

DIAGNÓSTICO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL EM SERRA SUBÚMIDA DO BIOMA CAATINGA: MUNICÍPIO DE PEREIRO, CEARÁ, BRASIL

PAULA GISELLE FERREIRA PASCOAL

Mestranda em Geografia pela Universidade Federal do Ceará. Fortaleza/CE.

Email: paulapascoal@alu.ufc.br ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2524-3369>

FLÁVIO RODRIGUES DO NASCIMENTO

Prof. do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará e Coordenador Geral de Ações Transversais do Departamento de Combate à Desertificação e Mitigação de Secas-DCDE da Secretaria Nacional de Povos e Comunidades Tradicionais e Desenvolvimento Rural Sustentável - SNPCT-MMA. Fortaleza/CE

Email: flaviogeo@ufc.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7382-6853>

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

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo identificar a Fragilidade Ambiental Potencial do Município de Pereiro, no Ceará, por meio do método de Análise Empírica dos Ambientes Naturais e Antropizados proposto por Ross, 1994. Para isto, foram trabalhados três parâmetros físicos: geomorfologia, solos e pluviometria. Para cada uma destas, o referido autor estabelece uma classe de fragilidade. Estas informações, em formato de shapefile, foram classificadas com seus devidos valores, convertidas por meio de rasterização, e calculadas através da ferramenta calculadora raster do software QGIS versão 3.16.0 with GRASS 7.8.4, obtendo a média aritmética das mesmas. O resultado final mostra o mapa de Fragilidade Ambiental Potencial da área de pesquisa. Foram identificadas três diferentes classes de fragilidade: Média, Forte e Muito Forte. Este estudo serve como subsídio ao planejamento e gestão ambiental no Município de Pereiro, Ceará.

Palavras-chave: Fragilidade potencial; Planejamento ambiental; Geoprocessamento; Município de Pereiro.

POTENTIAL ENVIRONMENTAL FRAGILITY ASSESSMENT IN A SUBHUMID MOUNTAIN RANGE OF THE CAATINGA BIOME: THE MUNICIPALITY OF PEREIRO, CEARÁ, BRAZIL

ABSTRACT

The objective of this research was to identify the Potential Environmental Fragility of the municipality of Pereiro, Ceará, using the Empirical Analysis of Natural and Anthropized Environments method proposed by Ross (1994). To achieve this, three physical parameters were analyzed: geomorphology, soils, and rainfall. For each of these, the aforementioned author establishes a fragility class. This information, in shapefile format, was classified with its respective values, converted via rasterization, and processed using the Raster Calculator tool in QGIS software (version 3.16.0 with GRASS 7.8.4) to obtain the arithmetic mean. The final result presents the Potential Environmental Fragility map of the study area. Three different fragility classes were identified: Medium, Strong, and Very Strong. This study serves as a resource for environmental planning and management in the municipality of Pereiro, Ceará.

Keywords: Potential fragility; Environmental planning; Geoprocessing; Municipality of Pereiro.

INTRODUÇÃO

A natureza apresenta funcionalidade sistêmica, onde as interações e trocas de energia e matéria entre as componentes geoambientais são responsáveis pelo funcionamento dos ambientes, possibilitando que estes funcionem em equilíbrio dinâmico. Estas componentes atuam de maneira interdependente, e ao sofrerem qualquer interferência de

origem natural ou antrópica, apresentam alterações em seu funcionamento. Interferências de origem natural ocorrem por meio dos abalos sísmicos, atividades vulcânicas, processos de deslizamento e movimentos de massa, etc. Enquanto aquelas de origem antrópica são decorrentes da evolução tecnológica e econômica, que progressivamente interferem e alteram os ambientes.

De acordo com Spörl (2001), as interferências ambientais ocorrem quando as atividades humanas (re)produzem o espaço, provocando algum tipo de alteração em razão da exploração dos recursos naturais, sem que haja cuidados com a conservação da natureza. Nascimento (2013), complementa ainda que estas interferências artificializam e desfiguram os ambientes, reduzindo a qualidade ambiental e ocasionando em desequilíbrios ecológicos, o que reflete diretamente na qualidade de vida da população.

Com efeito, faz-se cada vez mais urgente que a interação entre sociedade e natureza ocorra de maneira consciente, equilibrada e sustentável, buscando desta forma, diminuir tais implicações. Portanto, os estudos integrados da paisagem aqui representados pelas análises de fragilidade dos ambientes são entendidos como ferramentas auxiliares na compreensão das dinâmicas ambientais e por conseguinte na identificação da capacidade de resiliência dos ambientes frente às inserções humanas.

Este artigo é resultado de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), que teve como objetivo principal diagnosticar os índices de Fragilidade Ambiental Potencial presentes no Município de Pereiro, Ceará por meio da aplicação do método de Análise Empírica dos Ambientes Naturais e Antropizados proposto por Ross (1994) (Pascoal, 2024). O conceito de Fragilidade Ambiental refere-se à perda do equilíbrio dinâmico e consequentemente a diminuição ou perda total do potencial ecológico dos ambientes. O autor, em sua obra, segmenta o conceito em Fragilidade Ambiental Potencial (FAP), o qual foi o foco de pesquisa, e Fragilidade Ambiental Emergente (FAE).

Segundo Kawakubo et al. (2005), a FAP refere-se à maior ou menor instabilidade dos sistemas naturais frente aos processos erosivos de origens diversas, considerando em seu diagnóstico os fatores intrínsecos a paisagem, como as condições pedológicas, morfométricas e pluviométricas. Já a FAE, além de analisar os fatores anteriormente citados, considera ainda as intervenções antrópicas, tendo como foco os diferentes tipos de uso da terra e sua influência sobre a cobertura vegetal e os graus de proteção que essa condiciona aos solos.

Os estudos de fragilidade dos ambientes têm como intuito analisar e compreender as interações que ocorrem em uma determinada área, que pode ser um município, uma bacia hidrográfica ou uma região de planejamento, por exemplo. Estes estudos proporcionam conhecimento sobre as características locais, como as áreas mais fragilizadas e propensas a impactos ambientais e antrópicos ou áreas que apresentam potencial ambiental, social e econômico.

Conforme aponta Ross (1995), o diagnóstico ambiental envolve pensar-se nas esferas do natural e do social e suas manifestações na realidade. Com isto, entende-se que, ao buscar compreender a dinâmica dos ambientes, é imprescindível que se leve em consideração a influência e o papel do homem e da sociedade enquanto sujeitos ativos deste processo.

Esta pesquisa diagnosticou os diferentes índices de FAP no Município de Pereiro, situado no Estado do Ceará e posicionado, predominantemente, na superfície de cimeira do Maciço do Pereiro - uma área de exceção climática em meio ao contexto regional semiárido. Buscou-se aqui compreender como o arranjo das condicionantes pedológicas, morfométricas e pluviométricas determinam os índices de FAP da área supracitada tendo como base o modelo de Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados proposto por Ross (1994).

Desta maneira, determinou-se o grau de fragilidade de cada condicionante ambiental

analisada conforme estabelecido por Ross (op. cit.), utilizando-as para espacialização de classes que mostram a fragilidade em foco. Estas bases foram cruzadas, estabelecendo, por meio de média aritmética, o mapa de Fragilidade Potencial do Município. Por fim, o produto cartográfico desenvolvido foi interpretado, buscando inferir sobre possíveis potencialidades e limitações de uso. Considera-se que os resultados da pesquisa contribuem para um melhor entendimento da dinâmica natural municipal, bem como material auxiliar às políticas públicas voltadas ao planejamento ambiental e gestão territorial.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método proposto por Ross (1994), foi desenvolvido a partir do conceito de Unidades Ecodinâmicas preconizado por Tricart (1977). O autor adaptou os conceitos de Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis, estabelecendo diferentes tipos de graus para cada Unidade Ecodinâmica, que vão desde muito fraca a muito forte, para que pudessem ser utilizados como subsídio para o planejamento ambiental.

