
AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE POTENCIAL E EMERGENTE NO MUNICÍPIO DE QUIXERAMOBIM-CE

Caroline Domingos de **AMORIM**

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará-
UFC

E-mail: E-mail: caroline.amorim@alu.ufc.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3245-1290>

Carlos Henrique **SOPCHAKI**

Doutor em Geografia, Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do
Ceará-UFC

Email: carlos.geografia@ufc.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8127-4529>

*Recebido
Março/2026*

*Aceito
Junho/2026*

*Publicado
Junho/2026*

Resumo: A compreensão da relação homem–natureza constitui elemento essencial para a interpretação dos processos que atuam nos sistemas ambientais. O desequilíbrio nessa relação expõe, dentre outros aspectos, as marcas da degradação ambiental, tornando os estudos de fragilidade fundamentais para a prevenção de impactos e riscos. Tais estudos permitem classificar níveis de fragilidade dos ambientes naturais ou alterados pela ação humana. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a fragilidade ambiental no município de Quixeramobim/CE, considerando as unidades potenciais e emergentes propostas por Ross (1994) com algumas adaptações. Para a análise da fragilidade potencial, consideraram-se os componentes naturais pedologia, cobertura vegetal, pluviosidade, geologia e geomorfologia, e para a fragilidade emergente foram adicionadas as modificações decorrentes da ação antrópica, representadas pela

variável uso e ocupação da terra. Considerou-se ainda de modo complementar os critérios utilizados por Souza (2000), o qual, relaciona os níveis de fragilidade às condições de sustentabilidade ambiental, destacando que a sustentabilidade diminui à medida em que são notadas altas fragilidades. Os resultados indicaram que aproximadamente 34,35% do território municipal apresenta Fragilidade Potencial Baixa (FPB), 25,60% enquadra-se na classe de Fragilidade Potencial Média (FPM) e 40,06% corresponde à Fragilidade Potencial Alta (FPA). No que se refere à Fragilidade Emergente, 28,10% da área foi classificada como Fragilidade Emergente Baixa (FEB), 44,17% como Fragilidade Emergente Média (FEM) e 27,73% como Fragilidade Emergente Alta (FEA). Em vista disso, apresentou-se como essencial o cumprimento e a elaboração de políticas ambientais, políticas públicas e políticas específicas para o município que possam garantir um desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: sistemas ambientais; suscetibilidade; sustentabilidade; componentes ambientais.

ASSESSMENT OF POTENTIAL AND EMERGING FRAGILITY IN THE MUNICIPALITY OF QUIXERAMOBIM-CE

Abstract: Understanding the relationship between humans and nature is essential for interpreting the processes at play in environmental systems. Imbalances in this relationship expose, among other aspects, the marks of environmental degradation, making fragility studies fundamental for preventing impacts and risks. Such studies allow for the classification of fragility levels in natural environments or those altered by human activity. Therefore, this work aims to evaluate environmental fragility in the municipality of Quixeramobim/CE, considering the potential and emergent units proposed by Ross (1994) with some adaptations. For the analysis of potential fragility, the natural components of soil type, vegetation cover, rainfall, geology, and geomorphology were considered, while for emergent fragility, modifications resulting from human activity, represented by the variable land use and occupation, were added. Additionally, the criteria used by Souza (2000) were considered in a complementary manner, relating fragility levels to environmental sustainability conditions, highlighting that sustainability decreases as high levels of fragility are observed. The results indicated that approximately 34.35% of the municipal territory presents Low Potential Fragility (LPF), 25.60% falls into the Medium Potential Fragility (MPF) class, and 40.06% corresponds to High Potential Fragility (HPF). Regarding Emerging Fragility, 28.10% of the area was classified as Low Emerging Fragility (LEF), 44.17% as Medium Emerging Fragility (MEF), and 27.73% as High Emerging Fragility (HEF). In view of this, the implementation and development of environmental policies, public policies, and specific policies for the municipality that can guarantee sustainable development were presented as essential.

Keywords: environmental systems; susceptibility; sustainability; environmental components.

EVALUACIÓN DE LA FRAGILIDAD POTENCIAL Y EMERGENTE EN EL MUNICIPIO DE QUIXERAMOBIM-CE

Resumen: Comprender la relación entre los seres humanos y la naturaleza es esencial para interpretar los procesos que intervienen en los sistemas ambientales. Los desequilibrios en esta relación exponen, entre otros aspectos, las huellas de la degradación ambiental, lo que hace que los estudios de fragilidad sean fundamentales para la prevención de impactos y riesgos. Dichos estudios permiten clasificar los niveles de fragilidad en entornos naturales o alterados por la actividad humana. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo evaluar la fragilidad ambiental en el municipio de Quixeramobim/CE, considerando las unidades potenciales y emergentes

propuestas por Ross (1994) con algunas adaptaciones. Para el análisis de la fragilidad potencial, se consideraron los componentes naturales del tipo de suelo, la cobertura vegetal, la precipitación, la geología y la geomorfología, mientras que para la fragilidad emergente, se añadieron las modificaciones resultantes de la actividad humana, representadas por la variable uso y ocupación del suelo. Además, se consideraron de forma complementaria los criterios utilizados por Souza (2000), relacionando los niveles de fragilidad con las condiciones de sostenibilidad ambiental, destacando que la sostenibilidad disminuye a medida que se observan altos niveles de fragilidad. Los resultados indicaron que aproximadamente el 34,35% del territorio municipal presenta Fragilidad Potencial Baja (FPB), el 25,60% se encuentra en la clase de Fragilidad Potencial Media (FPM) y el 40,06% corresponde a Fragilidad Potencial Alta (FPA). En cuanto a la Fragilidad Emergente, el 28,10% del área se clasificó como Fragilidad Emergente Baja (FBE), el 44,17% como Fragilidad Emergente Media (FME) y el 27,17% como Fragilidad Emergente Alta (FEA). En vista de esto, la implementación y el desarrollo de políticas ambientales, políticas públicas y políticas específicas para el municipio que puedan garantizar el desarrollo sostenible se presentaron como esenciales.

Palabras clave: sistemas ambientales. susceptibilidad. sostenibilidad. componentes ambientales.

INTRODUÇÃO

Compreender a relação homem/natureza é importante para entender os diversos processos que atuam nos sistemas ambientais, pois a interferência humana nesses sistemas causa desequilíbrios e problemas no meio ambiente. Nesse sentido, tornam-se fundamentais estudos de fragilidade ambiental que permitam prevenir impactos e riscos, subsidiando o planejamento e gestão territorial.

Os estudos de fragilidade ambiental possibilitam uma análise dos componentes ambientais de modo integrado (Santos; Ross, 2012) sendo um tipo de investigação que utiliza uma abordagem relacionada aos princípios da ecodinâmica (Santos, 2015) que foram instituídos por Tricart (1977). Dessa forma, corresponde a uma proposta de classificação que determina níveis de fragilidade dos ambientes naturais ou alterados pela ação antrópica (Santos; Ross, 2012).

As unidades de fragilidade segundo Ross (1994) são divididas em potencial e emergente. Nas áreas de fragilidade potencial a atuação antrópica é discreta ou invisível, já nas áreas de fragilidade emergente são observadas transformações diretas provocadas pela ação antrópica (Fierz, 2008).

Assim, essas análises resultam na elaboração de mapas de fragilidade construídos a partir da integração de variáveis ambientais, como pedologia, vegetação, geomorfologia, clima, entre outras, os quais permitem identificar áreas com diferentes níveis de fragilidade.

A relevância desses instrumentos torna-se evidente quando se observam os impactos das atividades socioeconômicas sobre ambientes frágeis, que têm ocasionado danos irreparáveis à paisagem local, como é o caso da região semiárida (Crispim, 2016), a qual se apresenta degradada em razão da expansão histórica das fronteiras agrícolas e do extrativismo vegetal (Souza, 2000).

Os desequilíbrios ambientais se manifestam nos diferentes ambientes semiáridos por meio do desmatamento indiscriminado, do manejo inadequado dos solos e dos recursos hídricos, entre outros (Souza, 2000). Essa pressão exercida pelas atividades humanas, como por exemplo, as atividades agropecuárias e expansão urbana nas áreas mais frágeis, sem as devidas medidas compatíveis, vem a intensificar a fragilidade dos sistemas.

Diante desse cenário, ressalta-se a importância da realização desse estudo sobre a fragilidade ambiental no município de Quixeramobim (Figura 1), no estado do Ceará, considerando que se trata de uma área ainda pouco contemplada por pesquisas nessa temática.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo



Fonte: IPECE (2019); IBGE (2017); COGERH. Elaborado pelos autores (2023).

