

Estudos Geográficos

Revista Eletrônica de Geografia

Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Goiabal, utilizando inferência Fuzzy

João Vitor Guerrero¹  

José Augusto di Lollo²  

Alberto Gomes³  

Luiz Eduardo Moschini⁴  

Resumo: No âmbito do planejamento territorial sustentável, este artigo teve o objetivo de analisar a Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Goiabal, uma paisagem altamente antropizada localizada no município de Brotas, SP. Foram utilizados dados geoambientais de declividades, padrões de relevo, formas de terreno, pedologia e uso do solo, sistematizados por meio de inferência Fuzzy, gerando uma carta de Fragilidade Potencial (sem intervenção humana) e uma de Fragilidade Emergente (avaliando a influência das ações antrópicas). Os resultados indicaram que a bacia apresenta maiores fragilidades ambientais potenciais apenas na cabeceira principal (devido aos tipos de solo e declividades), em encostas Côncavas-Convergentes e nos locais onde há solos de origem extremamente arenosa. Entretanto, quando inserida a variável de uso, as classes de Fragilidade mais elevadas aumentam vertiginosamente, demonstrando a influência impactante das atividades humanas na área (principalmente com agricultura intensiva de cana-de-açúcar) e reforçando a necessidade de ações de ordenamento territorial.

Palavras-chave: Planejamento Territorial; Cartografia Geoambiental; Ecodinâmica; SIG.

¹ Pesquisador de Pós-Doutorado no Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás (UFG)

² Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus Ilha Solteira

³ Professor Associado do Departamento de Geografia da Universidade do Porto (UPorto)

⁴ Professor Associado do Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)



Este artigo está licenciado com uma licença Creative Commons

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN THE RIBEIRÃO GOIABAL WATERSHED, USING FUZZY INFERENCE

Abstract: Within the scope of sustainable territorial planning, this article aimed to analyze the Environmental Fragility of the Goiabal stream watershed, a highly anthropized landscape located in Brotas, SP. Geoenvironmental data on slopes, relief patterns, terrain forms, pedology, and land use were used, and systematized through Fuzzy inference, generating a Potential Fragility map (without human intervention) and an Emerging Fragility map (evaluating the influence of anthropic actions). The results indicated that the basin only presents greater potential environmental fragility in the main headwaters (due to soil types and slopes), Concave-Convergent slopes, and places with extremely sandy soils. However, when the use variable is inserted, the highest Fragility classes increase dramatically, demonstrating the impactful influence of human activities in the area (mainly intensive sugarcane agriculture) and reinforcing the need for territorial planning actions.

Keywords: Territorial Planning; Geoenvironmental Cartography; Ecodynamics; GIS.

ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD AMBIENTAL EN LA CUENCA DEL RÍO RIBEIRÃO GOIABAL, MEDIANTE INFERENCIA FUZZY

Resumen: En el ámbito de la planificación territorial sostenible, este artículo tuvo como objetivo analizar la Fragilidad Ambiental de la cuenca del Ribeirão Goiabal, paisaje altamente antropizado ubicado en el municipio de Brotas, SP. Se utilizaron datos geoambientales sobre pendientes, patrones de relieve, accidentes geográficos, edafología y uso del suelo, sistematizados mediante inferencia difusa, generando un gráfico de Fragilidad Potencial (sin intervención humana) y un gráfico de Fragilidad Emergente (evaluando la influencia de acciones antropogénicas). Los resultados indicaron que la cuenca presenta mayores debilidades ambientales potenciales sólo en las cabeceras principales (debido a los tipos de suelo y pendientes), en pendientes cóncavas-convergentes y en lugares donde existen suelos de origen extremadamente arenoso. Sin embargo, cuando se inserta la variable uso, las clases de Fragilidad más altas aumentan dramáticamente, lo que demuestra la influencia impactante de las actividades humanas en el área (principalmente con la agricultura intensiva de caña de azúcar) y reforzando la necesidad de acciones de planificación territorial.

Palabras clave: Planificación Territorial; Cartografía Geoambiental; Ecodinámica; GIS.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma unidade territorial fundamental para a análise da superfície terrestre e estudo das dinâmicas ambientais, uma vez que nela é possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os múltiplos agentes que a moldam, permitindo um gerenciamento mais efetivo das atividades de uso e conservação dos recursos naturais (BOTELHO, 2012; SANTOS, 2004; SILVA et al., 2003).

No contexto do planejamento territorial sustentável, alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 6 (Água Potável e Saneamento), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 13 (Ações contra a mudança do clima), 14 (Vida na

água), 15 (Vida Terrestre) e 17 (Parcerias e Meios de Implementação) (BRASIL, 2023), é imperativamente necessário ordenar as ações humanas tendo como base as potencialidades dos recursos naturais e as fragilidades das paisagens. Assim, Ross (2006) afirma ser crucial identificar e compreender, a partir de uma análise geográfica integrada, os fatores que acarretam fragilidades às bacias hidrográficas, em um atual contexto brasileiro de superexploração de recursos naturais e falta de planejamento.

A fragilidade ambiental de uma paisagem foi originalmente proposta por Ross (1994) e remete à Teoria Geral dos Sistemas proposta por Tricart (1977), sendo uma proposta de análise geográfica integrada que parte do princípio de que os recursos naturais devem ser utilizados a partir de critérios técnicos e científicos dentro de políticas de planejamento territorial sustentável, avaliando as potencialidades e restrições do território (KAWAKUBO et al., 2005; MASSA e ROSS, 2012; MOROZ e ROSS, 2019; ROSS, 1994; ROSS, 2012). Este conceito é essencial para subsidiar ações voltadas à conservação, recuperação e uso sustentável dos recursos naturais em bacias hidrográficas.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Goiabal, localizada no município de Brotas, São Paulo, e inserida em um contexto de crescente ocupação e uso do solo, apresenta características fisiográficas que tendem a torná-la suscetível a processos de degradação como erosão do solo, assoreamento de corpos d'água e perda de serviços ecossistêmicos essenciais (BROTAS, 2018; GUERRERO, J. V. R. et al., 2023), já constando como de alta prioridade para reflorestamento no relatório de ações planejadas pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré (CBH/TIETÊ-JACARÉ, 2021). Além, é uma paisagem extremamente importante para o equilíbrio regional, sendo um dos principais afluentes do rio Tietê-Jacaré. Diante disso, avaliar sua fragilidade ambiental é uma etapa indispensável para a formulação de políticas públicas e orientações de ordenamento que conciliem desenvolvimento econômico e preservação ambiental.