Esta proposta aplicada no Município de Pereiro, o qual será apresentado a seguir, de modo a contribuir com o planejamento ambiental da área, subsidiando um mapeamento que analise as interações entre as condicionantes ambientais por meio do diagnóstico dos diferentes graus de FAP presentes na área de estudo, possibilitando desta maneira usos mais sustentáveis das paisagens para o ordenamento do território.

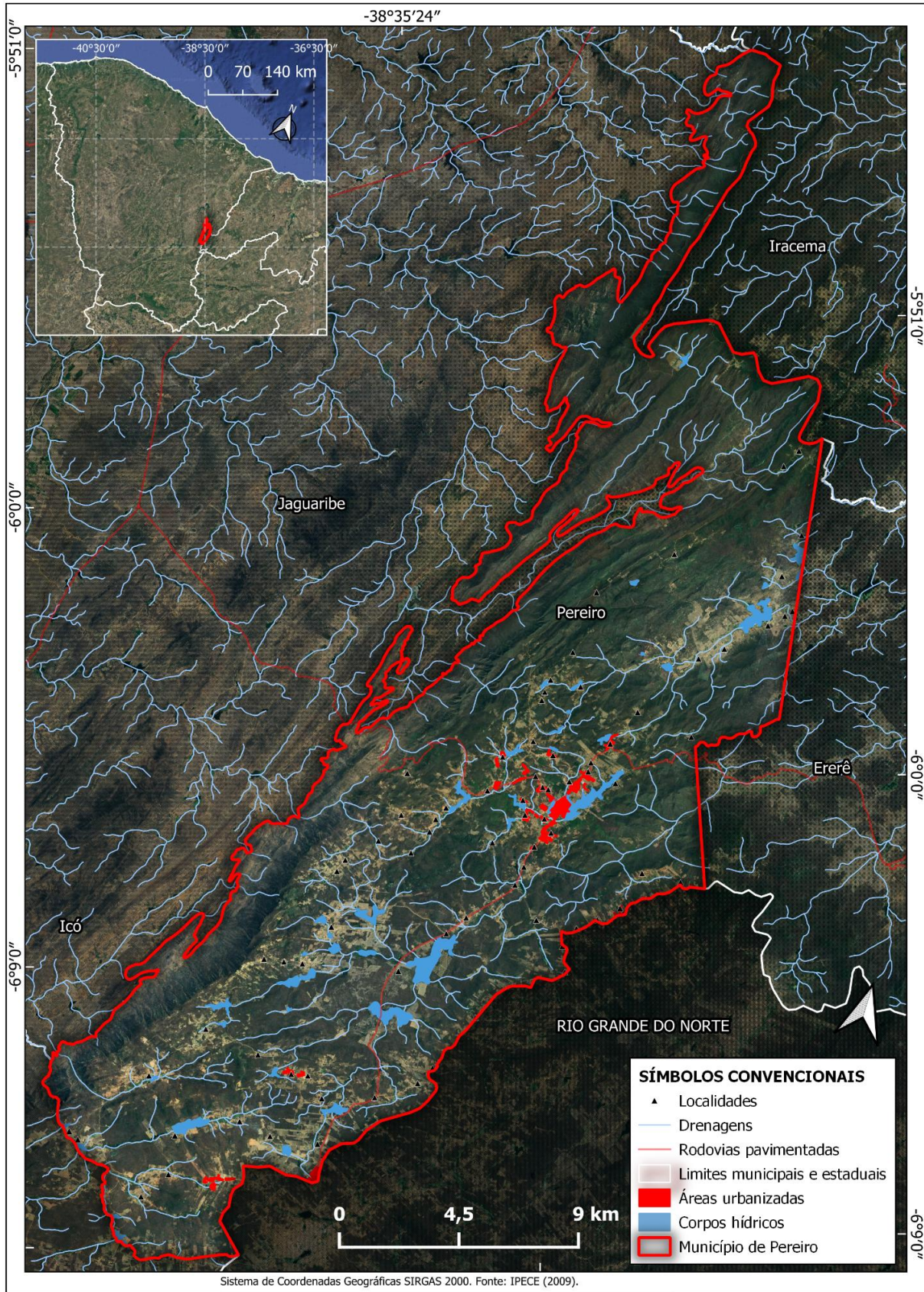
Área de estudo

O Município de Pereiro localiza-se na porção Leste do estado do Ceará, posicionando-se, predominantemente, na superfície de cimeira do Maciço do Pereiro, além de pequenas superfícies pediplanadas na Depressão Sertaneja (Figura 1). O Maciço do Pereiro, conforme Souza (2000), caracteriza-se enquanto planalto residual, fazendo parte do compartimento dos Maciços Centrais e Ocidentais. Estes “dispersam-se pelas Depressões Sertanejas apresentando-se como compartimentos ilhados e contribuindo para a diversificação fisiográfica e ecológica do semiárido cearense” (Souza, op. cit.). De acordo com o autor, tais maciços compõem um conjunto de relevos residuais elevados, com altitudes em torno de 600m, encontram-se cercados pelas Depressões Circunjacentes Semiáridas, as quais estão situadas em níveis altimétricos inferiores a 400m.

O Maciço do Pereiro é um imponente alinhamento serrano de direção SSW-NNE encimado por um extenso platô bruscamente delimitado por uma escarpa voltada para o vale do rio Jaguaribe. Conforme apontado por Martins e Claudino-Sales (2019), o Maciço do Pereiro encontra-se situado na Mesorregião do Vale do Rio Jaguaribe, fazendo divisa com os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba e apresenta uma área de aproximadamente 2.500km², estando localizado entre as coordenadas geográficas 05°40’ Sul, 38°20’ Oeste, 06°15’ Sul e 38°31’ Oeste.

Este Maciço é considerado uma serra subúmida, com seus 743 metros máximos (EMBRAPA, 2023), o que poderia condicionar chuvas orográficas substanciais. Todavia, o efeito de continentalidade influenciado pelos 328 km de distância do litoral, dificulta a penetração das massas de ar úmidas, condicionando desta maneira, características de subumidade.

Figura 1 - Mapa de localização



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

O Município de Pereiro apresenta como extremos geográficos as seguintes coordenadas: ao Norte: 5° 46' 43.80" S; ao Sul: 6° 14' 04.53" S; a Leste: 38° 23' 54.91" O e a Oeste: 38° 36' 08.01" O, fazendo limite com os Municípios de Iracema, Ererê, Icó e Jaguaribe, e mantendo divisa com o estado do Rio Grande do Norte. Encontra-se em uma altitude média de 650m (Martins e Claudino-Sales, 2019), ocupando uma área de aproximadamente 435km² (IBGE, 2022). Deste total, apenas 1,87km² são ocupados por área urbanizada (IBGE, 2019). De acordo com o censo de 2022 do IBGE, a população residente é de 15.274 habitantes.

O Município encontra-se inserido na Bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe e os tipos climáticos presentes são Tropical Quente Subúmido e Tropical Quente Semiárido Brando (IPECE, 2017). A pluviosidade média anual, calculada a partir de séries históricas obtidas junto à Fundação de Meteorologia e Recursos Hídricos do Ceará (FUNCEME) é de 811,79 mm, com uma temperatura média de 24°C a 26°C.