A área de estudo configura-se como um dos municípios de maior extensão territorial do estado do Ceará, apresentando, ao longo do tempo, mudanças expressivas nas formas de apropriação do espaço geográfico. Quixeramobim tem cerca de 3.325 km² e localiza-se na região

de planejamento do Sertão Central Cearense (Ceará, 2023). Possui características típicas do semiárido nordestino, com chuvas escassas e mal distribuídas, temperaturas elevadas, solos rasos, pedregosos recobertos pela vegetação de caatinga.

Cabe destacar, que a área abriga uma paisagem de maior destaque composta por monumentos naturais rochosos denominados de inselbergues, que são relevos residuais que se destacam em meio às superfícies aplainadas dos sertões (Ab' Saber, 2003) e estão inseridos, assim como os inselbergues do município de Quixadá, na proposta de implantação do Geoparque Sertão Monumental, elaborada por Freitas et al. (2019). Tais inselbergues possuem valor ambiental, científico, educacional, cultural e turístico (Olimpio *et al.*, 2021).

Considerando as características ambientais da área, as análises de fragilidade, potencialidade e limitações do município são relevantes para contribuir na elaboração de um melhor planejamento e ordenamento territorial, que busquem garantir políticas de desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto, a presente pesquisa objetiva avaliar a fragilidade ambiental no município de Quixeramobim/CE, considerando as unidades potenciais e emergentes propostas por Ross (1994) com algumas adaptações.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa compreendeu levantamento bibliográfico sobre a temática; coleta de dados cartográficos e de sensoriamento remoto; realização de trabalho de campo para reconhecimento *in loco* e validação das informações; classificação dos dados conforme a metodologia de Ross (1994) adaptada, para análise da Fragilidade Potencial (FP) e Fragilidade Emergente (FE), adotando graus de fragilidade de muito fraco (1) a muito forte (5); processamento dos dados para elaboração de mapas temáticos e de fragilidade ambiental utilizando os softwares QGIS 3.22 e ArcGIS 10.5; avaliação dos resultados por meio da relação entre fragilidade e sustentabilidade ambiental com base em Souza (2000).

CrITÉRIOS para análise dos resultados de fragilidade e a relação com a sustentabilidade ambiental conforme compartimentação geomorfológica

Na avaliação dos resultados considerou-se o fator geomorfologia como fundamental para a compartimentação do ambiente, pois assim como destaca Souza (2000, p. 11) “Os limites do relevo

e as feições do modelado são mais facilmente identificados e passíveis de uma delimitação mais rigorosa e precisa”.

Cada unidade geomorfológica conforme destaca Souza (2000) destina-se a ter características próprias, solos, vegetação, drenagem superficial, arranjos de solos e aspectos fitofisionômicos. Observa-se ainda os padrões de ocupação antrópica que são também influenciados.

Serão identificadas as potencialidades e limitações das unidades geomorfológicas, estabelecendo-se classes de fragilidade e sustentabilidade ambiental, de modo a subsidiar o planejamento e a gestão territorial. Dessa forma, aquelas que apresentam ambientes estáveis (fragilidade baixa) correspondem a setores de alta sustentabilidade, enquanto as de transição (fragilidade moderada) associam-se a setores de sustentabilidade moderada. Por sua vez, as caracterizadas por ambientes fortemente instáveis (fragilidade alta) enquadram-se em setores de baixa sustentabilidade.

Procedimentos para elaboração do mapa de fragilidade ambiental

Neste trabalho adota-se a metodologia de Ross (1994), a qual considera as unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis. As unidades ecodinâmicas estáveis ou de instabilidade potencial, correspondem às áreas que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana. Já as unidades ecodinâmicas instáveis ou de instabilidade potencial foram definidas como sendo aquelas cujas intervenções humanas transformaram os ambientes naturais, como por meio da prática do desmatamento e diferentes atividades econômicas.

No modelo proposto por Ross (1994), o mapa de fragilidade potencial é construído a partir das variáveis dissecação do relevo ou declividade, solos, cobertura vegetal e pluviosidade, enquanto o mapa de fragilidade emergente acrescenta a análise do uso e ocupação do solo.

Para a realização desta pesquisa, foram feitas três adaptações na metodologia de Ross (1994), relacionadas às variáveis geomorfologia, pluviosidade e à inclusão da variável geologia, sendo a descrição dessas variáveis, bem como os mapas produzidos para cada uma delas, apresentada nos subtópicos seguintes.

Geomorfologia

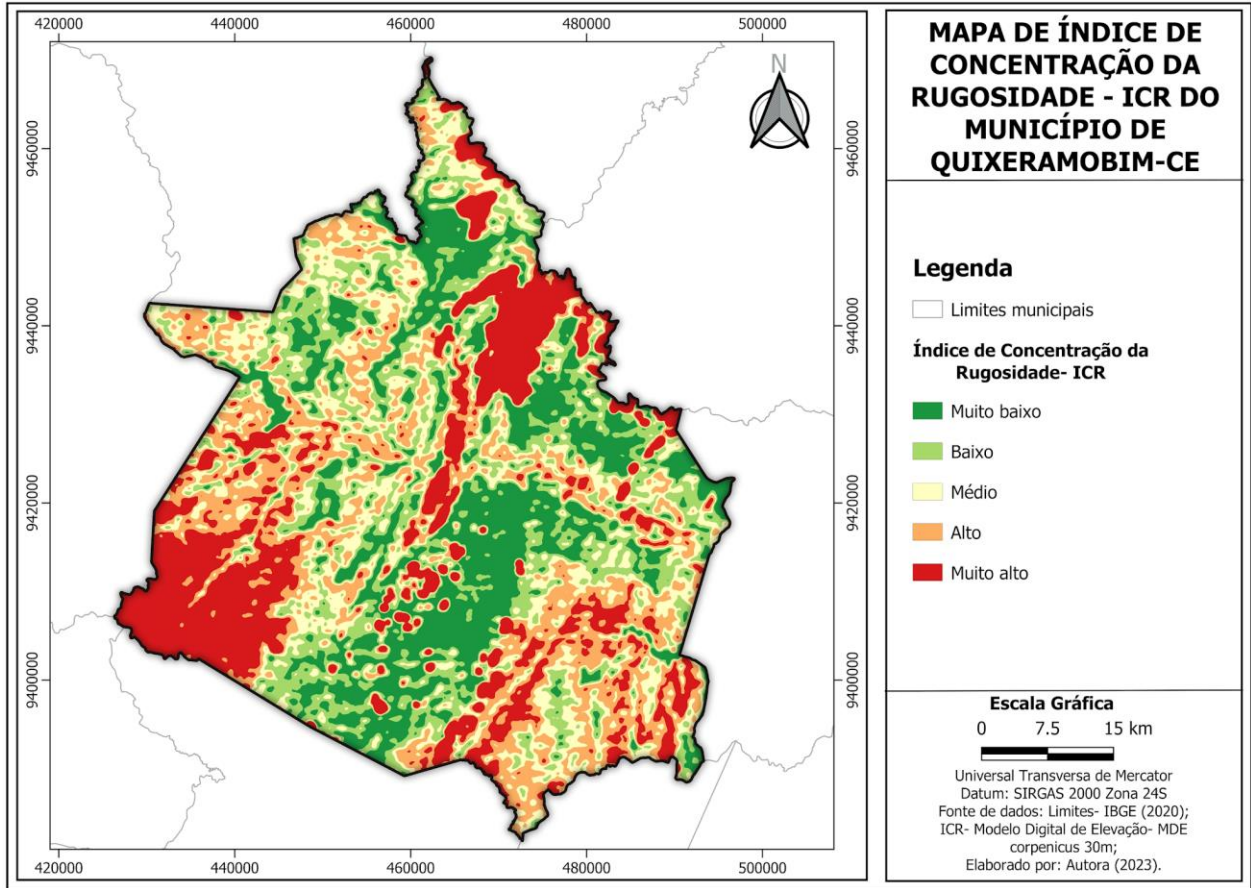
Em relação a variável geomorfologia, adotou-se o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) para minimizar as subjetividades na análise do relevo (Sopchaki; Sampaio, 2013; Sampaio; Augustin, 2014; Sopchaki, 2016). O ICR foi proposto por Sampaio (2008), e trata-se de uma ferramenta que possibilita quantificar, classificar e delimitar unidades de relevo, tendo como base a distribuição espacial da declividade, entendida como padrões de rugosidade.

A obtenção do ICR envolve a transformação do Modelo Digital de Elevação (MDE), no formato raster, em valores de declividade em porcentagem, convertidos posteriormente para o formato vetorial. Em seguida, aplica-se o Estimador de Densidade por Kernel, utilizando raio de busca de 564 m para o ICR local e 1128 m para o ICR global de acordo com a metodologia de Sampaio e Augustin (2014). Após essa etapa, realiza-se a normalização por meio da divisão da matriz resultante pelo número de pixels, por meio da álgebra de mapas. O ICR pode ser empregado para identificar padrões locais ou regionais de relevo; contudo, considerando que o ICR global destaca unidades regionais e pode não delimitar feições morfológicas locais (Sampaio; Augustin, 2014), adotou-se neste trabalho o ICR local.