Nesse cenário, a cartografia geoambiental, nos moldes propostos por Cendrero (1975), tem emergido como uma ferramenta de grande contribuição aos estudos geográficos na temática ambiental, principalmente por sistematizar e operacionalizar a integração de informações que oferece uma visão holística da paisagem, fornecendo apoio à tomada de decisões (ROVANI e CASSOL, 2012;

ZACHARIAS, 2010). Diversos são os trabalhos que ressaltam sua importância no cenário nacional e internacional, tais como Assalve e Menezes (2023), (Periçato e Nunes (2024), Guerrero et al., (2020), Hauck et al., (2013), Romano et al., (2015), dentre outros.

Levando-se em consideração que a análise da Fragilidade Ambiental no contexto da cartografia geoambiental demanda a combinação de dados geoespaciais (MOREIRA et al., 2001), autores como Ferreira (2014) e Zhou e Chan (2017) mencionam a existência de incertezas na transição espacial entre categorias dos mapas básicos, refutando que esses limites sejam bruscos e bem definidos. Assim, os avanços nos modelos matemáticos e técnicas computacionais têm contribuído para a solução deste problema, em particular com a implementação da inferência Fuzzy, já que esta ferramenta é capaz de lidar com incertezas e subjetividades inerentes aos dados ambientais. Por meio de inferências baseadas em conjuntos Fuzzy, é possível integrar diferentes variáveis ambientais e produzir análises mais abrangentes e precisas (FERREIRA, 2014; JESIYA e GOPINATH, 2020; MOREIRA et al., 2001; ZADEH, 1965).

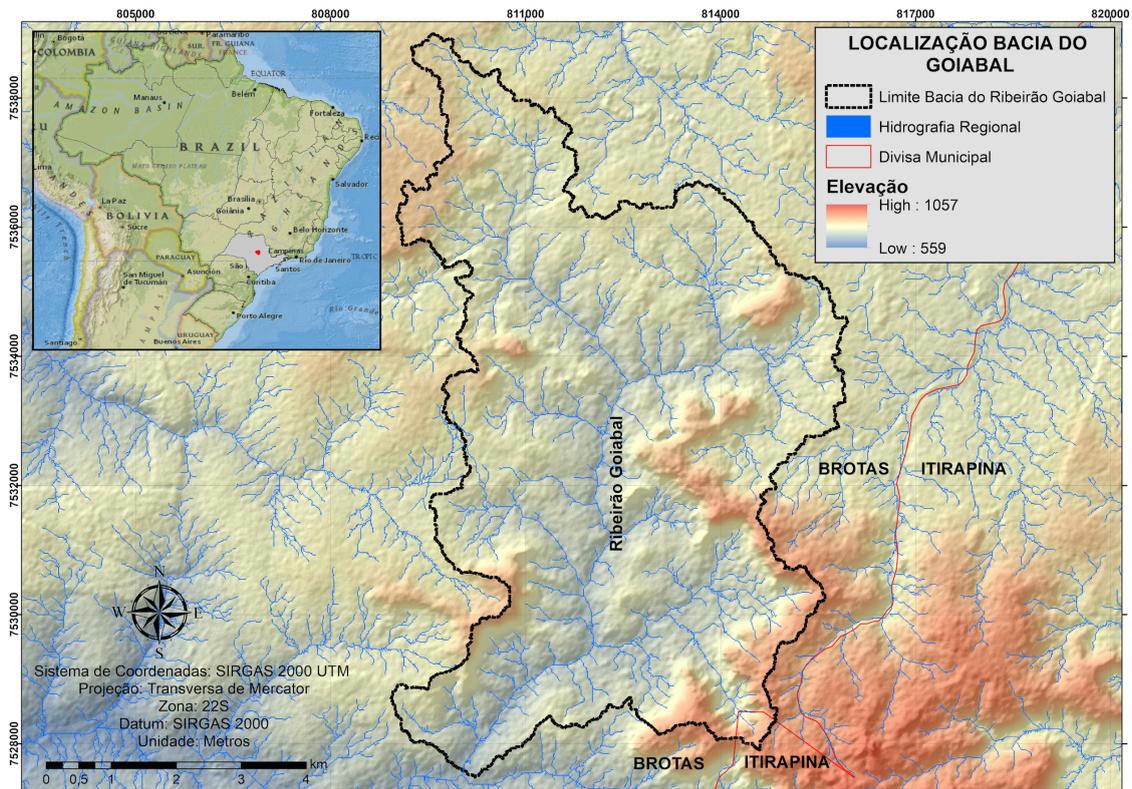
No contexto do planejamento territorial sustentável em bacias hidrográficas, este artigo teve como objetivo aplicar técnicas de cartografia geoambiental e inferência Fuzzy para analisar a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Goiabal. Espera-se que a identificação das áreas com maior e menor fragilidade na bacia possa fornecer subsídios técnicos para o processo de tomada de decisão a partir de um viés de planejamento territorial sustentável, contribuindo para a gestão integrada dos recursos naturais locais.

MATERIAIS E MÉTODO

Área de estudo: A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Goiabal

A bacia hidrográfica do Ribeirão Goiabal está localizada na porção central do estado de São Paulo, com cerca de 95% de seu território inserido no município de Brotas e 5% no município de Itirapina, contemplando uma área total de aproximadamente 48 km² (Figura 1).

Figura 1 - Área de estudo



Fonte: Autores (2023)

O Ribeirão Goiabal conta com aproximadamente 49 afluentes, tem cerca de 17 km de extensão, com suas principais nascentes estando localizadas na porção leste de Brotas, sobre o complexo geológico derivado da Formação Botucatu e desaguardo a sudeste no córrego do Barreiro que, juntos, formam o Ribeirão Tamanduá constituindo um dos principais afluentes do Alto Jacaré-Pepira, notável por sua fundamental importância na agricultura e provisão de recursos para o ecoturismo local.