Do ponto de vista litoestratigráfico, o Maciço do Pereiro é sustentado pela "Super-suíte Granitóide Sin-Tardi-Orogênica", com gênese durante e ao final da Orogênese Brasileira (CPRM, 2003). A condicionante litológica do Município apresenta cinco unidades geológicas, são elas: Complexo Jaguaritama (PP2j); Formação Santarém (PP4os); Suíte Intrusiva Serra do Deserto (PP4γs); Suíte Intrusiva Itaporanga (NP3γ2it3) – Corpo Plúton Pereiro e Suíte Intrusiva São João do Sabugi (NP3δ2s). As unidades geomorfológicas que compõem a área de estudo são constituídas pelos modelados cristalinos, sendo eles: os Maciços Residuais e a Depressão Sertaneja.

Conforme IPECE (2017), os tipos de vegetação ocorrentes no Município são: Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea); Caatinga Arbustiva Aberta e Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Matas Secas). Segundo os mapeamentos elaborados pelo Projeto RADAMBRASIL (1981) na escala de 1: 1.000.000, encontram-se presentes quatro tipologias de solos, além da presença de afloramentos rochosos, são eles: Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe); Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (PVAe); Luvisolo Crômico Órtico (TCo) e Neossolo Litólico Eutrófico (RLe).

Procedimentos técnico-operacionais

Revisão bibliográfica

A pesquisa bibliográfica deste trabalho dividiu-se nos seguintes segmentos:

- Referencial teórico: Nesta etapa, foram consultadas obras que serviram de referência para caracterização de conceitos chave adotadas na pesquisa. Destacam-se as categorias de paisagem, FAP e FAE, planejamento ambiental, dentre outros. Entre os autores consultados estão: Ross (1990, 1995), Sotchava (1977), Tricart (1977), Bertrand (2004), Nascimento e Sampaio (2004), Torres, Neto e Menezes (2012), Nascimento (2013), dentre outros.
- Embasamento metodológico: No intuito de melhor compreender e balizar o método de análise empregado, buscou-se referenciá-lo através das obras como as de Spörl (2001), Kawakubo et al. (2005), Silveira e Oka-Fiori (2007), Pires et al. (2015), além de textos e livros sobre a utilização do geoprocessamento para a execução da pesquisa, tais como Rosa e Ross (1999), Fitz (2008) e Florenzano (2008).

Além das pesquisas acima citadas, foram consultadas bibliografias específicas da área de estudo e seu entorno, objetivando a melhor compreensão dos aspectos sociais e ambientais do Município. Para isto foram consultados autores como Souza (2000), IPECE (2012), Pinheiro (2015), Claudino-Sales (2016), Martins e Claudino-Sales (2019) e Albuquerque e Sousa (2019).

Levantamento de dados geocartográficos

Após a obtenção destas informações foram realizados os levantamentos das bases cartográficas e informações pluviométricas que seriam necessárias para elaboração do mapa de FAP. Conforme Ross (1994), para realização da Análise Empírica da Fragilidade são necessários estudos básicos do relevo, do subsolo, do solo, do uso da terra e do clima. Através destes estudos são gerados os produtos cartográficos que indicarão os diferentes tipos de fragilidade ocorridos em uma determinada área.

Esta pesquisa, por ter como foco a análise de FAP, levou em consideração apenas os aspectos relacionados à vulnerabilidade natural do ambiente estudado, considerando três condicionantes geoambientais, são elas: o relevo, os solos e a pluviometria. As informações do relevo e dos solos foram retiradas dos relatórios do Projeto RADAMBRASIL (1981) volume 23 com seus respectivos mapas temáticos na escala de 1:1.000.000.

Estes dados foram obtidos por meio da plataforma Visualizador do INDE. Desta forma, foram utilizados os arquivos em formato de Shapefile das folhas SB-24/25 Jaguaribe/Natal referentes às temáticas de relevo e solos. Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos por série histórica de 20 anos através do site da FUNCEME para os seguintes postos pluviométricos (Tabela 1).

Tabela 1 - Postos pluviométricos coletados

Posto Pluviométrico	Município	Coordenadas Geográficas
Aquinópolis	Jaguaribe	5° 56' 26" S / 38° 28' 12" O
Comunidade Grossas	Pereiro	5° 57' 52" S / 38° 24' 39" O
Pereiro	Pereiro	6° 02' 37" S / 38° 27' 36" O
Crioulas	Pereiro	6° 11' 55" S / 38° 32' 07" O
São Vicente	Icó	6° 13' 22" S / 38° 40' 26" O

Fonte: FUNCEME

De acordo com Pinheiro (2015), a análise das médias históricas dos parâmetros de precipitação e temperatura do Município, associadas às informações de balanço hídrico da área, proporcionam um melhor entendimento das características climáticas municipais, sendo estas, fundamentais para determinação da vulnerabilidade da condicionante climática e consequentemente para a identificação da FAP municipal.

Os postos coletados, excetuando o posto Pereiro, apresentaram incompletude ou ausência total de dados em alguns anos. Estes foram desconsiderados, sendo utilizados para o cálculo da média histórica apenas os anos com leitura completa. Os postos Comunidade Grossas e São Vicente tiveram suas médias calculadas no período de 17 anos. Enquanto a do posto Crioulas foi de 16 anos e o posto Aquinópolis de 15 anos. Apenas o posto Pereiro apresentou os dados completos dentro do período de 20 anos.

Observação de campo

A visita de campo teve as seguintes finalidades: reconhecimento da área de estudo, levantamento de informações que subsidiaram a pesquisa tais como a ocorrência de processos erosivos e a obtenção de registros fotográficos das características ambientais que seriam abordadas. Os registros fotográficos em campo foram feitos com a máquina fotográfica Canon PowerShot SX510 HS.

Esta incursão foi de grande contribuição na compreensão da dinâmica ambiental da área estudada, uma vez que possibilitou a observação de aspectos como os processos erosivos, os tipos de vegetação e solos ocorrentes na região, os diferentes tipos de uso e ocupação dos mesmos, dentre outros. Aspectos estes que estão diretamente ligados à fragilidade dos ambientes.

Elaboração das bases temáticas

Estas informações subsidiaram a geração das bases temáticas (relevo, solos e clima), as quais foram utilizadas para gerar o mapa de fragilidade potencial do município de Pereiro. As atividades de geoprocessamento foram desenvolvidas utilizando o software gratuito QGIS versão 3.16.0 with GRASS 7.8.4. Os dados vetoriais em formato Shapefile referentes às três condicionantes analisadas foram retirados da plataforma Visualizador do INDE e importados para o software anteriormente citado. Estas informações foram reclassificadas e organizadas seguindo os graus de fragilidade estabelecidos por Ross (1994).

Condicionante geomorfológica

Para a elaboração do produto cartográfico referente à condicionante geomorfológica teve-se como base o Shapefile das folhas SB-24/25 Jaguaribe/Natal referente à temática geomorfológica retirado da plataforma Visualizador do INDE. Este apresenta em sua tabela de atributos duas colunas, uma referente à densidade e a outra ao aprofundamento. Estas informações foram utilizadas para identificar os níveis de dissecação do relevo da área de estudo e cruzadas tendo como base a Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo (IDR), proposta por Ross (1994) e inspirada nos trabalhos do Projeto RADAMBRASIL (1981) com algumas modificações na disposição das colunas (Tabela 2)

Tabela 2 - Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo

Densidade de Drenagem ou Dimensão Interfluvial Média (Classes)	Muito Baixa (1) > 3750 m	Baixa (2) 1750 a 3750 m	Média (3) 750 a 1750 m	Alta (4) 250 a 750 m	Muito Alta (5) < 250 m
Graus de Entalhamento dos Vales (Classes)	> 15 mm	3 a 15 mm	3 a 5 mm	1 a 3 mm	1 mm
Muito Fraco (1) (< 50 m)	11	12	13	14	15
Fraco (2) (50 a 100 m)	21	22	23	24	25
Médio (3) (100 a 150 m)	31	32	33	34	35
Forte (4) (150 a 200 m)	41	42	43	44	45
Muito Forte (5) (> 200 m)	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1994)

Ross (1994), tendo como referencial a matriz IDR acima, organizou as classes de fragilidade do relevo entre muito fraca e muito forte (Tabela 3). Os conjuntos numéricos em negrito correspondem àqueles referentes à área de estudo.