No caso do ICR global os autores adotam valores discretizados em classes e no ICR local é realizado o uso de quartis para os intervalos de classes e o agrupamento dos dados em cinco classes: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

Para a elaboração do mapa de ICR (Figura 2) foi utilizado o MDE Corpenicus com resolução espacial de 30m da ESA que encontra-se disponível no *site* da *Open Topography*. As cores adotadas no mapa estão de acordo com Sampaio e Augustin (2014), no qual utilizam uma graduação de cores do verde a o vermelho, onde o verde indica índices de rugosidade mais baixo e o vermelho indica índices de rugosidades mais altos.

Figura 2 - Mapa de ICR do município de Quixeramobim



Fonte: IBGE (2020); Elaborado pela autora (2023).

Compartimentação geomorfológica do município de Quixeramobim

A compartimentação geomorfológica segue as recomendações da taxonomia do relevo elaborada por Ross (1992), sendo considerado nesta pesquisa os três primeiros táxons apresentados no Quadro 1.

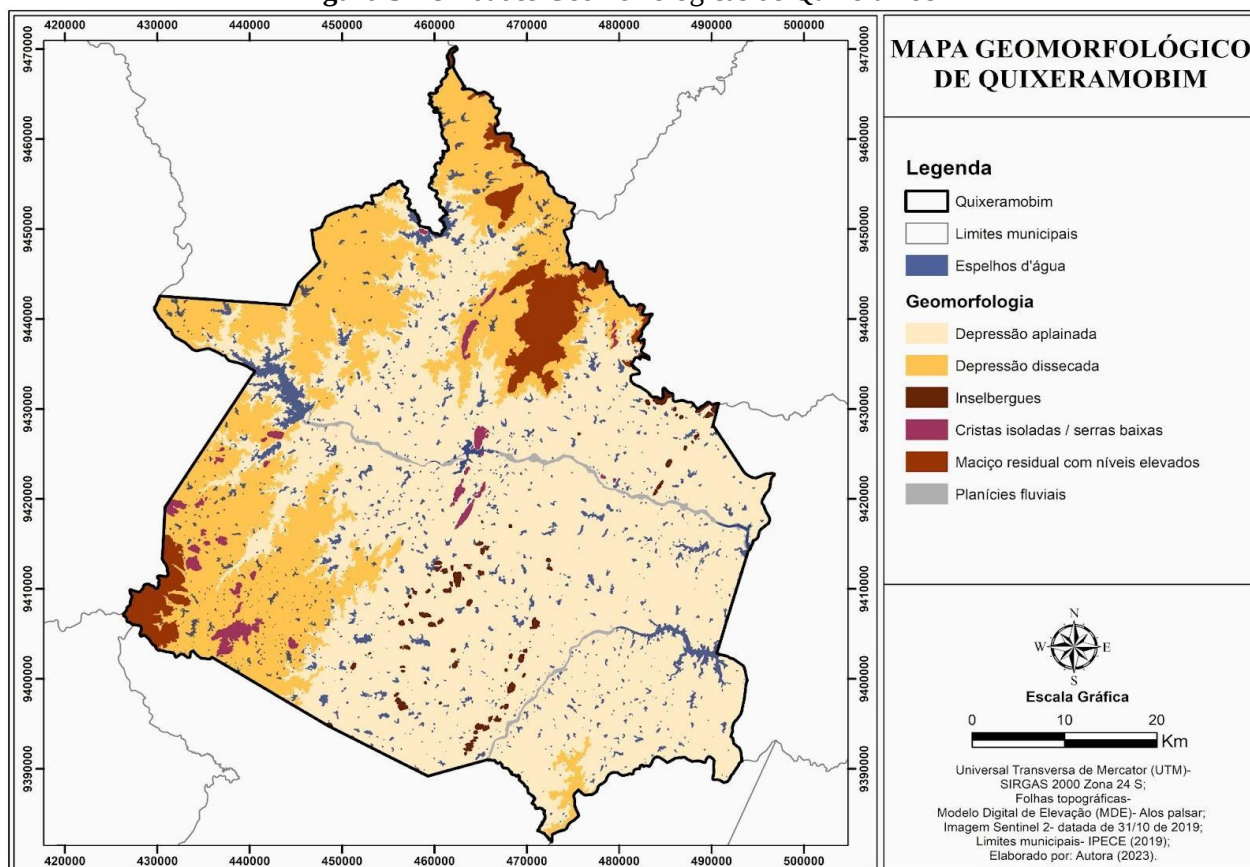
Quadro 1 - Características dominantes das unidades geomorfológicas/geoambientais

1º Táxon Domínios morfoestruturais	2º Táxon Morfoesculturas	3º Táxon Tipologia das formas	Características
Coberturas sedimentares	Planícies fluviais- Formas de Acumulação	Planícies fluviais do Rio Banabuiú e Rio Quixeramobim	Área plana com depósitos aluviais revestidos por matas ciliares.
Escudos e Maciços antigos Pré-Cambriano-Embasamento cristalino	Depressão sertaneja	Depressão sertaneja aplainada	Consistem em áreas planas a suave onduladas.
		Depressão sertaneja dissecada	Caracteriza-se pela ocorrência de pediplanos mais dissecados pela rede de drenagem.
		Campo de Inselbergues e Cristas residuais/serras baixas	São relevos residuais claramente perceptíveis em meio a depressão sertaneja e podem ser encontrados isolados ou em grupos, marcados pelo processo de erosão diferencial. Constituem áreas onde a litologia oferece mais resistência aos processos intempéricos.
	Maciços residuais	Serras com níveis residuais elevados dissecados em cristas.	São áreas mais elevadas, também dispersas pela depressão sertaneja, como resíduos da erosão diferencial.

Fonte: Elaborado pela autora, baseado na metodologia de Ross (1992).

Na Figura 3 observa-se um mapa representando as unidades geomorfológicas presentes no município.

Figura 3 - Unidades Geomorfológicas de Quixeramobim



Fonte: IPCE (2019). Fonte: elaborado pela autora (2023).

Geologia

Para Ross (1994) os aspectos geológicos são fundamentais para o entendimento da relação relevo, solo e rocha. Essa variável é um dos fatores importantes para o conhecimento das potencialidades dos recursos naturais, assim como os levantamentos de solo, relevo, clima, entre outros, no entanto, o autor não inclui esta variável na sua metodologia. Assim, optou-se pela inclusão da mesma neste trabalho.

Conforme aborda Gonçalves *et al.*, 2011, quanto mais elementos são incluídos na metodologia de análise da fragilidade ambiental mais precisos serão os resultados alcançados, ou seja, mais compatíveis com a realidade local.

As unidades geológicas presentes no município, assim como os valores de fragilidade estão representadas no Quadro 2. O nível de fragilidade das rochas foi classificado com base em Crepani *et al.*, (2001).

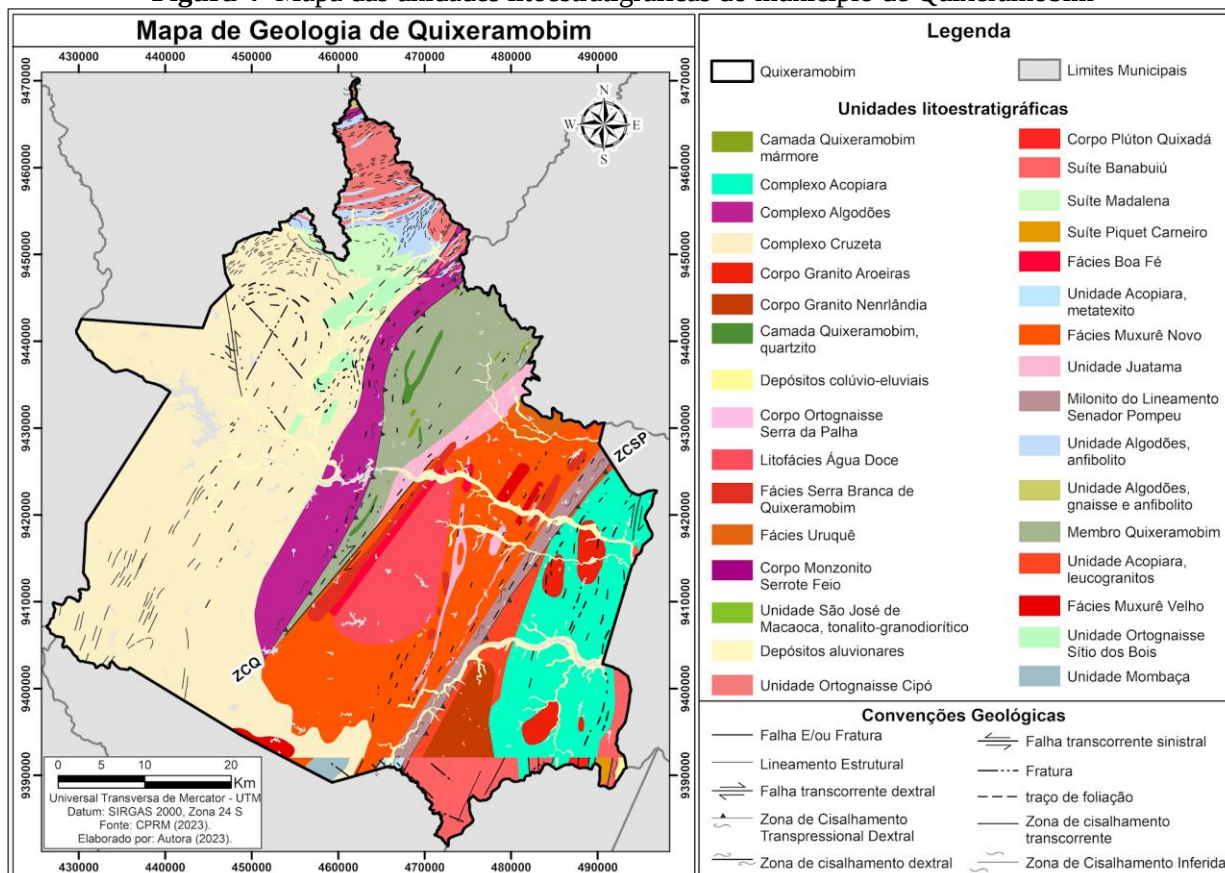
Quadro 2- Classes de fragilidade das unidades litoestratigráficas