Em macro escala geológica, o mapeamento de (Ross e Gouveia, 2011) indica que a bacia está localizada na unidade morfoestrutural da bacia sedimentar do Paraná, apresentando como principais unidades litológicas as formações Itaqueri, Botucatu, Pirambóia e Serra Geral, além de Depósitos Colúvio-Eluvionares (PEIXOTO, 2010). É importante salientar aqui que as formações Botucatu e Pirambóia representam as principais áreas de recarga do Aquífero Guarani no estado de São Paulo (GUERRERO *et al.*, 2024), trazendo ainda mais relevância para a bacia estudada.

Já no contexto geomorfológico, a bacia do Goiabal está no contexto das unidades morfoesculturais do Planalto Ocidental Paulista, em uma faixa de transição com a Depressão Periférica Paulista (Ross e Gouveia, 2011), resultando em formas de relevo correspondentes à relevos residuais, chapadas, platôs, colinas, rampas de alúvio e Colúvio e Escarpas degradadas (MORAES *et al.*, 2020).

Materiais utilizados

Para a execução deste estudo, foi utilizado um conjunto de cinco dados geoambientais com o propósito de representar a paisagem da bacia do Goiabal dentro de Sistema de Informações Geográficas. A Tabela 1 apresenta os dados utilizados e suas principais características:

Tabela 1 - Dados utilizados

Tipo de Dado	Fonte	Data
Padrões de Relevo	CPRM	2020
Formas de Terreno (curvatura)	Valeriano	2008
Modelo Digital de Elevação	JAX	2011
Pedologia	IAC	1981
Uso do Solo	MapBiomias	2023

Fonte: Autores (2024)

Método

A análise da fragilidade ambiental proposta originalmente por Ross (1994) visa avaliar os ambientes naturais e antropizados para dar suporte técnico / científico à políticas e estratégias de planejamento e gestão que garantam o uso racional dos recursos naturais de uma paisagem.

No contexto do geoprocessamento, assume-se que a Fragilidade Ambiental é um modelo geoambiental baseado em conhecimento (MOREIRA *et al.*, 2001), onde se pode usar evidências de fontes múltiplas (parâmetros geoambientais) classificadas a partir de critérios ponderados, que resultam em uma escala de fragilidades. Neste estudo, a análise da Fragilidade Ambiental da bacia do Ribeirão Goiabal foi dividida em quatro procedimentos principais:

1 - Coleta e preparação dos dados: Consistiu na aquisição dos cinco dados geoambientais levados em consideração como variáveis de interesse, de forma gratuita por serem dados públicos brasileiros. Posteriormente os dados foram preparados em ambiente SIG, com o georreferenciamento e digitalização dos dados

de solo e recorte para a área geográfica de interesse para os dados de Uso do Solo e Relevo. Já o modelo digital de elevação foi transformado em uma informação de declividades em porcentagem com a utilização da ferramenta “Slope” do software ArcGis 10.8.

2 - Atribuição de valores de fragilidade para cada componente das variáveis de interesse: Tendo em vista que as cinco variáveis de interesse são capazes de representar a fisiografia da paisagem da Bacia do Gouveia, é possível inferir que cada elemento dessas variáveis apresenta uma determinada relação com a fragilidade do ambiente, tendo maior ou menor influência. Assim, foi atribuído a cada elemento que constitui cada variável de interesse um valor relativo correspondente a seu grau de influência do processo da fragilidade ambiental face às interferências antrópicas, em um intervalo proporcional que varia de 1 a 10, onde quanto maior o valor, maior a fragilidade.

Para as formas de relevo a categorização de fragilidade levou em conta as características de cada padrão de relevo diagnosticado na bacia quanto sua influência na capacidade de uso da paisagem e vulnerabilidade à perda de solos. Baseado em estudos como os de (Massa e Ross (2012) e Pires et al., (2015), os valores de fragilidade atribuídos às formas de relevo são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 - Valores de Fragilidade atribuídos à variável relevo

Padrão de Relevo	Valor de Fragilidade
Inselbergs e outros relevos residuais	2
Chapadas e Platôs	3
Planícies de Inundação (várzeas)	3
Colinas	5
Rampas de Alúvio – Colúvio	6
Rampas de Colúvio / Depósito de Talus	7
Baixos platôs dissecados	7
Escarpas Degradadas, Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos	10

Fonte: Autores (2024)

O dado de declividade é fundamental para qualquer estudo de planejamento territorial, devido à sua estreita relação com os mecanismos de transporte gravitacional (tais como erosão, movimentos de massa, escoamento superficial, etc.)

(VALERIANO, 2008). Baseado nos estudos de Ross (1994; 2012), os valores das classes de fragilidade encontradas na bacia do Goiabal, obtidos por meio do MDE ALOS, foram atribuídos conforme mostra a Tabela 3, indicando que quanto maior a declividade, maior é a fragilidade ambiental local.

Tabela 3 - Valores de Fragilidade atribuídos à variável declividade

Classes de Declividade	Valor de Fragilidade
0 a 3 %	1
3 a 6 %	2
6 a 12 %	4
12 a 20 %	6
20 a 30%	9
>30 %	10

Fonte: Autores (2024)

O dado de Formas de Terreno representa uma variável geomorfométrica obtida através da combinação entre as curvaturas horizontal e vertical que é de alta relevância para o entendimento da fragilidade ambiental local, tendo em vista que apresentam características de escoamento e acumulação de escoamento superficial em cada encosta mapeada (VALERIANO, 2008). A atribuição de valores para esse critério corresponde à regra proposta por Valeriano (2008) que indica que os casos extremos de combinação entre curvaturas são a forma côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento, que potencialmente gera maiores fragilidades) e a forma convexa-divergente (máxima dispersão do escoamento e potencialmente menor fragilidade). Já os valores intermediários dependem mais das relações entre as intensidades dos efeitos individuais, portanto sua atribuição partiu do estudo da relação de cada forma com o fenômeno da fragilidade. Os valores atribuídos às 9 formas de terreno presentes na área de estudo são apresentados na tabela 4:

Tabela 4 - Valores de Fragilidade atribuídos à variável Formas de Terreno

Forma de Terreno	Valor de Fragilidade
Convexa - Divergente	1
Retilínea - Divergente	2
Côncava - Divergente	3
Convexa - Planar	4
Retilínea - Planar	6

Côncava - Planar	7
Convexa - Convergente	8
Retilínea - Convergente	9
Côncava - Convergente	10

Fonte: Autores (2024)

Quanto à pedologia, estudos como os de Bezerra e Cantalice (2006), Lollo e Sena (2013), Frankl *et al.*, (2021) e Moroz e Ross (2019) indicam que quanto maiores as características de desagregação e teor de areia presentes em um solo, maior sua fragilidade ambiental. Assim, a Tabela 5 indica os valores atribuídos os 5 tipos de solos mapeados na bacia pelo IAC (1981):

Tabela 5 - Valores de Fragilidade atribuídos à variável Pedologia

Tipo de Solo	Valor de Fragilidade
Nitossolo Vermelho	3
Latossolo Vermelho	4
Argissolo Vermelho Amarelo	8
Neossolo Litólico	9
Neossolo Quartzarênico	10

Fonte: Autores (2024)

Por fim, os valores de fragilidade atribuídos aos elementos constituintes do uso do solo local remetem ao grau de proteção que cada um dos 16 tipos de uso confere à paisagem local e são apresentados na Tabela 6, tendo sido adaptados do trabalho original de Ross (1994):

Tabela 6 - Valores de Fragilidade atribuídos à variável Uso do Solo

Tipo de Uso do Solo	Valor de Fragilidade
Floresta	1
Corpo d'água	1
Cerrado (Formação Savânica)	2
Silvicultura	5
Campo Alagado e Área Pantanosa	2
Formação Campestre	3
Pastagem	8
Cana-de-açúcar	9

Mosaico de Agricultura e Pastagem	8
Urbano	9
Solo Exposto	10
Soja	9
Outras Lavouras Temporárias	8
Café	6
Laranja	6
Outras Lavouras Perenes	6

Fonte: Autores (2024)

3 - Fuzzyficação: Considerando que identificação da Fragilidade Ambiental consiste na análise e sobreposição de camadas geoambientais que representam a paisagem local e que essas camadas no mundo real (solos, declividade, relevo, uso, por exemplo) não apresentam limites bem definidos entre suas classes, é necessária a utilização de métodos capazes de lidar com conceitos geoespaciais inexatos.

Nesse contexto, os conjuntos Fuzzy são amplamente indicados na literatura (HAMAMIN e NADIRI, 2018; JESIYA e GOPINATH, 2020; MOREIRA et al., 2001 e PAULA e SOUZA, 2007) como uma eficaz metodologia de caracterização de classes indicada quando há ambiguidade, ambivalência ou abstração em modelos de fenômenos empíricos, tal como a representação de uma paisagem em ambiente SIG (BURROUGH e MCDONNEL, 1998).

A construção dos conjuntos Fuzzy parte da aplicação de uma função de pertinência sobre as camadas de entrada do modelo, em formato raster e já reclassificadas com os valores de fragilidade. A função de pertinência é uma função matemática que define o grau de pertinência de um valor (fragilidade da classe) a uma categoria (nível / grau de fragilidade) em uma escala de 0 a 1, determinando se o elemento pertence ou não a um determinado conjunto em análise sem precisar se encaixar de forma rígida a essa classe (MOREIRA et al., 2001).

Para os dados primários da análise (Declividade, Formas de Terreno, Pedologia, Padrões de Relevo e Uso do Solo) foi aplicada a função Linear Crescente, tendo em vista que foi aplicado um conjunto de valores crescente de fragilidade aos elementos constituintes de cada um. Nesse contexto existe uma melhor definição entre as classes e a definição dos valores de fragilidade adotados, já que remontam à uma relação de quanto maior o valor, maior a fragilidade ambiental. Como

resultado, obteve-se cinco conjuntos Fuzzy referentes aos parâmetros de Declividade, Pedologia, Padrões de Relevo, Formas de Terreno e Uso do Solo.

A construção dos cinco conjuntos Fuzzy permitiu, então, a utilização de métodos / operadores lógicos de inferência Fuzzy para combinar e sobrepor tais planos de informação visando a obtenção de mapas resultantes (Fragilidade Ambiental Potencial e Fragilidade Ambiental Emergente). De acordo com MOREIRA *et al.*, 2001, existem diversos operadores Fuzzy para realização desta tarefa, como “AND”, “OR”, “Soma Algébrica”, “Soma Ponderada”, “Produto Algébrico”, “Operador Gama” e “Soma Convexa”, cuja seleção do mais apropriado deve ter como base as características dos dados e as relações esperadas entre eles. Os operadores de inferência utilizados para a geração das cartas de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente são apresentados no procedimento metodológico 4.

4 - Geração das cartas de Fragilidade Ambiental Potencial e Fragilidade Ambiental Emergente: A Fragilidade Ambiental Potencial, segundo Ross (1994) busca avaliar o grau de proteção ambiental de uma paisagem, visando identificar zonas mais propensas à degradação a partir de elementos exclusivamente do meio físico local, tais como relevo, declividades e tipos de solo. Em suma, pode-se considerar que a Fragilidade Ambiental potencial apresenta os graus de fragilidade naturais da paisagem, derivados de sua gênese estrutural em um cenário hipotético sem intervenção antrópica.

A construção da carta de Fragilidade Ambiental nesse estudo propôs uma adaptação metodológica em comparação à metodologia original, analisando de forma integrada os quatro conjuntos Fuzzy que remetem à estrutura da paisagem do Ribeirão Goiabal. Assim, os conjuntos Fuzzy de Declividades, Formas de Terreno, Padrões de Relevo e Pedologia foram espacialmente combinados por meio do operador “Soma Ponderada” disponível no ArcGis 10.8, que permite que sejam atribuídas diferentes importâncias relativas a cada um deles.