Tabela 3 - Classificação das categorias morfométricas

Classes de fragilidade	Conjuntos numéricos	Pesos
Muito fraca	11	1
Fraca	21, 22 , 12	2
Média	31, 32 , 33, 13, 23	3
Forte	41, 42 , 43, 44, 14, 24, 34	4
Muito forte	51, 52, 53, 54, 55, 15, 25, 35, 45	5

Fonte: Ross (1994)

Condicionante pedológica

A fragilidade da condicionante pedológica foi definida com base nas informações coletadas através do Shapefile do mapa pedológico do Projeto RADAMBRASIL (1981) volume 23, folhas SB-24/25 Jaguaribe/Natal. Este indica que no município de Pereiro são encontradas quatro classes de solos caracterizadas com base em EMBRAPA (2021), INDE (2014) e Crepani et. al. (2001).

- Argissolo Vermelho Eutrófico: Solos medianamente profundos, apresentando boa drenagem. Em seu horizonte B ocorre acumulação de argila, o que dificulta a infiltração de água no perfil, favorecendo os processos erosivos. Quando ocorrentes em relevos ondulados, há presença de maior fragilidade.
- Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico: Solos minerais não hidromórficos, geralmente profundos com ocorrência de fases pedregosas e/ou rochosas presentes em relevos dissecados.
- Luvisolo Crômico Órtico: Solos rasos, raramente ultrapassando 1 metro de profundidade, apresentam horizonte superficial pedregoso com mudança textural abrupta entre média à argilosa.
- Neossolo Litólico Eutrófico: Solos minerais rasos e pouco desenvolvidos, cuja soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 centímetros, ocorrem em áreas de declives acentuados com presença de pedregosidade e rochosidade.

De acordo com Ross (1994), são tidos como critérios para a variável dos solos as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Estas características relacionam-se com o relevo, a litologia e o clima, elementos estes, responsáveis pela pedogênese e fatores fundamentais que determinam as características físicas e químicas dos solos.

A tabela abaixo (Tabela 4) indica as classes de fragilidade/erodibilidade dos solos definidas por Ross (op cit.) levando em consideração o escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais.

Tabela 4 - Classes de fragilidade dos solos

Classes de Fragilidade	Solos	Pesos
Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho-Amarelo de textura argilosa.	1
Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo de textura média/argilosa.	2
Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-Amarelo de textura média/argilosa.	3
Forte	Podzólico Vermelho-Amarelo de textura média/arenosa, Cambissolos.	4
Muito Forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas	5

Fonte: Ross (1994)

Das quatro classes de solos ocorrentes no município de Pereiro apenas duas destas são destacadas no quadro de fragilidade elaborado por Ross (1994), o Neossolo Litólico Eutrófico correspondente aos Litólicos no quadro, cuja classe de fragilidade é muito forte e o Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, classificado com fragilidade média. Apesar de não constar no quadro acima, o Argissolo Vermelho Eutrófico foi classificado como de fragilidade média por apresentar características semelhantes ao Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico. Também ausente na classificação de Ross (op cit.), o Luvisso Crômico Órtico foi classificado com fragilidade forte em decorrência de ser mais raso que os Argissolos, apresentando transição abrupta entre o horizonte A pedregoso e B fortemente argiloso, o que potencializa sua susceptibilidade a erosão. Por meio destas informações foi elaborado o produto cartográfico indicador das classes de fragilidade dos solos do Município (Figura 3).

Condicionante pluviométrica

Como afirma Spörl (2001), as informações climatológicas são fundamentais para as análises de fragilidade uma vez que influenciam diretamente na dinâmica dos sistemas. Os dados de precipitação, em especial, permitem compreender a distribuição pluviométrica e o regime hídrico de determinada área, os quais são fatores intrinsecamente ligados aos aspectos ecológicos, além de atuarem de modo direto na evolução das formas de relevo através do intemperismo e da erosão.

Apesar de citar o fator climático, Ross (1994) em sua obra não apresenta nenhuma classificação de fragilidade acerca desta condicionante. Entretanto, Spörl (2001) apresenta um quadro elaborado por Ross com os níveis hierárquicos dos comportamentos pluviométricos, o qual foi aqui utilizado como critério para a classificação da fragilidade climática e consequentemente para a elaboração do produto cartográfico referente à fragilidade potencial (Tabela 5).

Tabela 5- Níveis hierárquicos dos comportamentos pluviométricos

Níveis Hierárquicos	Características Pluviométricas	Pesos
Muito Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ano.	1
Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano.	2
Média	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de dezembro a março.	3
Forte	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril, quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas.	4
Muito Forte	Situação pluviométrica com distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semiárido).	5

Fonte: Spörl (2001)

Álgebra de mapas

Após a elaboração das três bases cartográficas necessárias (relevo, solos e clima) em formato Vetor, estas foram convertidas para o formato Raster através do processo de rasterização. Esta conversão teve por intuito possibilitar a utilização da ferramenta Calculadora Raster do software QGIS, obtendo assim, a fragilidade potencial da área estudada com base na média aritmética das fragilidades das componentes ambientais consideradas. Através do resultado deste cálculo chegou-se ao Raster indicador da fragilidade potencial do município de Pereiro, conforme apresentado na seção a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme dito anteriormente, a fragilidade potencial do Município de Pereiro representa a média aritmética entre as classes de fragilidade identificadas para as condicionantes consideradas (relevo, solos e clima).