Atributo	Classes de fragilidade	Unidades Litoestratigráficas
1	Muito baixa	Complexo Cruzeta, Unidade Ortognaisse Sítio dos Bois, Complexo Algodões, Membro Quixeramobim, Camada Quixeramobim Quartizito, Unidade Juatama, Fácies Muxurê Novo, Fácies Boa Fé, Litofácies Água Doce, Fácies Serra Branca de Quixeramobim, Milonito do Lineamento Senador Pompeu, Unidade Acopiara leucogranitos, Corpo Granito Nenrlândia, Suíte Banabuiú, Corpo Plúton Quixadá, Suíte Piquet Carneiro, Corpo Granito Aroeiras, Fácies Muxurê Velho, Unidade Mombaça, Unidade Acopiara metatexito, Suíte Madalena, Unidade Ortognaisse Cipó, Unidade Algodões anfibolito, Corpo Ortognaisse Serra da Palha, Corpo Monzonito Serrote Feio, Unidade Algodões gnaisse e anfibolito, Unidade São José de Macaoca tonalito-granodiorítico.
2	Baixa	Camada Quixeramobim Mármore, Complexo Acopiara.
3	Média	-
4	Alta	-
5	Muito Alta	Depósitos aluvionares, colúvio-eluviais

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Crepani *et al.*, (2001).

O mapa de geologia de Quixeramobim (Figura 4) foi elaborado a partir de arquivos vetoriais na escala 1:100.000 disponibilizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Além das unidades litoestratigráficas, o mapa apresenta estruturas geológicas, como falhas, fraturas, lineamentos, diques e as zonas de cisalhamento de Senador Pompeu (ZCSP) e de Quixeramobim (ZCQ).

Figura 4- Mapa das unidades litoestratigráficas do município de Quixeramobim



Fonte: CPRM (2023); Elaborado pela autora (2023).

Pedologia

Para a variável solo, foram adotados os valores de fragilidade propostos por Ross (1994, 2006), Souza (2000) e Crispim (2016), apresentados no Quadro 3.

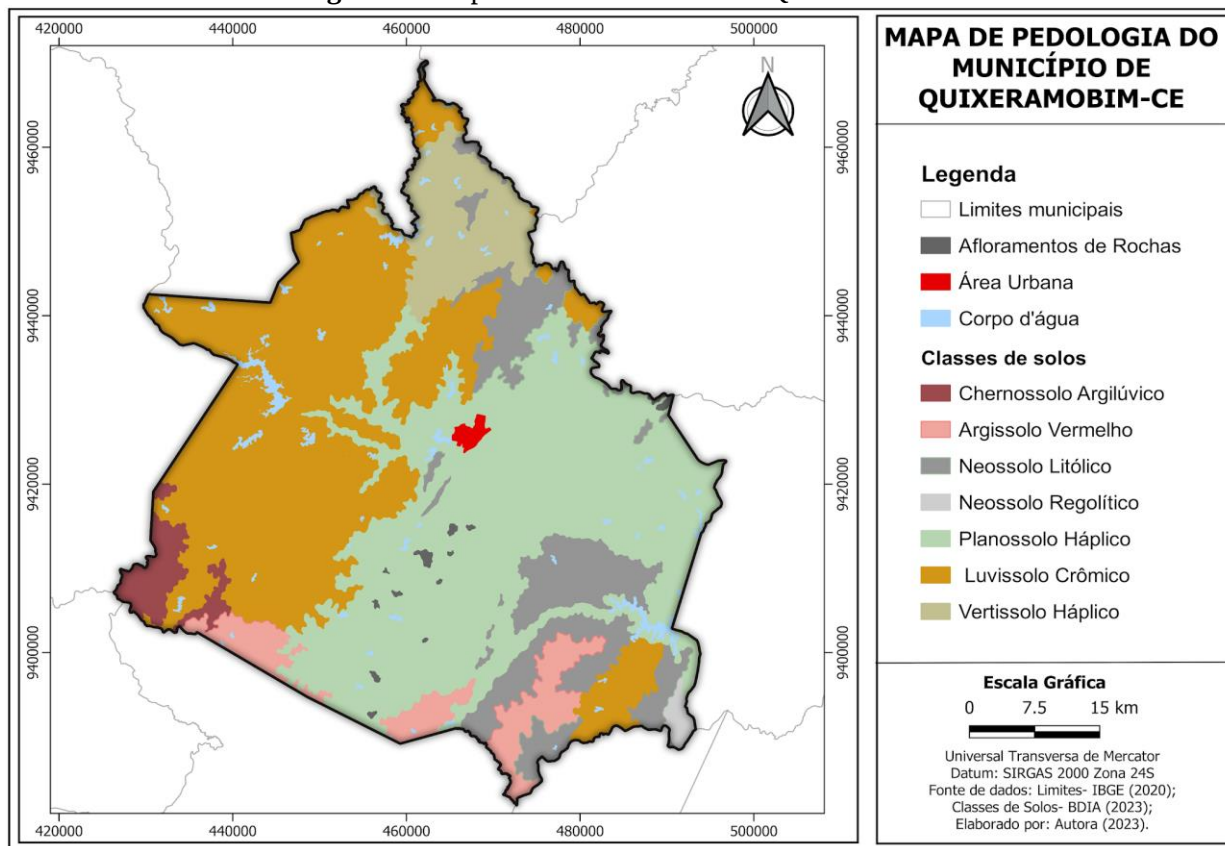
Quadro 3- Classes de fragilidade para a variável solo

Atributo	Classes de fragilidade	Tipos de solos
1	Muito baixa	-
2	Baixa	-
3	Média	Argissolos
4	Alta	Luvisolos, Planossolos, Chernossolos, Vertissolos.
5	Muito Alta	Neossolos, Afloramentos rochosos.

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2006), Souza (2000), Crispim (2016).

O mapa de pedologia (Figura 5) foi elaborado com arquivos vetoriais dos tipos de solos disponibilizados pelo Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA), na escala 1:250.000, adotando as cores recomendadas pelo Manual Técnico de Pedologia (Brasil, 2015).

Figura 5 - Mapa das classes de solo de Quixeramobim



Fonte: IBGE (2020); BDIA (2023); Elaborado pela autora (2023).

Pluviosidade

Para Ross (1994) a situação pluviométrica anual é também considerada como parâmetro para a análise da fragilidade. No entanto, nesta pesquisa considerou-se mais importante do que a situação pluviométrica, a intensidade pluviométrica (IP) que se refere a média de precipitação anual (mm) dividida pela duração do período chuvoso, neste caso, quatro meses (Quadro 4). Conforme destaca Crepani *et al.*, (2001), quando a IP é elevada observa-se uma maior capacidade de erosão e quando a IP é baixa ocorre menores riscos de erosão nas unidades de paisagem.