Visando propor que os quatro conjuntos Fuzzy de interesse apresentam a mesma importância relativa para a análise, foram atribuídos pesos iguais para os elementos (25%). A execução da soma ponderada se deu, portanto, considerando a Equação 1. Como resultado, obteve-se um mapa com valores de 0 a 1,

reclassificado pelo método de intervalos iguais em quatro classes de Fragilidade Ambiental Potencial.

$$FAP = (Decli * 0,25) + (FT * 0,25) + (PR * 0,25) + (Pedo * 0,25) \quad (1)$$

Onde:

FAP = Fragilidade Ambiental Potencial

Decli = Conjunto Fuzzy de Declividades

FT = Conjunto Fuzzy de Formas de Terreno

PR = Conjunto Fuzzy de Padrões de Relevô

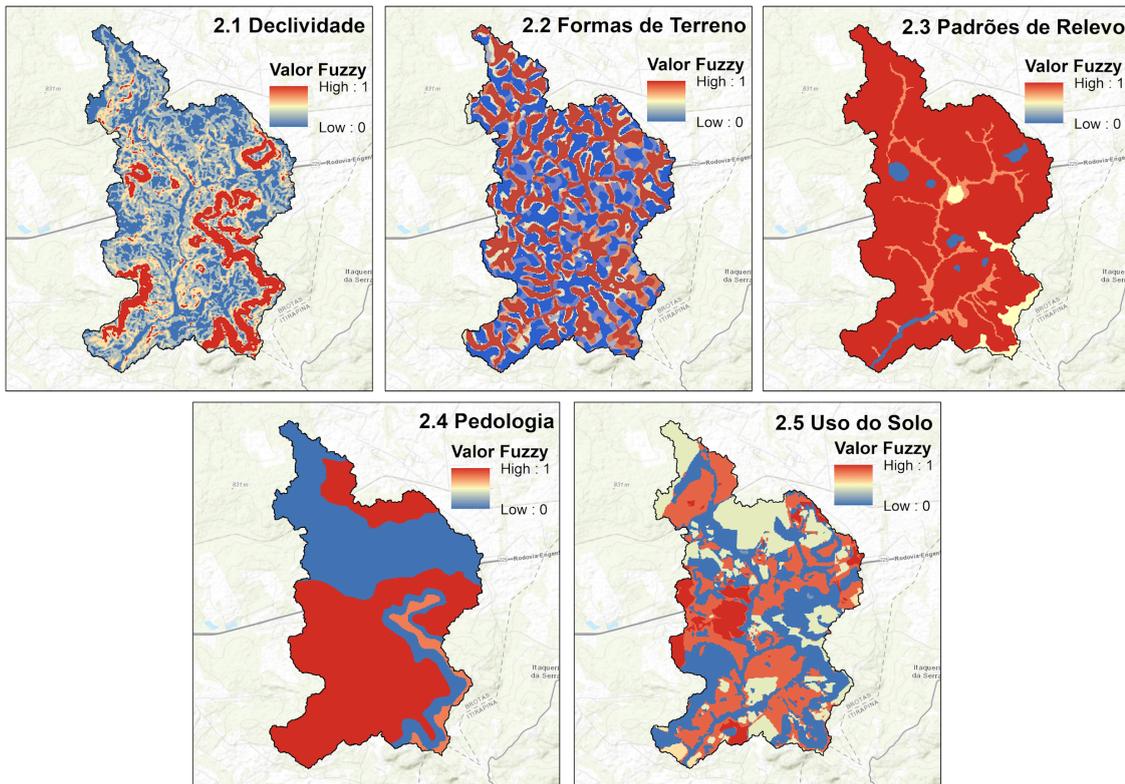
Pedo = Conjunto Fuzzy de Pedologia

Já a carta de Fragilidade Ambiental Emergente é um mecanismo geoambiental proposto por Ross (1994) que avalia as condições de desequilíbrio ecodinâmico que surgem ou são intensificadas pelas atividades humanas implementadas em determinado território. Sua construção remete à sobreposição entre a carta de Fragilidade Ambiental Potencial com o conjunto Fuzzy referente ao uso do solo, permitindo observarmos a interação das atividades humanas com a dinâmica de fragilidade natural da bacia. Para tal, foi utilizado o operador “Gama”, disponível no conjunto de ferramentas “Fuzzy Overlay” do Arcgis 10.8, que executa a multiplicação das classes dos diferentes parâmetros de entrada, promovendo um valor de saída que é sempre menor ou igual ao valor do menor membro Fuzzy (MOREIRA et al., 2001), combinando os operadores “AND” e “OR”, causando um equilíbrio entre os efeitos acumulativos e restritivos, sendo considerado o mais adequado para tais tarefas. Finalmente, o resultado final também foi reclassificado em quatro classes de Fragilidade Ambiental Emergente pelo método de intervalos iguais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação metodológica realizada neste estudo gerou, primeiramente, um conjunto de cinco parâmetros geoambientais reclassificados em pesos relativos de fragilidade (Figura 2), que permitiu uma análise individualizada dos principais parâmetros que constituem a paisagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Goiabal e do comportamento de seus parâmetros constituintes frente à fragilidade da paisagem.