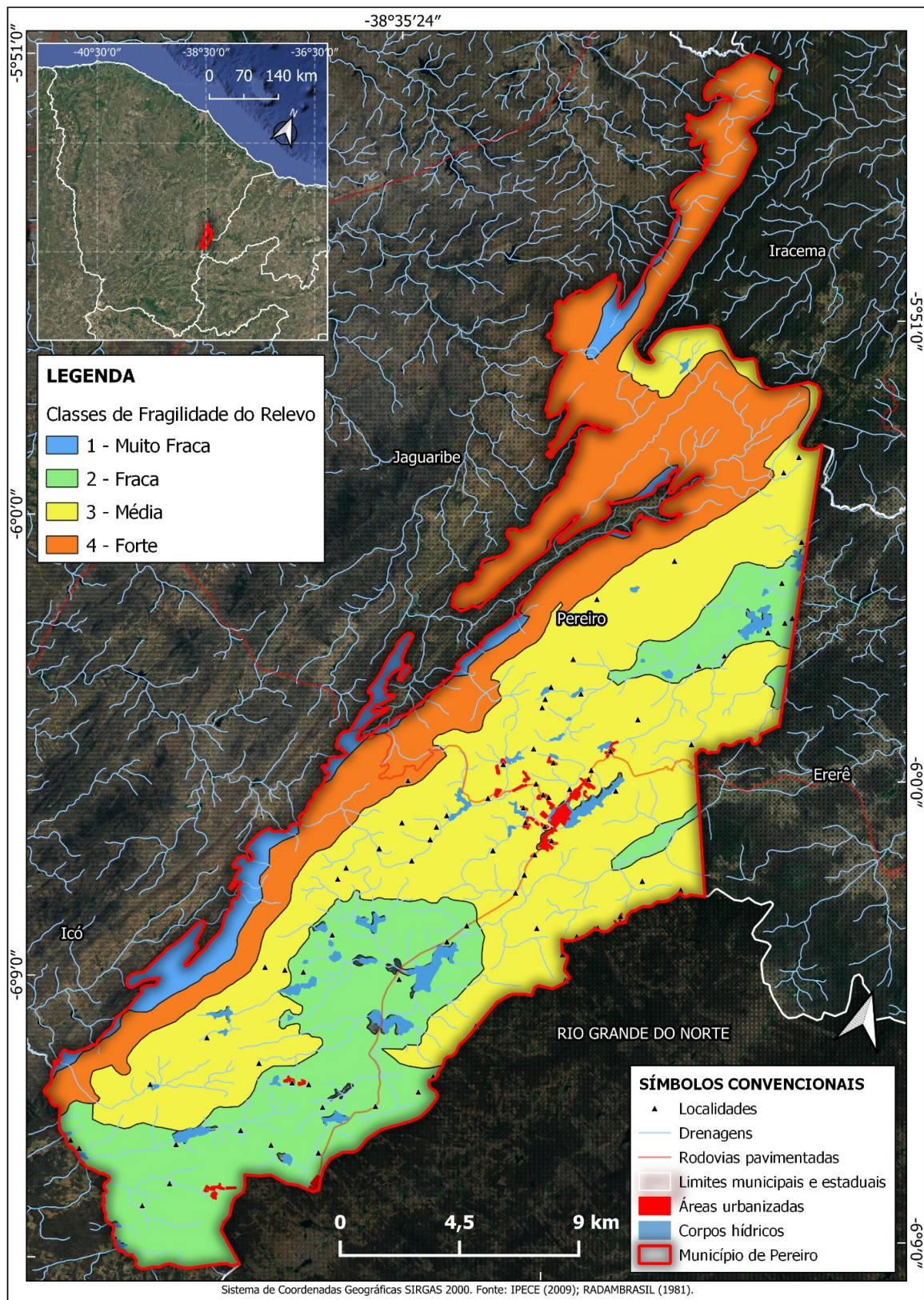
Aplicando o método descrito por Ross (1994) classificou-se a fragilidade da componente geomorfológica em 4 (quatro) classes (graus), variando entre muito fraca e forte. Utilizando como base o Shapefile de geomorfologia das folhas SB-24/25 Jaguaribe/Natal, retirado do INDE (2014), foi elaborado o mapa de fragilidade do relevo do município de Pereiro, a partir do qual se obteve a quantificação das áreas (Tabela 6) (Figura 2).

Tabela 6 - Classes das categorias morfométricas

Pesos	Classes de fragilidade	Área (Km²)	(%)
1	Muito fraca	19,55	4,48
2	Fraca	102,56	23,53
3	Média	196,68	45,16
4	Forte	111,60	25,61
Sede municipal e Corpos hídricos		5,35	1,22
TOTAL		435,74	100

Fonte: Ross (1994)

Figura 2 - Mapa de categorias morfométricas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Através da análise dos dados gerados, pôde-se observar que as morfometrias classificadas como Muito Fraca correspondem com as áreas localizadas na Depressão

Sertaneja. Enquanto aquelas classificadas como Fraca e Média encontram-se localizadas na superfície de cimeira do Maciço. Nos setores com maior declividade onde a dissecação do relevo se mostra mais intensa, encontrou-se a categoria Forte, justamente para as áreas que acompanham toda a escarpa de falha da vertente oeste do Maciço do Pereiro.

Considerando as características dos solos, a classificação de fragilidade estabelecida por Ross (1994) e utilizando como base o Shapefile das folhas SB-24/25 Jaguaribe/Natal referente à temática pedológica foi elaborada a base temática de fragilidade das classes de solos do Município, bem como a tabela de quantificação das áreas classificadas (Tabela 7) (Figura 3).

Tabela 7 - Classes de fragilidade dos solos.

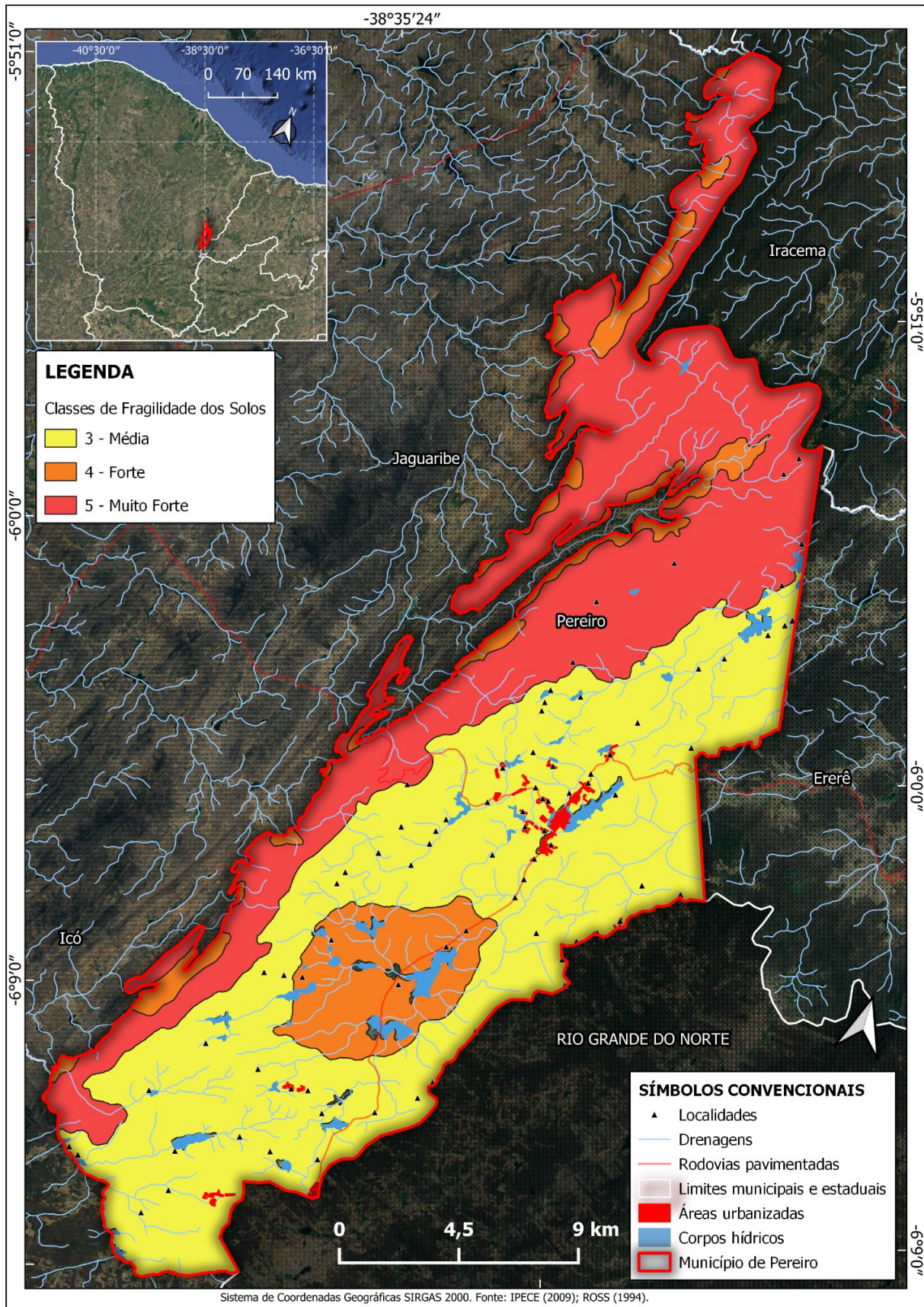
Pesos	Classes de fragilidade	Área (Km ²)	(%)
3	Média	222,72	51,14
4	Forte	50,85	11,66
5	Muito Forte	156,82	35,98
Sede municipal e Corpos hídricos		5,35	1,22
TOTAL		435,74	100

Fonte: Ross (1994)

A maior parte do Município (51,14%) é ocupada por solos de fragilidade Média, sendo esta parcela composta pelos Argissolos Vermelho e Vermelho-Amarelo, ambos Eutróficos. As áreas classificadas com fragilidade Forte, equivalente a 11,66% da área municipal são representadas pela ocorrência do Luvisolo Crômico Órtico. Os setores onde estão localizados os Neossolos Litólicos Eutróficos foram classificados com fragilidade Muito Forte dentro da classificação de Ross (1994), representando 35,98% da área municipal.