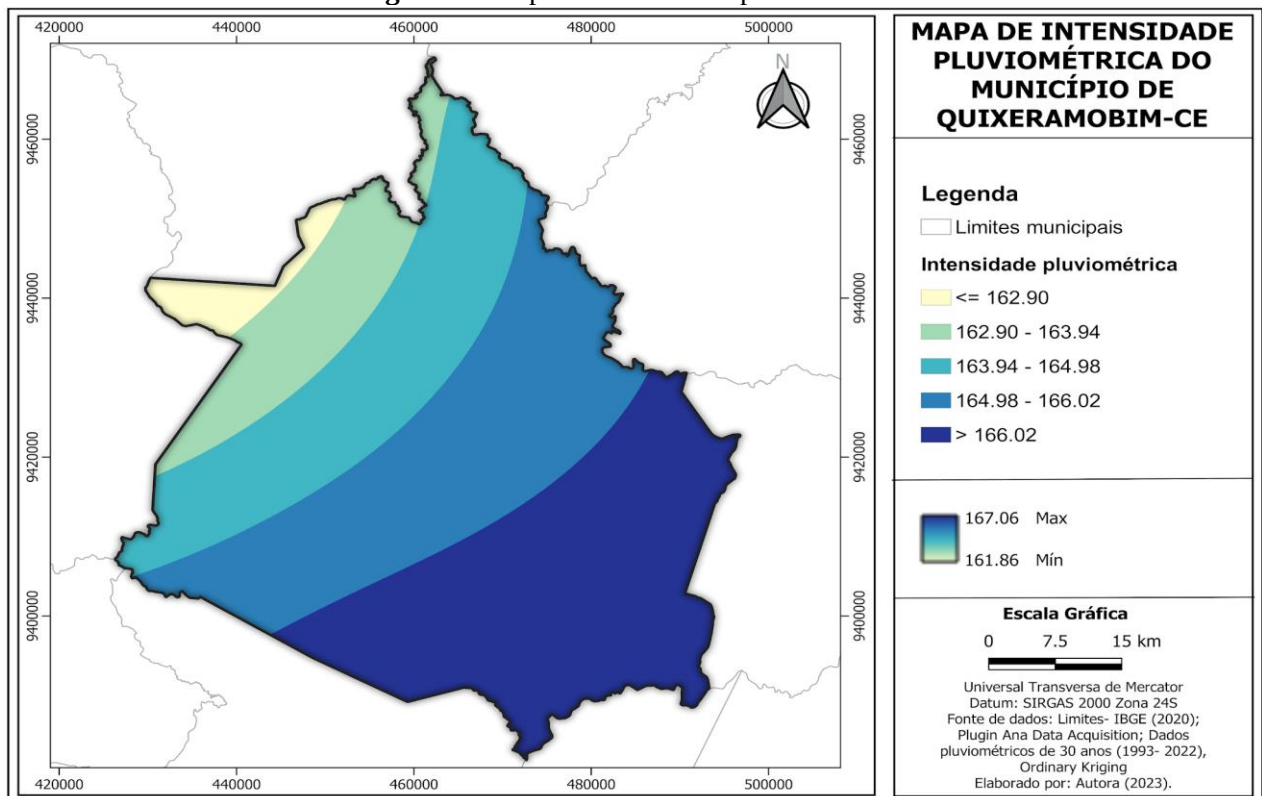
Quadro 4 - Níveis hierárquicos dos comportamentos de IP

IP	Fragilidade	Peso
$IP \leq 125 \text{ mm/ano}$	Muito baixo	1
$125 < IP \leq 230 \text{ mm/ano}$	Baixo	2
$230 < IP \leq 360 \text{ mm/ano}$	Médio	3
$360 < IP \leq 450 \text{ mm/ano}$	Alto	4
$IP > 450 \text{ mm/ano}$	Muito alto	5

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Crepani (2001) seguindo hierarquia de Ross (1994).

Na produção do mapa utilizou-se o *plugin Ana Data Acquisition*, para obtenção dos arquivos vetoriais das estações e os dados de pluviometria (mm). Foi utilizado também o *Excel* para tratamento desses dados e para a geração das médias pluviométricas de 30 anos (1993-2022) de cada estação, sendo possível realizar o cálculo para obter a IP. Os dados foram adicionados à tabela de atributos e foram interpolados por meio da ferramenta *Ordinary kriging*, gerando o mapa de IP (Figura 6).

Figura 6 - Mapa de intensidade pluviométrica



Fonte: IBGE (2020). Elaborado pela autora (2023).

Cobertura vegetal e uso da terra

Para as variáveis cobertura vegetal e uso da terra foram adotados os valores de fragilidade conforme Ross (1994) e Crispim (2016). Esses valores podem ser observados no Quadro 5.

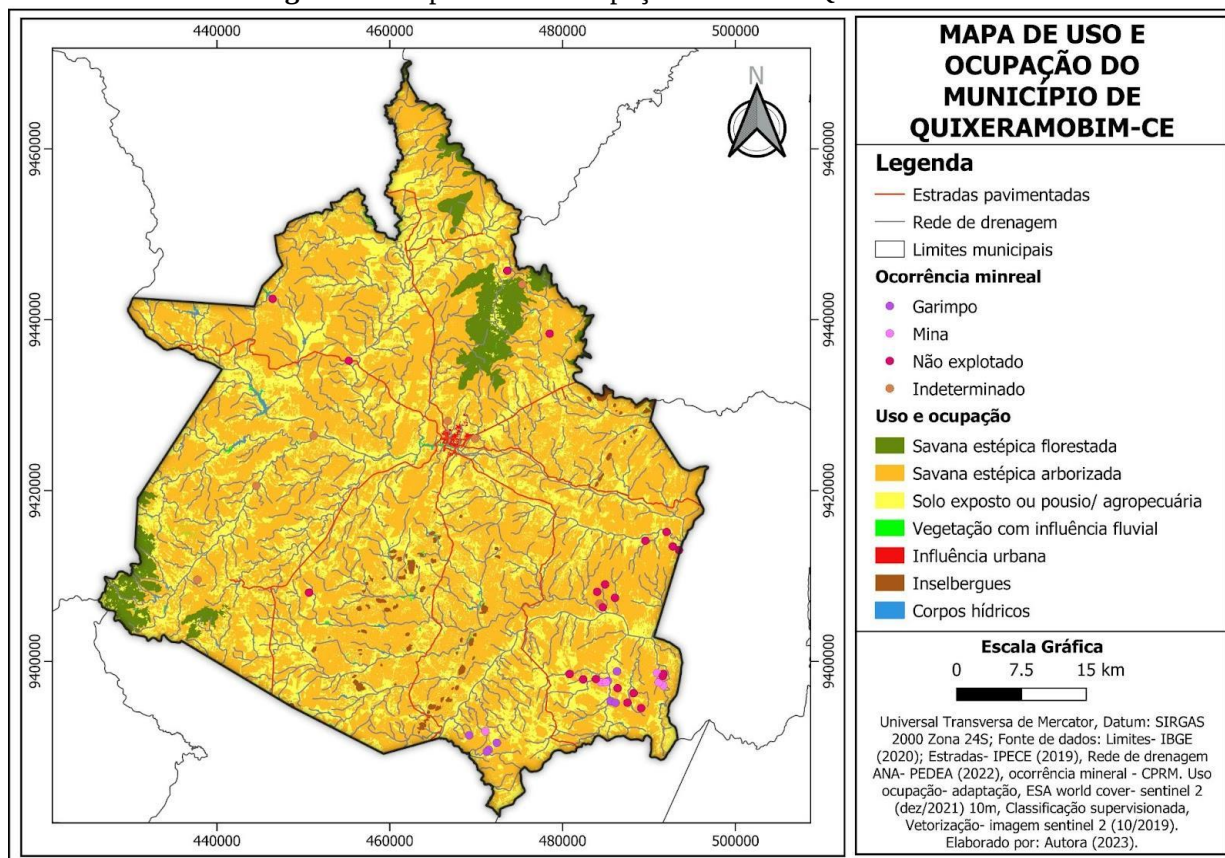
Quadro 5 - Classes de fragilidade para a variável uso e ocupação.

Atributo	Classes de fragilidade	Tipos de uso
1	Muito baixa	Savana estépica florestada
2	Baixa	Savana estépica arborizada
3	Média	-
4	Alta	Mata ciliar/ produção agroextrativista
5	Muito Alta	Solo exposto ou pousio/ agropecuária, influência urbana, afloramentos rochosos

Fonte: Elaborado pela autora adaptado de Ross (1994), Crispim (2016).

Na produção do mapa de uso e ocupação (Figura 7) utilizou-se como base o arquivo *raster* da *ESA world Cover* com resolução espacial de 10m, elaborado a partir da imagem de satélite Sentinel 2, de dezembro de 2021, adaptado à realidade da área de estudo.

Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo de Quixeramobim



Fonte: IBGE (2020); IPECE (2019); ANA-PEDEA (2022); Elaborado pela autora (2023).

Para adquirir os demais dados de vegetação que não estavam disponíveis no *raster* da *ESA World Cover*, uma classificação supervisionada e vetorização foi realizada em um arquivo matricial Sentinel 2, de outubro de 2019 disponibilizado no site da *United States Geological Survey* (USGS). Outros dados vetoriais complementares foram utilizados, como limites, estradas, rede de drenagem e ocorrência mineral.