Figura 2 - Parâmetros geoambientais utilizados



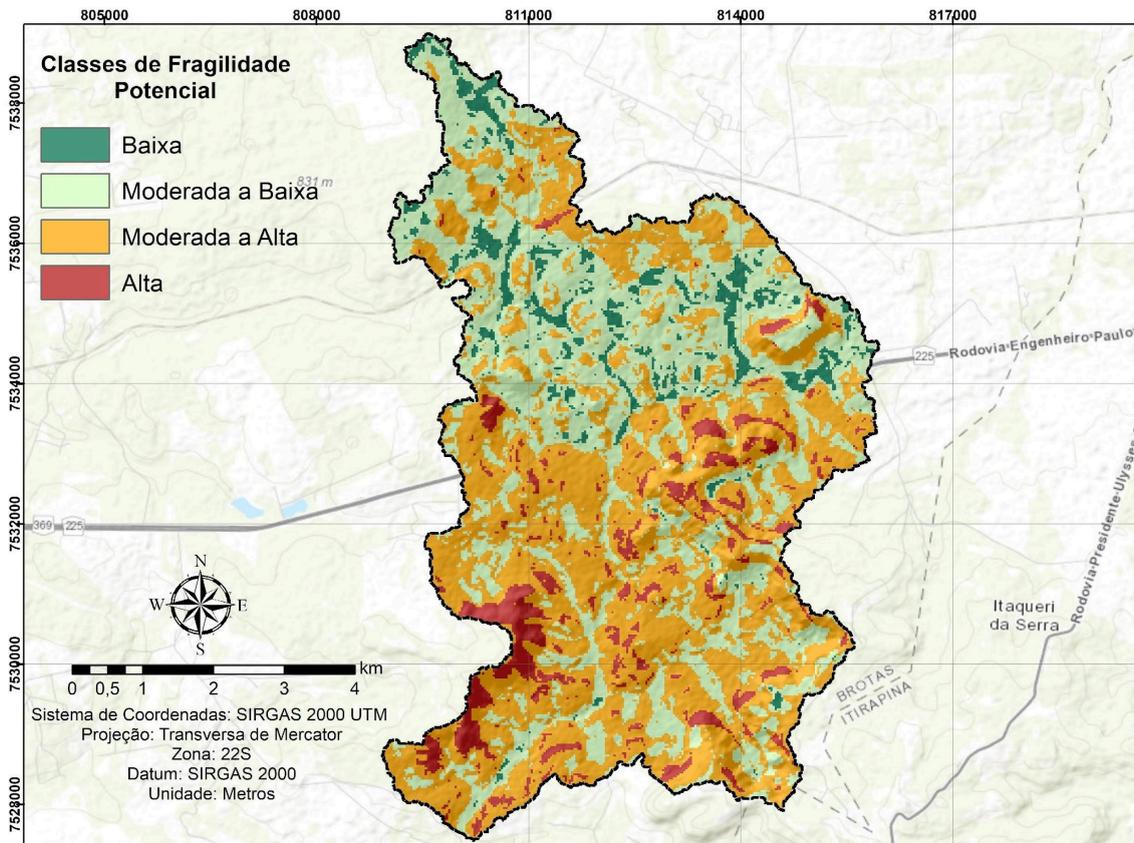
Fonte: Autores (2024)

A observação dos conjuntos Fuzzyficados indica que a espacialização dos elementos constituintes de cada parâmetro de interesse por esse método de fato apresenta vantagens frente à inferência booleana, por exemplo, permitindo uma análise mais condizente com a realidade de elementos com conceitos espaciais inexatos (sem fronteiras bem definidas). Esse sucesso no tratamento geoespacial das variáveis de interesse também foi observado por Lira et al., (2022), Cereda Junior e Rohm (2014) e Santos et al., (2021) em seus estudos de fragilidade ambiental.

Fragilidade Ambiental Potencial

A Figura 3 apresenta a carta de Fragilidade Ambiental Potencial da bacia hidrográfica do Ribeirão Goiabal, indicando os locais com maior ou menor instabilidade / estabilidade natural da paisagem, ou seja, em um cenário hipotético sem a intervenção antrópica, analisando apenas os constituintes do meio físico.

Figura 3 - Carta de Fragilidade Ambiental Potencial



Fonte: Autores (2024)

De maneira geral, nota-se que a estrutura genética da paisagem da bacia favorece naturalmente sua fragilidade, principalmente pelos solos arenosos (principalmente os Neossolos Litólico e Quartzarênico, com origem deposicional), padrões de relevo de gênese erosiva com encostas convergentes.

As áreas com maior fragilidade potencial são encontradas em locais de altas declividades (principalmente nas cabeceiras de drenagem dos principais contribuintes do Ribeirão Goiabal, na porção centro-sul da bacia), e em locais que combinam solos com baixo teor de agregação com formas de terreno e padrões de relevo que facilitam o escoamento superficial nas encostas. Nesse sentido, as classes de Fragilidade “Moderada a Alta” e “Alta”, ocupam 57 % da bacia (Moderada a Alta = 50% e Alta = 7%) e representam no contexto teórico original da metodologia, áreas naturalmente instáveis do ponto de vista geoambiental

Além dos elementos de paisagem utilizados neste trabalho, Andrade et al., (2020) encontraram em estudo geofísico no município de Brotas indícios que corroboram com a fragilidade natural da paisagem local. Tal estudo indicou

