pdf/SC_16263.pdf. Acesso em: 3 jul. 2023.

FERNANDES, R. T. V. et al. Impacto da carcinicultura no manguezal do rio das Conchas, Porto do Mangue, Rio Grande do Norte. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, MG, v. 30, n. 3, p. 64-84, 2018.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

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. Disponível em: https://editorapantanal.com.br/ebooks.php?ebook_id=a-fragilidade-ambiental-da-bacia-hidrografica-do-rio-jequitinhonha-em-minas-gerais&ebook_ano=2022&ebook_caps=0&ebook_org=0. Acesso em: 3 jul. 2023.

FRANCO, G. B. et al. 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**, v. 37, 2019.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

GUIMARÃES, F. S. et al. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 2017. DOI: 10.20502/rbg.v18i1.1163.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa da População**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

ICMBIO. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba**. 2. ed. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2020.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, n. 182, p. 147-156. 2013.

LIMA, I. M.M. F. **Levantamento de dados dos municípios por sub-bacia hidrográfica do rio Parnaíba e do litoral do Piauí**. Relatório final – resumo projeto de pesquisa (2010).

MASSA, Eric Macedo; ROSS, Jurandy Luciano Sanches. 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.; CAMPOS, A. A. Componentes geomorfológicos, funções e serviços ambientais de complexos estuarinos no nordeste do Brasil. **Revista da ANPEGE**, v. 6, 2010 (jan./dez.). Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6580/3580>. Acesso em: 26 de julho de 2022.

NOVO, Evlyn M. L. Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2. ed., 3. reimpr. São Paulo: E. Blücher, 1998.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 2. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2011. 222 p.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, esp.: 38-51, 2012. DOI: 10.7154/RDG.2012.0112.0003.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, 1994. DOI: 10.7154/rdg.1994.0008.0006.

ROSS, J. L. S.; CUNICO, C.; LOHMANN, M.; DEL PRETTE, M. E. (orgs.). **Ordenamento Territorial do Brasil: Potencialidades Naturais e Vulnerabilidades Sociais**. Osasco, SP: Ed. dos Autores, 2022.

ROSS, J. L. S.; FIERZ, M. S. M. Geomorfologia aplicada ao planejamento territorial: potencialidades e fragilidades. In: **Redução do Risco de Desastres e a Resiliência no Meio Rural e Urbano**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise da fragilidade e vulnerabilidade natural dos terrenos aos processos erosivos como base para o ordenamento territorial: o caso das bacias do Corrégo Carioca, Córrego do Bação e Ribeirão Carioca na Região do Alto Rio das Velhas – MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 9, n. 1, 2008.

SANTOS, J. R. U; MARCHIORO, E. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Boas, Espírito Santos, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 39, 2020.

SILVA, E. R. M.; BARBOSA, I. C. C. B.; SILVA, H. J. F.; COSTA, L. G. S.; ROCHA, E. J. P. Análise do desempenho da estimativa de precipitação do Produto CHIRPS para Sub-Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 03, 2020, p. 1094-1105.

SOUSA, R. S. **Zoneamento geocológico do complexo fluviomarinho dos rios Cardoso/Camurupim e porção costeira adjacente, litoral leste piauiense**. 2019. 153 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SOUZA, M. M.; COSTA, L. H.; CARVALHO, D. A. S. 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. 2020.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Paulo: RiMa, IIE, 2003.

VALLADARES et. al. Risco de salinização das terras do delta do Parnaíba (PI). **Anais Saindo da Zona de Conforto: A Interdisciplinaridade das Zonas Costeiras - Tomo VIII da Rede BRASPOR**, 2019.

Recebido em 28 de maio de 2024.

Aceito em 21 de agosto de 2024.

Publicado em 24 de outubro de 2024.