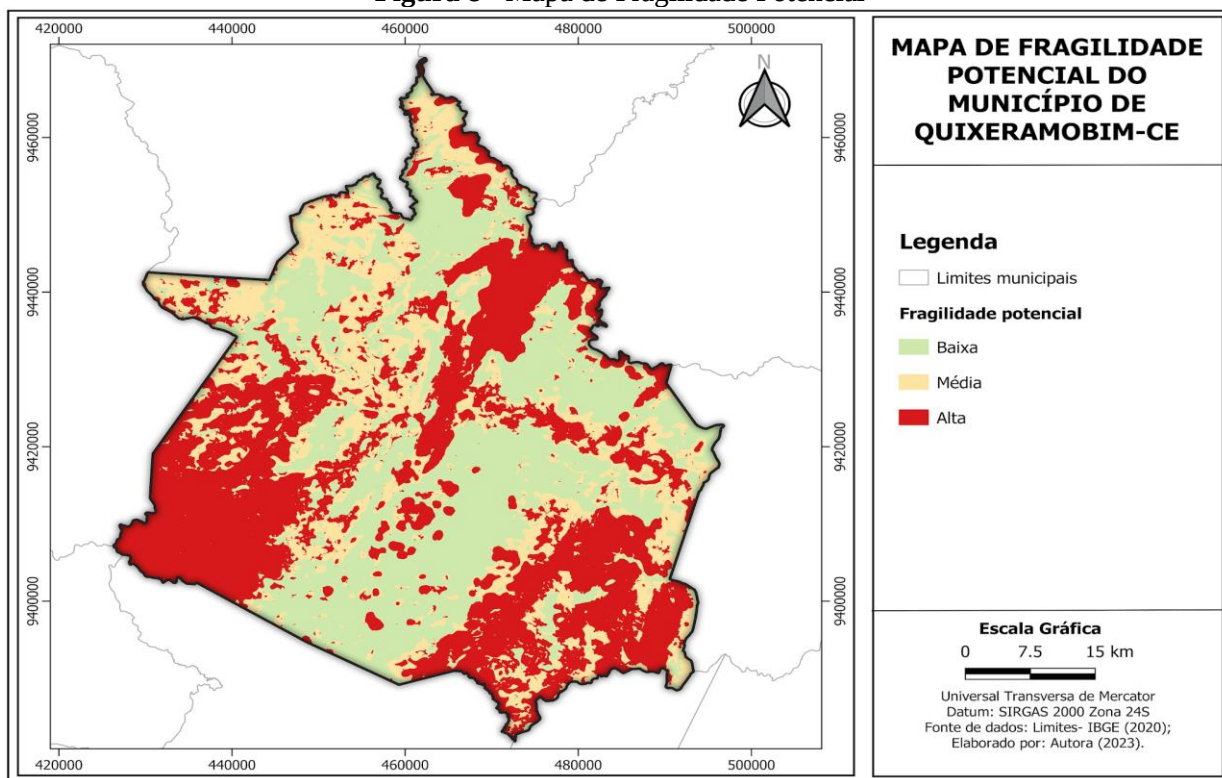
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerações sobre a fragilidade ambiental no município de Quixeramobim

Neste subtópico são apresentados os resultados referentes aos mapas de fragilidade ambiental do município, correspondentes a FP e a FE. Em seguida, é estabelecida a relação da fragilidade com a sustentabilidade ambiental, destacando as principais características dominantes de acordo com cada classe de fragilidade.

No mapa de FP (Figura 8), a classe de Fragilidade Potencial Baixa (FPB) abrangeu aproximadamente 34,35% (1141,99 km²) da extensão territorial do município. A classe de Fragilidade Potencial Média (FPM) compreendeu cerca de 25,60% (851,24 km²) do território. A maior área foi atribuída à classe Fragilidade Potencial Alta (FPA), representando aproximadamente 40,06% (1331,75 km²) do município.

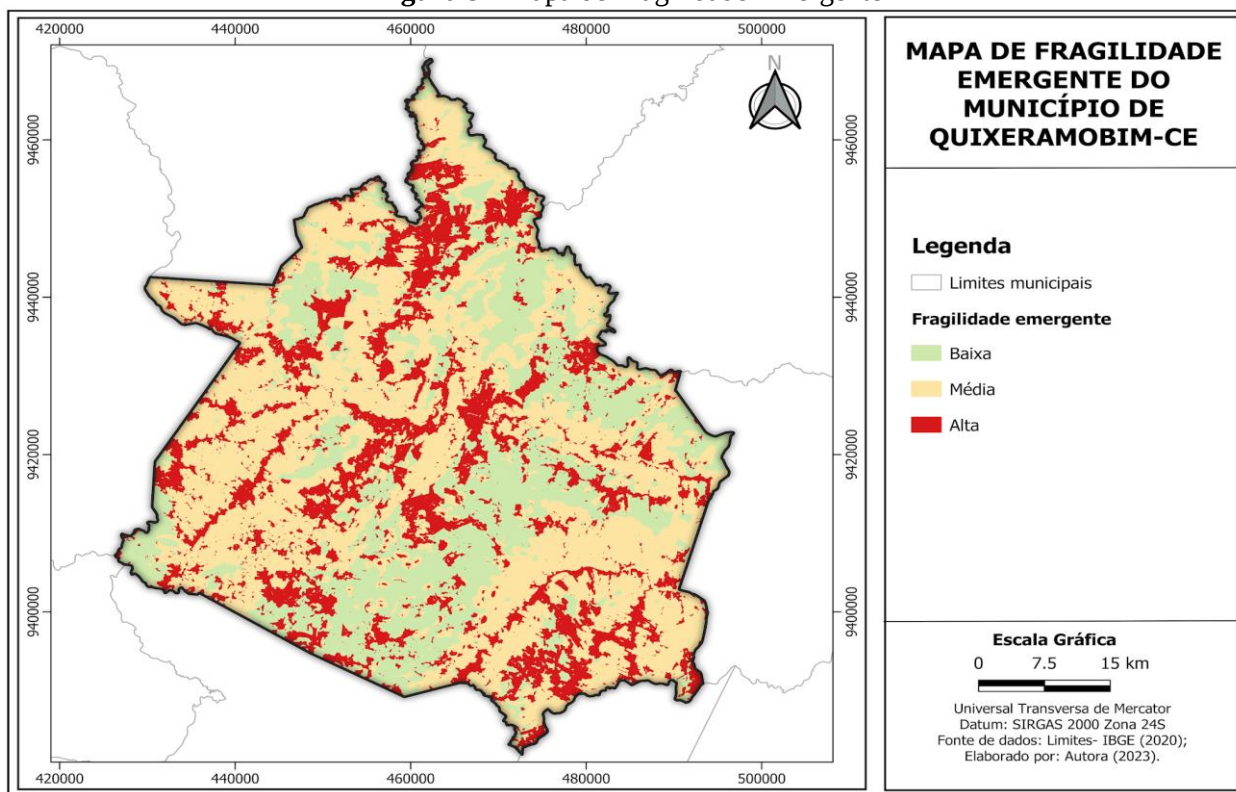
Figura 8 - Mapa de Fragilidade Potencial



Fonte: IBGE (2020). Elaborado pela autora (2023).

No mapa de FE (Figura 9), observa-se que, a Fragilidade Emergente Baixa (FEB) abrange 28,10% (934,26 km²) do território. A classe com a maior extensão é a Fragilidade Emergente Média (FEM), ocupando 44,17% (1466,24 km²). A Fragilidade Emergente Alta (FEA) abrangeu cerca de 27,73% (921.84 km²).

Figura 9 - Mapa de Fragilidade Emergente



Fonte: IBGE (2020); Elaborado pela autora (2023).

Estabeleceu-se um quadro explicativo (Quadro 6), relacionando a fragilidade e a sustentabilidade, destacando as principais características dominantes observadas em cada classe de fragilidade potencial e emergente.

Quadro 6 - Relação fragilidade e sustentabilidade ambiental dos subsistemas ambientais

Fragilidade ambiental	Subsistemas ambientais	Sustentabilidade ambiental	Características dominantes
FPB	Incluem em pequena parte a depressão dissecada e em maior parte a depressão aplainada.	Alta	Ambientes que apresentam menor índice de rugosidade e processos erosivos. Há uma representatividade de cobertura vegetal arborizada conservada, com a presença de planossolos, luvisolos, e vertissolos, em ambientes de litologias com menor fragilidade ambiental.
FPM	Parte da depressão sertaneja dissecada, da depressão aplainada e das planícies fluviais.	Moderada	Áreas que apresentam rugosidades médias, podendo apresentar vegetação parcialmente conservada. Locais marcados pela presença de depósitos aluvionares. Envolvem ambientes de argissolos, luvisolos, planossolos, vertissolos.