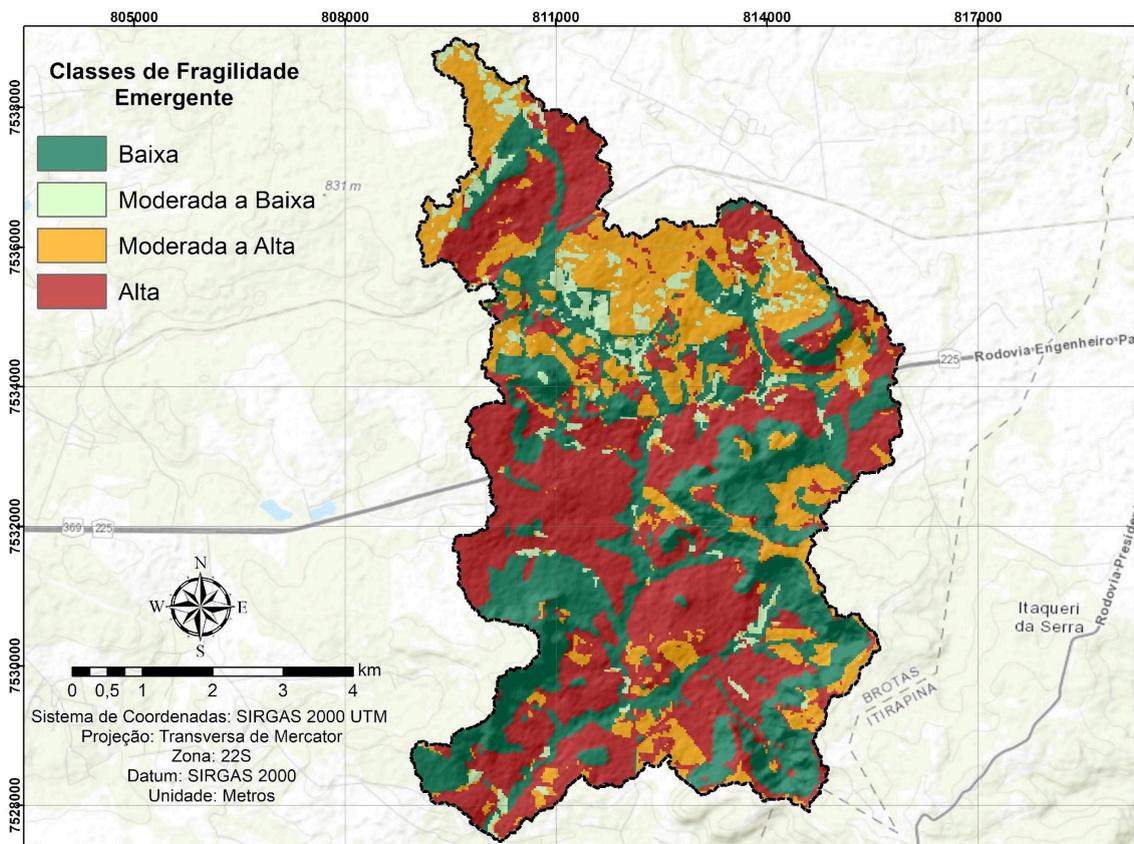
anomalias geolétricas que correspondem à existência de cavidades esculpidas pela convergência de águas subterrâneas que contribuem para a ocorrência de abatimentos e colapsos.

Já as classes “Moderada a Baixa” e “Baixa” representam 43% da bacia, e foram diagnosticadas predominantemente na porção norte da bacia, com predominância de baixas declividades e solos com maior estruturação e teor de argila mais elevado. Nessas áreas, podemos considerar que existe uma maior estabilidade ecodinâmica dos elementos da paisagem, resultando em uma maior resiliência à perda de solos por erosão.

Fragilidade Ambiental Emergente

Finalmente, a Figura 4 apresenta a carta de Fragilidade Ambiental Emergente da bacia do Goiabal, indicando a relação entre as ações humanas implementadas na bacia com a Fragilidade Ambiental Potencial diagnosticada anteriormente.

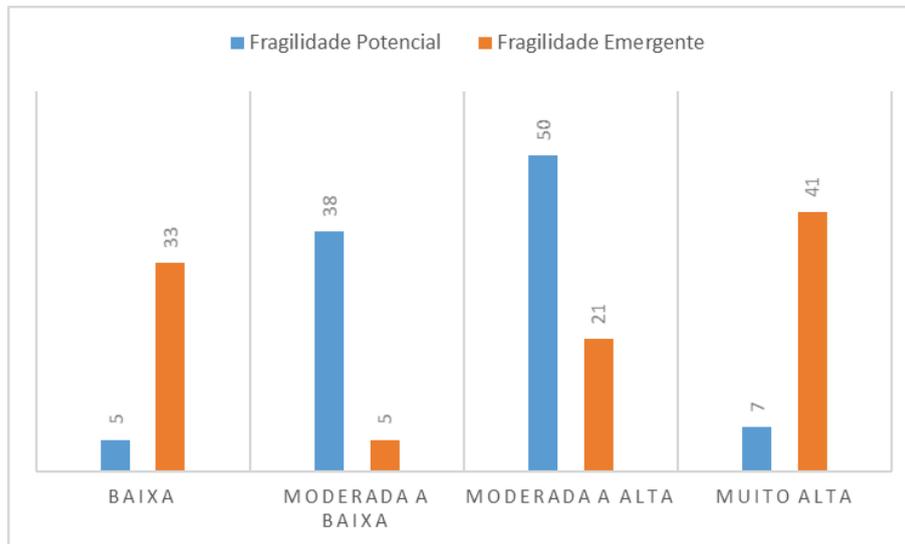
Figura 4 - Carta de Fragilidade Ambiental Emergente



Fonte: Autores (2024)

A inserção dos padrões de ocupação humana no estudo da fragilidade altera sensivelmente os padrões encontrados na carta de Fragilidade Potencial. A Figura 5 demonstra a diferença das porcentagens de cada classe de fragilidade nas cartas de fragilidade Potencial e Emergente:

Figura 5 - Porcentagens de cada classe de Fragilidade Potencial e Emergente



Fonte: Autores (2024)

A classe de fragilidade “Alta” ocupa 41 % do território da bacia, enquanto na carta de fragilidade Potencial representava apenas 7%. Esse incremento se dá a partir da grande ocorrência de usos com alto teor impactante sobre áreas de fragilidade potencial Alta, Moderada a Alta e até mesmo Moderada a Baixa, indicando que o uso econômico atual da bacia não respeita a capacidade produtiva do território, afetando diretamente sua resiliência, tal qual apresenta Mafra (2012). O estudo realizado por Moraes et al., (2020) corrobora com os resultados aqui encontrados ao indicar áreas de risco à movimentos gravitacionais de massa na bacia do Goiabal que correspondem a áreas de Fragilidade Alta.

Além, apesar da classe “Moderada a Alta” ter apresentado uma diminuição de território na carta de Fragilidade Emergente, observa-se que é encontrada predominantemente onde haviam áreas das classes “Moderada a Baixa” e “Baixa” na carta Potencial, principalmente na porção centro-norte da bacia, indicando que as áreas que são mais naturalmente estáveis estão sendo exploradas com usos antrópicos com alta capacidade de degradação dos solos.

Ross (2006) propõe a existência de uma relação direta entre o avanço da exploração dos recursos naturais e o desenvolvimento tecnológico e econômico das sociedades. Em regiões tropicais, Lal (2010) relata que tal desenvolvimento técnico e econômico ocorreu principalmente por meio da incorporação de terras agrícolas, sob um sistema de mecanização moderna. No caso da bacia do Ribeirão Goiabal essa relação é representada pelo plantio intensivo de cana-de-açúcar, que tem avançado sobre as paisagens paulistas, principalmente nos últimos 20 anos, conforme mostram os estudos de Guerrero et al., (2023) e Trevisan et al., (2017) que mencionam significativo aumento das lavouras canavieiras nas paisagens do município de Brotas, em substituição a áreas de floresta e cultivos perenes como café e laranja.