A classificação da fragilidade pluviométrica foi estabelecida tendo por base os Níveis Hierárquicos dos Comportamentos Pluviométricos definidos por Ross. Para isto, foram analisadas as médias anuais pluviométricas da área de estudo e de 2 municípios de entorno no período de 20 anos (2002-2021) retiradas da FUNCEME. Em decorrência de seu comportamento pluviométrico irregular, com volumes anuais baixos (inferiores a 900mm) e forte concentração de chuvas em um curto período do ano, o Município de Pereiro foi classificado integralmente como de fragilidade pluviométrica de nível Muito Forte.

Figura 3 - Mapa da condicionante pedológica



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Por meio dos procedimentos técnico operacionais descritos anteriormente foram desenvolvidas as bases temáticas das 3 condicionantes ambientais analisadas. A inserção destas na técnica de álgebra de mapas proporcionou o resultado principal da pesquisa, o mapa indicador da Fragilidade Ambiental Potencial do Município de Pereiro, Ceará.

Como dito na introdução deste artigo, a FAP conforme Kawakubo et al. (2005), refere-se à vulnerabilidade natural apresentada pelos ambientes, ou seja, é aquela que está relacionada aos condicionantes ambientais, como os diferentes tipos de relevo, os solos, o clima, as rochas, dentre outros. Enquanto a FAE está associada aos graus de proteção que os tipos de uso e cobertura vegetal exercem e influenciam na vulnerabilidade natural destes ambientes, logo, esta insere os seres humanos como fatores condicionantes da fragilidade através de seus diferentes tipos de uso da terra e como estes alteram a cobertura vegetal.

Para o Município de Pereiro foram diagnosticadas 3 classes de FAP, são elas: Média, Forte e Muito forte (Figura 4). Com base no produto cartográfico foi elaborada a tabela de quantificação das áreas dos diferentes graus de FAP ocorrentes no município (Tabela 8).

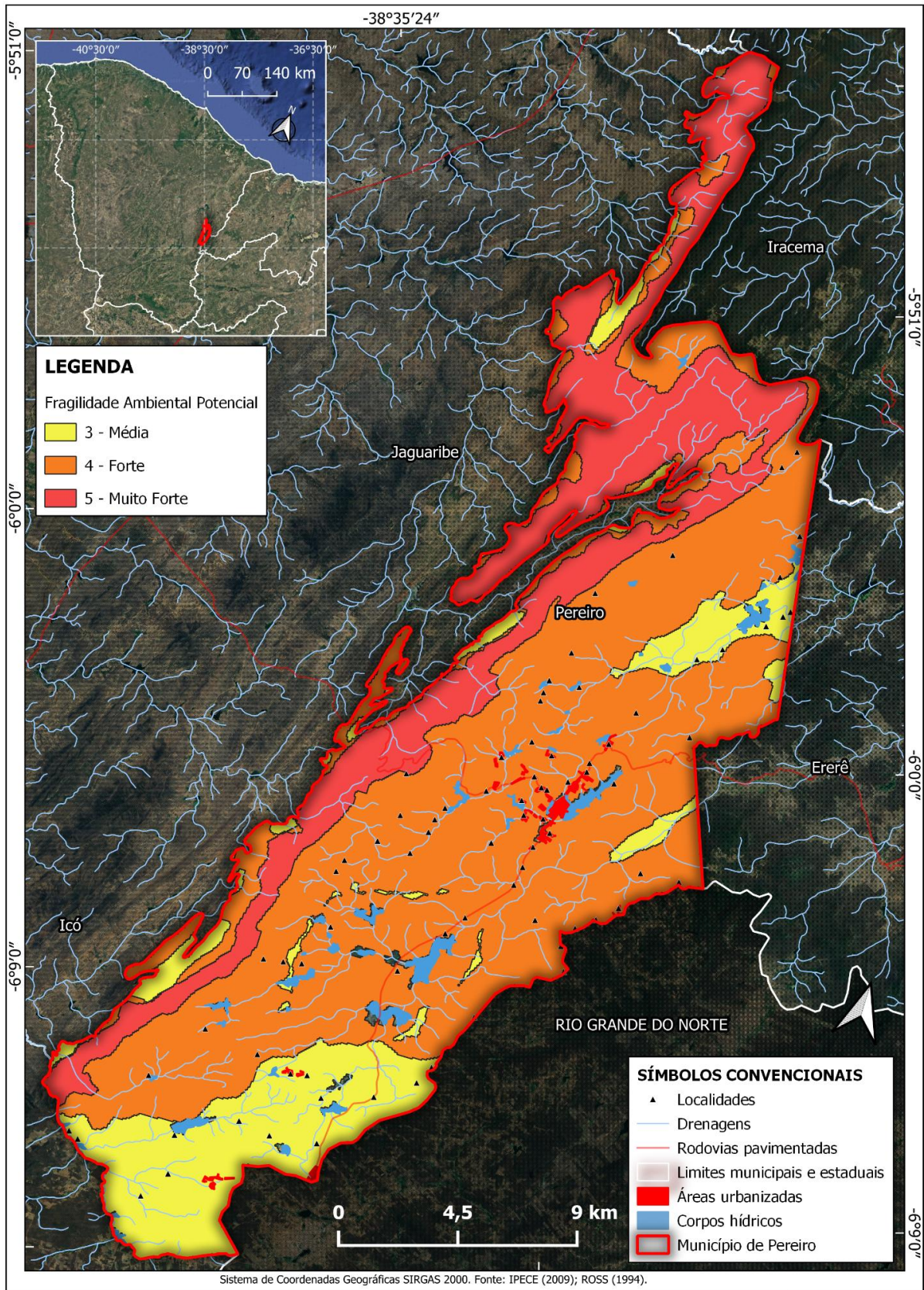
Tabela 6 - Classes de Fragilidade Ambiental Potencial e quantificação de área

Classes de fragilidade	Área (Km ²)	(%)
Média	76,43	17,54
Forte	257,32	59,07
Muito Forte	96,64	22,17
Sede municipal e Corpos hídricos	5,35	1,22
TOTAL	435,74	100

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

As condições de fragilidade anteriormente descritas permitem inferir sobre as potencialidades e limitações das áreas classificadas. Desta maneira, as formas de uso e ocupação devem considerar a capacidade de resiliência ambiental da região, buscando equilibrar a exploração socioeconômica com a conservação dos recursos ambientais. A tabela 9 infere acerca de potencialidades e limitações ocorridas na área de estudo de acordo com cada classe de FAP.

Figura 4 - Mapa de FAP



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Ocupando a menor parcela municipal (17,54%) as áreas classificadas em FAP Média são, em sua maioria, utilizadas para práticas agrícolas e pecuárias. Estas, apesar de não consistirem no quadro de fragilidade mais agravante do Município, também se fazem necessitadas de políticas intervencionistas que visem a conservação da vegetação nativa e conseqüentemente da fauna local, uma vez que se apresentam propensas aos processos erosivos em decorrência dos solos com concentração de argila no horizonte B e da pluviosidade irregular com eventos de alta erosividade.

As áreas referentes a FAP Forte representam maior parte da área Municipal (59,07%), ocupando os setores centrais, onde o relevo apresenta aprofundamento entre 50m a 150m. O relevo suave ondulado com presença de Argissolos torna estas áreas potencialmente aptas às atividades agrícolas e extrativistas.