FPA	É predominante em todos os subsistemas (Maciços, inselbergues, cristas, planícies fluviais, depressão dissecada e aplainada.	Baixa	Áreas que apresentam altos índices de rugosidade, sujeitos a processos erosivos acelerados. Há uma representatividade de ambientes com falta de cobertura vegetal/ solos expostos. Nos maciços residuais apesar do avanço dos solos expostos ainda se encontra uma vegetação florestada conservada, porém há rugosidades muito altas. Nessas condições esses ambientes incluem também solos com maiores fragilidades como os neossolos litólicos e regolíticos, além de planossolos, chernossolos, argissolos e luvisolos e as litologias que variam desde muito baixa a alta fragilidade como é o caso dos depósitos colúvio-eluviais e aluvionares.
FEB	Grande parte da depressão sertaneja aplainada e dos maciços residuais e cristas, pequena parte da depressão sertaneja dissecada.	Alta	Locais com cobertura vegetal arborizada e florestada conservada. Apresentando ausência de solos expostos e usos e ocupações como agropecuária.
FEM	Incluem parte da depressão aplainada e dissecada, e das cristas residuais.	Moderada	Ambientes que apresentam vegetação parcialmente conservada, com pouca quantidade de solos expostos. Nessas áreas há uma grande tendência ao aumento da degradação ambiental, tendo em vista a ausência de manejos adequados.
FEA	Parte da depressão aplainada e dissecada, e das planícies fluviais e maciços, além dos inselbergues.	Baixa	Nessas áreas a vegetação praticamente não existe, onde os usos e ocupações são intensos, como agropecuária, expansão urbana e solos expostos ou em pousio o que tem contribuído como atividades potencializadoras da degradação ambiental, pelo fato da ausência de manejos adequados. É muito marcante nas APPs, totalmente destituídas de vegetação, que servem para os intensos usos de agricultura e pecuária, e que também apresentam altos índices de rugosidade. Há ausência de planejamento ambiental e delimitação em tais áreas, contribuindo para uma alta degradação ambiental.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Com base nas características dominantes e os graus de sustentabilidade de cada classe de fragilidade ambiental, torna-se fundamental, com base na compartimentação geomorfológica do município, descrever as potencialidades, limitações, usos/impactos referente a cada sistema/subsistema ambiental (Quadro 7).

Quadro 7- Potencialidade, limitações, uso/ impactos dos sistemas/subsistemas ambientais.

Sistema	Subsistema	Potencialidade	Limitações	Uso/ impactos
Depressão sertaneja	Depressão aplainada	Solos de boa a média fertilidade natural. Possui alto potencial para o desenvolvimento de atividades agropecuárias e à ocupação urbana.	Solos rasos e pedregosos com baixa capacidade de retenção de água. Altas taxas de evaporação. Áreas suscetíveis à desertificação.	Desmatamento, queimadas, poluição, solo exposto, perda da biodiversidade da caatinga. Impactos provenientes dos Intensos usos de agricultura, pecuária, expansão urbana e mineração.
	Depressão Dissecada			
	Inselbergues e cristas residuais	Extrativismo mineral, valor estético e paisagístico, ecossistema único, potencial turístico, didático e recreativo. Potencial para estudos geológicos, geomorfológicos, entre outros. Apresentam paisagem cênica, rochas resistentes, são muito íngremes, com potencial para escoamento superficial.	Relevos rochosos ou com solos bastante rasos, desnudas ou com a presença de vegetação rupícola no caso dos inselbergues e nas cristas há a presença de vegetação arborizada. Apresentam limitação às práticas de agricultura e construções. Necessitam de maior fiscalização, cumprimento do plano de manejo e leis ambientais. A acessibilidade também se apresenta como fator limitante. São bastante suscetíveis ao intemperismo e são ambientes impróprios para a agricultura.	Suscetível a mineração e a impactos provenientes das práticas de turismo, como poluição por meio do lixo nas áreas dos inselbergues. E as cristas apresentam-se bastante suscetíveis ao desmatamento, queimadas, e usos e ocupações.

Maciços residuais	Serras secas	Solos de boa fertilidade natural. Temperaturas mais amenas, vegetação de caatinga de porte arbóreo. Favorece a formação de uma rede de drenagem superficial. Extrativismo mineral.	Há limitações em relação às práticas agropecuárias. Processos intempéricos recorrentes. Alta suscetibilidade à erosão. Solos pouco profundos ou rasos.	Desmatamento, queimadas, extrativismo mineral, suscetível a uso e ocupações, e especulações imobiliárias.
Planícies fluviais	Planícies fluviais do Rio Banabuiú e Rio Quixeramobim	Boa disponibilidade hídrica. Solos com boa fertilidade natural, podendo conter solos profundos. Alto potencial para atividades agrícolas/agroextrativistas.	Salinização. Inundações periódicas. Contaminação e poluição dos recursos hídricos. Expansão urbanas em APPs.	Degradação das matas ciliares. Ocupações irregulares. Rejeitos de mineração. Assoreamento dos rios. Destinação inadequada de efluentes domésticos e industriais. Inundações periódicas.

Fonte: elaborado pela autora (2023).

As ações antrópicas são as principais responsáveis por exercerem pressões nos geoambientes, como a urbanização desordenada, a mineração, a agricultura e a pecuária. Dessa forma, alguns impactos se apresentaram bastante comuns, como o desmatamento, queimadas, poluição, erosão, alterações permanentes na paisagem, perturbações na biodiversidade local.

As atividades humanas que representam maiores extensões, que vão desde o urbano ao rural, e mais intensamente estão presentes na depressão sertaneja, são as atividades agrícolas e pecuaristas, que contribuem para a degradação ambiental. Tais atividades podem levar a diversos problemas ambientais, como o desmatamento, queimadas e demais impactos decorrentes do manejo inadequado dos solos, como é o caso da erosão e da diminuição da capacidade do solo de reter água e nutrientes.

Quando se trata das atividades agropecuárias, a questão do desmatamento apresenta-se bem comum, pois ocorre o processo de retirada da vegetação para dar lugar às pastagens e à expansão das plantações, ocasionando a perda de habitats e a diminuição da diversidade biológica. O uso de fertilizantes e agrotóxicos utilizados nas culturas pode comprometer a qualidade da água, representando riscos à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos. Além disso, a criação intensiva

de gado pode levar à compactação do solo, através do pisoteio constante dos animais e principalmente à falta de práticas de manejo do solo adequadas.

Outro problema bastante preocupante está relacionado à urbanização nas áreas de planícies fluviais, locais bastante suscetíveis a impactos ambientais. São inúmeras as edificações residenciais localizadas a poucos metros do rio Quixeramobim. Ou seja, não há respeito às delimitações das APPs conforme as regulamentações presentes no Código Florestal Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012).

Essas áreas acabam se tornando atrativas para as atividades humanas, por estarem localizadas próximas aos rios. Além disso, se apresentam geralmente planas e com solos férteis. Nesses ambientes é bastante comum também atividades agrícolas. Observa-se ainda que estão sujeitas a inundações periódicas podendo ocasionar danos materiais aos moradores por exemplo.

Além disso, como são áreas que já estão propensas naturalmente à instabilidade, o fato da erosão do solo nas margens pela ação dos rios, pode levar ao desabamento de terras, ameaçando a segurança dos residentes. A própria natureza geográfica e condições naturais das planícies fluviais representam perigos aos residentes dessas áreas. Esse tipo de ocorrência deixa evidente que a urbanização está descontrolada, sem indícios de que essas irregularidades estejam passando por algum tipo de fiscalização.

Outro fato, é a poluição nas planícies fluviais. No entorno do rio Quixeramobim, no trecho urbano, ocorre poluição por meio do despejo de resíduos industriais, domésticos, entre outros. Observa-se ainda, esgotos que escorrem diretamente para dentro do rio sendo comum a presença do lixo. Essa questão ocorre em muitas áreas próximas ao rio.

Tal situação é preocupante quando se verifica que mesmo com a presença de placa indicando que é proibido colocar lixo, ou de lixeira distribuída com frase como “Cidade limpa”, ainda há insistência da população em colocar o lixo em locais inadequados.

Em um ponto específico no Planalto Nova Pompeia, dentro da zona urbana, há um trecho de rio canalizado. Este trecho mostra-se poluído, havendo mau cheiro no local. Os esgotos das edificações que estão nas proximidades foram projetados diretamente para dentro do rio canalizado.

Outro ponto a ser comentado sobre os impactos ambientais no município, está ligado aos locais onde há presença dos inselbergues. Em um primeiro momento, verifica-se a presença das

atividades turísticas nesses ambientes, tendo em vista que as mesmas têm se tornado cada vez mais popular, pois as pessoas são atraídas pela beleza cênica, biodiversidade e pelo potencial para lazer e diversão, como trilhas, escaladas, etc. Isso reforça a necessidade de adoção de práticas adequadas de educação ambiental e conservação do local.