Tabela 6 - Fragilidade Ambiental Potencial e quantificação absoluta e relativa das áreas

FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL	POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES
Média	Agricultura e pecuária com emprego de práticas conservacionistas; Culturas de ciclo curto; Preservação ambiental.	Solos propensos a processos erosivos; Pluviometria baixa e irregular, com ocorrência de eventos de forte intensidade pluviométrica.
Forte	Expansão urbana controlada; Atividades de agroextrativismo e mineração controlados; Agricultura irrigada com culturas de ciclo longo; Ecoturismo; Reflorestamento.	Pluviometria baixa e irregular, com ocorrência de eventos de forte intensidade pluviométrica; Deficiência hídrica nos períodos de estiagem; Processos de escorregamento; Queda de blocos; Movimentos de massa.
Muito Forte	Exploração mineral controlada; Ecoturismo; Reflorestamento de encosta	Declives acentuados; Solos rasos com afloramentos ou ausência de solos; Pouca ou nula cobertura vegetal; Desplacamento de rochas e movimentos de massa; Escoamento superficial concentrado.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

De acordo com Martins e Claudino-Sales (2019), ocorrem ainda em algumas regiões áreas de culturas em vertentes íngremes estabelecidas em fileiras, o que acelera o escoamento superficial, degradando o solo e produzindo sulcos de erosão que podem evoluir para ravinas e até voçorocas em casos extremos (Figura 5). A prática correta para plantação neste tipo de relevo seria seguir as curvas de nível, desenvolvendo patamares que durante a quadra chuvosa permitiriam a acumulação de água para as lavouras e diminuiria os impactos causados pela erosão pluvial. Em casos de vertentes mais íngremes a preservação por meio de políticas de

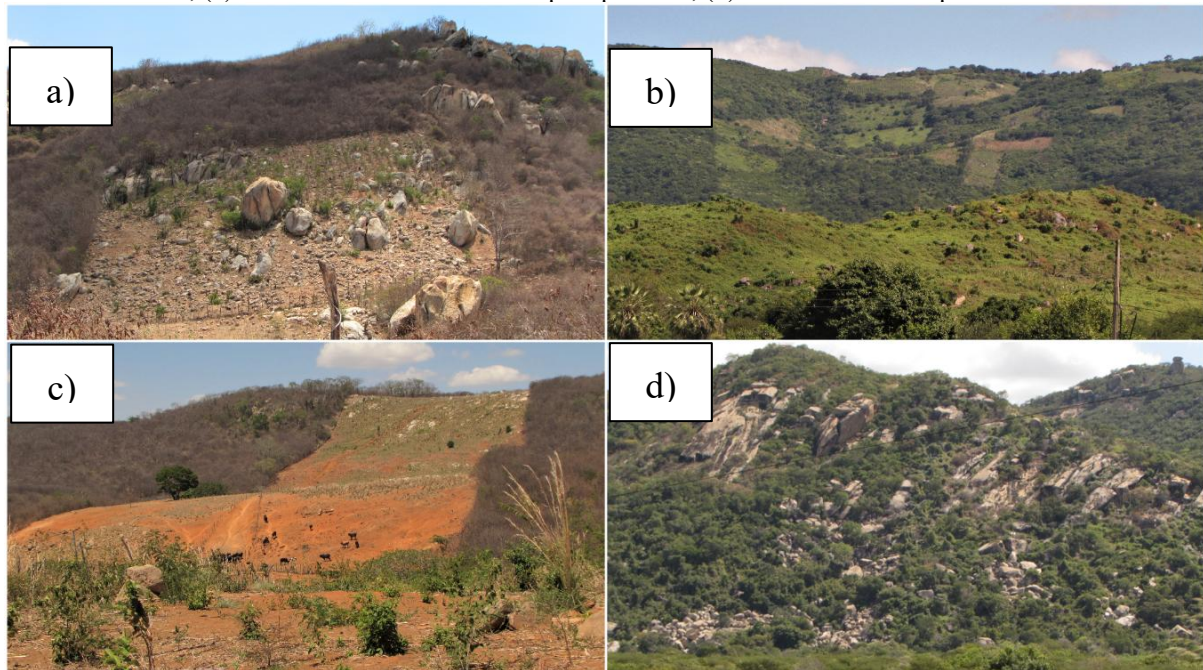
reflorestamento deve ser considerada como a melhor opção para a prevenção dos impactos erosivos.

Pode-se citar, ainda, limitações decorrentes da ocorrência de afloramentos rochosos nas vertentes íngremes com presença de desagregação mecânica, deslocamento de rochas, quedas de blocos e instalação de processos erosivos lineares. Para estas áreas são indicadas políticas de preservação da vegetação nativa e de reflorestamento nas áreas degradadas, principalmente nas vertentes íngremes, buscando amenizar os processos erosivos decorrentes da ação das chuvas durante os meses chuvosos, evitando desta maneira, processos de escorregamento e de movimentos de massa, que degradam a pouca vegetação existente, atingem a fauna que a habita e em casos extremos podem atingir e prejudicar a população residente.

Nos setores classificados com FAP Muito Forte as limitações decorrentes referem-se principalmente aos declives acentuados e vertentes íngremes com aprofundamento de até 200m. Estas condições não favorecem o desenvolvimento dos solos, fazendo com que estes sejam extremamente rasos e pouco desenvolvidos, até mesmo ausentes em algumas áreas. Por conseguinte, a cobertura vegetal apresenta-se em manchas compostas por vegetação rasteira e cactáceas que se desenvolvem sobre as rochas expostas ou em áreas com reentrâncias que favorecem o seu desenvolvimento.

Nestas regiões o escoamento superficial é marcante, uma vez que a baixa ou até mesmo ausente cobertura vegetal não proporciona proteção aos solos contra os processos erosivos. Desta maneira, o desgaste das rochas pela ação dos agentes intempéricos e erosivos pode ocasionar, ao longo do tempo, o deslocamento das mesmas, processo comum em ambientes semiáridos e áridos.

Figura 5 - (a) Cultura de milho em encosta com afloramento rochoso; (b) Culturas em encosta com declive acentuado; (c) Cultura em encosta com uso para pecuária; (d) Área suscetível a queda de blocos.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores, 2025

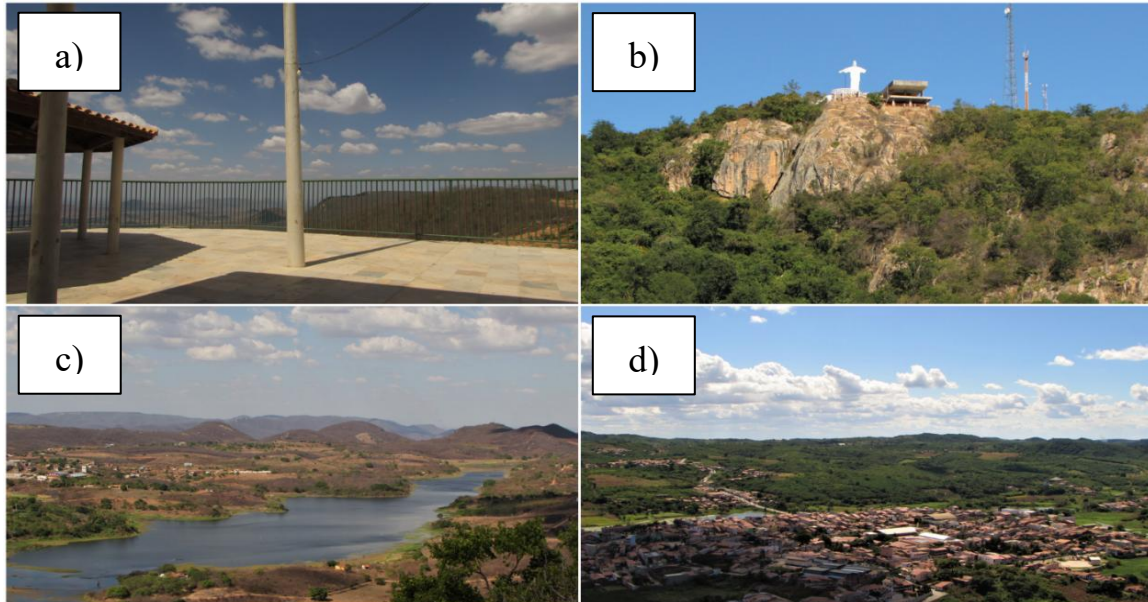
O ecoturismo apresenta-se como potencial atividade econômica que, quando voltada à proteção ambiental, traz importantes contribuições econômicas e sociais para o Município. Neste âmbito, tem-se atualmente o mirante do Cristo Rei, voltado para o turismo religioso e

localizado na sede municipal e o mirante do Carvão, localizado ao sul de Pereiro na borda da vertente íngreme, proporcionando vista para a Depressão Sertaneja (Figura 6). Além destes, o Município também apresenta potencialidades econômicas voltadas à exploração mineral em decorrência do excesso de rochas cristalinas expostas, desde que feito de maneira controlada.

O conhecimento das dinâmicas ambientais dos territórios, sejam eles municípios, bacias hidrográficas, regiões de planejamento, dentre outros, é imprescindível para o planejamento ambiental, indicando áreas de proteção e áreas com potencial econômico. O planejamento físico territorial deve ser elaborado sob o viés socioeconômico e ambiental, buscando o desenvolvimento sustentado “[...] onde conservação e recuperação ambiental estão lado a lado com desenvolvimento tecnológico, econômico e social.” (Ross, 1994, p. 64).

Corroborando este pressuposto, Tricart (1977, p. 35) afirma que “estudar a organização do espaço é determinar como uma ação se insere na dinâmica natural, para corrigir certos aspectos desfavoráveis e para facilitar a exploração dos recursos ecológicos que o meio oferece”. Estes documentos diagnósticos, ao alcance do poder público, possibilitam a elaboração de prognósticos que mitiguem ou pelo menos amenizem situações de impacto ambiental que prejudicam não apenas a natureza, mas também as sociedades que nela habitam e que dela subsistem.

Figura 6 - (a) Mirante do Carvão; (b) Mirante do Cristo Rei; (c) Açude Adauto Bezerra; (d) Sede municipal



Fonte: Arquivo pessoal dos autores, 2025

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta por Ross (1994), tendo como foco a Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados, serve como importante subsídio para o planejamento e gestão ambiental de maneira sustentável. Uma vez que são recursos imprescindíveis que possibilitam o conhecimento ambiental dos territórios, permitindo uma análise geográfica que representa espacialmente informações sobre áreas que devem ser protegidas e áreas que possuem potencial socioeconômico.

A FAP da área de estudo identificada na pesquisa se mostrou coerente com as condições apresentadas no ambiente natural e observadas in loco, servindo de importante subsídio ao planejamento do município em questão.

As bases cartográficas desenvolvidas, apesar de consistirem em produtos cartográficos intermediários, foram imprescindíveis para caracterização e compreensão da dinâmica ambiental da área de estudo, uma vez que, foi por meio da correlação das mesmas que o mapa principal desta pesquisa foi desenvolvido, e por fim, interpretado, permitindo inferir sobre potencialidades e limitações de uso da terra no Município de Pereiro, Ceará.

A análise da Fragilidade Ambiental Potencial, apesar de referir-se apenas à vulnerabilidade natural apresentada pelos ambientes, também apresenta sua importância, uma vez que, antes de inserir a sociedade humana como agente modificadora, também se faz fundamental ter conhecimento do funcionamento natural dos ambientes, da dinâmica e relação entre os componentes naturais que ali estão e como estas relações definem diretamente a capacidade dos ambientes naturais.

Reconhecer as potencialidades e limitações dos territórios e identificar a capacidade de uso das terras permite que estas sejam ocupadas com seus usos devidos, como atividade agrícola, agropecuária e agroextrativista, bem como a implantação de políticas de reflorestamento para as áreas mais fragilizadas que necessitam de intervenção recuperativa.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, D. S., e SOUSA, M. L. M. de. Análise Geoambiental como subsídio ao planejamento no município de Pereiro/Ceará/Brasil. Revista Equador (UFPI), Vol. 8, Nº 2, p.348 – 364, 2019.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Global: Esboço Metodológico. R. RA 'E GA, Curitiba, n.8, p. 141-152, 2004. Editora UFPR.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. v. 23, Folhas SB 24/25 Jaguaribe/Natal; Rio de Janeiro, 1981. 744 p.

IPECE. Perfil básico municipal Pereiro, 2012.

CLAUDINO-SALES, V. de. Megageomorfologia do Estado do Ceará: História da Paisagem Geomorfológica. Novas Edições Acadêmicas. 2016.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 21 set. 2023.

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

FLORENZANO, T. G. (Org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Oficina de Textos. São Paulo. 2008.

KAWAKUBO, F. S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2203-2210.

MARTINS, J. G. CLAUDINO-SALES, V. de. Paisagem Geomorfológica e Geografia Ambiental do Maciço do Pereiro, Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. Revista Equador (UFPI), Vol. 8, Nº 1, p.01-25, 2019.

NASCIMENTO, F. R. do. O fenômeno da desertificação. Goiânia, Editora UFG, 2013. 244 p.

NASCIMENTO, F. R. do; SAMPAIO, J. L. F. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral, v.6/7, n.1, p. 167-179, 2004/2005.

PASCOAL, P. G. F. Fragilidade Potencial do Município de Pereiro, Ceará. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Estadual do Ceará. 87 f. Limoeiro do Norte, 2024.

PINHEIRO, F. S. de A. Vulnerabilidade à erosão e morfodinâmica na bacia hidrográfica do rio Figueiredo, CE. 171 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2015.

PIRES, L. do C. Et al. Análise da fragilidade ambiental no município de Aquidauana-MS. Caderno de Geografia, v.25, n.43, jan-jun, p. 52-65. Belo Horizonte, 2015.

ROSA, M. R., ROSS, J. L. S. Aplicação de SIG na geração de cartas de fragilidade. Revista do Departamento de Geografia, n. 13, 1999.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia, Ambiente e Planejamento. Editora Contexto, São Paulo, 1990.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: Revista do Departamento de Geografia, nº8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

ROSS, J. L. S. Análise e Síntese na Abordagem Geográfica da Pesquisa para o Planejamento Ambiental Revista do Departamento de Geografia, nº9, FFLCH-USP, São Paulo, 1995.

SOUZA, M. J. N. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: LIMA, L. C., MORAIS, J. O. de, SOUZA, M. J. N. de. Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Editora FUNECE. Fortaleza, 2000. P. 13-98.

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. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SILVEIRA, C. T. da, OKA-FIORI, C. Análise empírica da fragilidade potencial e emergente da bacia do rio Cubatãozinho, estado do Paraná. Caminhos da Geografia, v.8, n.22, set, p. 1-17. Uberlândia, 2007.

SOTCHAVA, V.B. O Estudo dos Geossistemas-Métodos em Questão. nº 16, IGEOG/USP, São Paulo, 1977.

TORRES, F. T. P.; NETO, R. M.; MENEZES, S. de O. Introdução à Geomorfologia. São Paulo, Cengage Learning, 2012. 322 p.

TRICART, J. Ecodinâmica. FIBGE, Rio de Janeiro, 1977.