Além disso, deve-se levar em conta que no território dos inselbergues, em algumas áreas, existem gravuras e pinturas rupestres que podem estar sujeitas a práticas de turismo predatório. Gravuras são encontradas, por exemplo, na Pedra do Letreiro, no distrito de Quixeramobim, zona rural, área bastante visitada por turistas, alunos, entre outros. A presença de pinturas rupestres, por exemplo, ocorre em um inselbergue na Fazenda Guarany, no distrito de Lacerda, também na zona rural.

Outro aspecto relevante diz respeito às marcas do extrativismo mineral que se mostram presentes, existindo locais de mineração desativados e ativados, legalizados e não legalizados. Dois locais de mineração desativados foram identificados. Hoje representam pontos histórico-culturais, que testemunham que a atividade de mineração é consideravelmente antiga no município. Um dos locais refere-se à extração de granito e outro a de calcário dolomítico, descritos abaixo.

O local de mineração desativada de granito encontra-se localizado na antiga pedreira da Fazenda Salva Vidas, no distrito de Quixeramobim, zona rural, em um inselbergue denominado popularmente de “Pedra do Corte”. Observam-se no local algumas perfurações feitas no inselbergue. O granito extraído foi utilizado no segundo projeto da barragem de Quixeramobim. Os danos causados ao inselbergue são bastante visíveis e irreversíveis.

A mineração desativada de calcário dolomítico encontra-se localizada nas proximidades do maciço residual de Santa Maria, no distrito de Quixeramobim, zona rural. No local é possível observar alguns resquícios do mineral e ainda a presença de um forno antigo.

Visto isso, cabe observar algumas áreas com mineração ativa no município. Nota-se a extração de granito ilegal no assentamento recreio. No local, existia um enorme lajedo que foi explorado de forma intensiva, encontrando-se hoje completamente deteriorado. Nota-se também rejeitos da mineração deixados no local. É relevante ressaltar que o granito extraído na área é tanto para o uso no calçamento de vias como para a construção civil.

Em outro local, nas proximidades do maciço residual de Santa Maria, no distrito de Quixeramobim, zona rural, observa-se uma área de mineração legalizada, correspondente à empresa Cal Viva, responsável pela extração de calcário e dolomita.

Essas e demais ocorrências minerais no município são retratadas pela CPRM (BRASIL, 2023). Destaca-se a presença de mina ativa na localidade de Berilândia com a exploração do lítio, e minas ativas na Fazenda Condado, com a exploração de muscovita, turmalina, lítio, mica, berílio, entre outros. Existe também uma mina inativa no Sítio Parnasio que extraia água marinha, feldspato, muscovita, quartzo e turmalina (Brasil, 2023; Vidal *et al.*, 2005).

O garimpo é bem marcante nas seguintes localidades: Berilândia (água marinha, mica, turmalina, e feldspato retratado na Figura 49), Boa situação (ametista, quartzo fumê), Massapê do boi (ametista, calcedônia, quartzo, berilo, feldspato, muscovita, turmalina), e Vargem redonda (água marinha, berilo, feldspato, muscovita) (Brasil, 2023; Vidal *et al.*, 2005). Além dessas localidades, conforme Brasil (2023), existem muitas outras com ocorrência mineral que ainda não foram exploradas.

Diante disso, algumas medidas foram sugeridas com a finalidade de subsidiar um planejamento mais sustentável na área de estudo, como um manejo adequado do solo, monitoramento ambiental, uso consciente dos recursos hídricos, diagnósticos adequados para as atividades de mineração, estabelecimento de zonas de uso apropriadas, recuperação ambiental, gerenciamento de resíduos e poluição, uso equilibrado de insumos químicos, uso consciente dos recursos hídricos, proteção e conservação da biodiversidade, adoção de técnicas/tecnologias de baixo impacto, turismo sustentável, reconhecimento e proteção dos monumentos naturais, planejamento urbano eficiente e sustentável, e ainda a conscientização da população.

A consideração desses aspectos amplia o entendimento sobre a fragilidade de determinadas áreas, contribuindo para a definição de medidas e estratégias de gestão direcionadas principalmente aos ambientes mais pressionados pelas ações antrópicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho, objetivou avaliar a fragilidade ambiental potencial e emergente. Assim, foram considerados componentes ambientais como geomorfologia, clima, geologia, vegetação, solos e a ação humana por meio da variável uso e ocupação da terra. Por meio desses componentes foi possível a elaboração dos mapas temáticos e de fragilidade. De modo complementar, analisou-se a relação da fragilidade com a sustentabilidade ambiental.

Os resultados demonstraram que em maior área é observado uma fragilidade potencial alta, representando ambientes bastante suscetíveis a processos erosivos; e uma fragilidade emergente

média, que apresenta ambientes sujeitos a altas fragilidades em decorrência da intensificação das atividades humanas, da desvalorização dada aos geoambientes, e da não adoção de medidas e regulamentações que possam minimizar os problemas ambientais. Observa-se ainda uma significativa área com fragilidade emergente alta, que necessita, assim como as demais, de cuidados especiais.

Verificou-se um desequilíbrio entre a relação sociedade natureza, que demonstrou dentre outros aspectos, as marcas da degradação ambiental. Dessa forma, nas áreas onde encontra-se baixa ou moderada instabilidade, tais cuidados são necessários para prevenir os problemas ambientais; e nas áreas com alta instabilidade, esforços contínuos podem contribuir para a redução e controle dos impactos.

Cabe ressaltar ainda a necessidade de cumprimento ou elaboração de políticas ambientais, políticas públicas e demais políticas específicas como por exemplo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) de 2000, que se encontra desatualizado, assim como o Código de Obras e Posturas, a Lei que dispõe sobre os Limites da Zona Urbana, a Lei de Organização Territorial e a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo.

Portanto, torna-se fundamental a efetivação de planejamentos e legislações de caráter territorial e ambiental que priorizem uma abordagem integrada dos componentes ambientais, levando em consideração suas fragilidades, sustentabilidade, potencialidades e limitações para garantir um desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

AB' SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal de Quixeramobim**. 2023. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-dataweb/module/perfil-municipal.xhtml>. Acesso em: 2 fev. 2023.

CREPANI, E. MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, 2001.

CRISPIM, A. B. **Fragilidade ambiental decorrente das relações sociedade/ natureza no semiárido brasileiro**: O contexto do Município de Quixadá-ce. 2016. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://www.uece.br/propgeo/pesquisa/dissertacoes-teses-e-relatorios/teses/teses-2016/>. Acesso em: 20 jan. 2026.

FIERZ, M. M. de S. **As abordagens sistêmicas e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo**: contribuição à geomorfologia das planícies costeiras. 2008. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001726928>. Acesso em: 2 jan. 2026.

FREITAS, L. C. B.; MONTEIRO, F. A. D.; FERREIRA, R. V.; MAIA, R. P. (org.) **Geoparque Sertão Monumental - CE**: proposta. Fortaleza: CPRM, 2019. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/21651>. Acesso em: 5 jan. 2026.

GONÇALVES, G. G. G.; DANIEL, O.; COMUNELLO, É.; VITORINO, A. C. T.; ARAI, F. K. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 797-808, dez. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rev.v41i4.25344>. Acesso em: 10 jan. 2026.

OLÍMPIO, J. L. S.; MONTEIRO, F. A. D.; FREITAS, L. C. B.; ALMEIDA, L. T. de; ALCÂNTARA, A. P. de; LOUREIRO, C. V.; NASCIMENTO, M. L.; MAIA, R. P. O que sabemos sobre os inselbergues de Quixadá e Quixeramobim, Nordeste do Brasil?. **William Morris Davis: Revista de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 19- 42, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v2n1.2021.110>. Acesso em: 5 jan. 2026.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.6, FFLCH-USP, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0002>. Acesso em: 7 jan. 2026.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH/USP, São Paulo, n. 8, , p. 65-76, 1994. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.

SAMPAIO, T. V. M. **Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – ES**. 2008. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFMG. Belo Horizonte, 2008.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 47-60, mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i1.376>.

SANTOS, J. de O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0005>.

SANTOS, J. de O.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental Urbana. **Revista da Anpege**, v. 8, n. 10, p. 127-144, ago. /dez. 2012. DOI: <https://doi.org/10.5418/RA2012.0810.0009>.

SOPCHAKI, C. H. **Influência do N amostral e das características do relevo na qualidade de modelos digitais do terreno**. 2016. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/45147>. Acesso em: 25 jan. 2026.

SOPCHAKI, C. H.; SAMPAIO, T. V. M. Estudo de Metodologias para identificação de formas de vertentes na bacia do rio curralinho- região metropolitana de Curitiba/PR. **Revista Geografar**, UFPR, v. 8, p. 100, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/geografar.v8i1.30945>. Acesso em: 20 jan. 2026.

SOUZA, M. J. N. de. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. In: SOUZA, M. J. N. de; MORAES, J. O. de; LIMA, L. C. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: Funece, 2000. p. 5-104.

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

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGeo) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).