A preocupação com a fragilidade ambiental causada em áreas de cultivos canavieiros (principalmente com manejo inadequado) é recorrente na literatura brasileira. Andrade et al., (2011) indicam elevadas perdas de solo em cultivo canavieiro que utiliza queimadas em seu ciclo, resultando também em perda de nutrientes e impactos econômicos. Já os estudos de Corrêa et al., (2016, 2018) relacionam diretamente a perda de solos por erosão em diferentes condições de relevo e manejo, ressaltando a necessidade de planejamento adequado para reduzir a ocorrência desse fenômeno e seus impactos.

Por outro lado, a carta de Fragilidade Emergente indicou que 33% do território apresenta Fragilidade Baixa (em comparação aos 5% diagnosticados da classe na carta de Fragilidade Potencial), indicando áreas onde a relação entre a Fragilidade Potencial e o uso do solo atual resulta em uma condição de maior estabilidade ecodinâmica.

É possível observar que as zonas de maior estabilidade têm correlação espacial direta com os 15km² de remanescentes florestais na bacia, correspondentes em sua maioria à Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal exigidas pela legislação brasileira e regiões de alta declividade onde não é possível a implementação de práticas agrícolas mecanizadas. Esta correlação também é observada em diversos outros estudos de fragilidade, tais como Herculano e Souza (2023), Pires et al., (2015) e Santos e Marchioro (2020).

As áreas de floresta, conforme afirmam Lense et al., (2020), Vanacker et al., (2019) dentre outros, são imprescindíveis para a mitigação do processo de perda de

solos por erosão, principalmente onde naturalmente já há maior fragilidade, devido à sua capacidade de proteção frente ao efeito splash e diminuição do escoamento superficial nas encostas (GUERRA, 2012).

Por fim, diante do cenário onde 57% do território da bacia do Goiabal representam áreas de fragilidade Emergente “Moderada a Alta” e “Alta” é imprescindível que os gestores públicos responsáveis implementem instrumentos normativos de planificação do uso do solo local, operacionalizando estratégias que políticas que adequem a exploração da bacia com suas potencialidades e restrições assim como propõe Mafra (2012). Assim, para essas zonas é crucial que sejam implementados projetos de resignificação da paisagem, tanto por meio de projetos de reflorestamento (MAFRA. et al., 2020; SILVA et al., 2016) e / ou ampliação do ecoturismo sustentável (BONFATO et al., 2022; RIBEIRO e AMARAL, 2016; GUERRERO et al., 2020; MARTINS e MADUREIRA, 2019).

CONCLUSÃO

A análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Goiabal, realizada por meio de técnicas de cartografia geoambiental e inferência Fuzzy mostrou-se capaz de analisar de forma integrada os elementos constituintes da paisagem, demonstrando as áreas com maiores potencialidades e restrições. Além, o estudo evidenciou a importância de ferramentas computacionais para a combinação de dados geoambientais multi-fonte, e análise de suas interações.

Por analisar a integração entre a fragilidade dos condicionantes da paisagem com a ocupação antrópica atual, este estudo reafirma que a carta de Fragilidade Ambiental Emergente pode ser utilizada pelos gestores públicos como uma ferramenta de suporte à planificação territorial de bacias hidrográficas, contribuindo para a organização do espaço para que a utilização dos recursos seja compatível com as potencialidades e restrições da área. Os resultados obtidos demonstraram que fatores como o relevo, o uso e a cobertura do solo, associados às dinâmicas antrópicas locais, desempenham papel central na definição da suscetibilidade ambiental da região.

O cruzamento que gerou a carta de Fragilidade Emergente seguiu as orientações metodológicas propostas por Ross (1994). Notou-se que nesse cenário, existe uma alta influência do fator uso do solo na determinação da Fragilidade.

Recomenda-se que em estudos futuros, o procedimento de geração da carta de Fragilidade Emergente seja realizado por meio de Soma Ponderada, implementando testes com diferentes pesos relativos para a Fragilidade Potencial e o conjunto de Uso do solo, de forma a modelar de forma mais apropriada a realidade local de acordo com as influências locais de cada parâmetro de entrada.

Apesar das ressalvas metodológicas, é possível concluirmos que a aplicação da Fragilidade Ambiental é uma robusta ferramenta de planejamento territorial estratégico, tendo em vista sua capacidade de integração de dados geoambientais para avaliação holística da paisagem, com baixo custo relativo de implementação e capacidade de apresentar cartograficamente as áreas mais ou menos vulneráveis, contribuindo de forma efetiva para o processo de tomada de decisão.

Finalmente, espera-se que os resultados deste estudo possam mobilizar os gestores públicos em ações na área, orientando medidas de planejamento territorial sustentável que ordenem o uso do solo local, contribuindo assim para o planejamento territorial sustentável na bacia do Goiabal. Também se almeja que as aplicações metodológicas aqui descritas incentivem novos estudos de Fragilidade Ambiental em outras bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, N. S. F. DE; FILHO, M. V. M.; TORRES, J. L. R.; PEREIRA, G. T.; JÚNIOR, J. M. IMPACTO TÉCNICO E ECONÔMICO DAS PERDAS DE SOLO E NUTRIENTES POR EROÇÃO NO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 31, n. 32, p. 539–550, 2011.

ANDRADE, J.; MORAES, C.; PINTO, L. **Relatório de Geofísica - Brotas SP**. São Paulo.

ASSALVE, L.; MENEZES, D. B. CARTOGRAFIA GEOAMBIENTAL NO ESTUDO DAS SUB-BACIAS DOS CÓRREGOS TANQUINHO E DO SERRALHA NO MUNICÍPIO DE ARARAQUARA-SP. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, [s. l.], v. 21, 2023.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 565–573, 2006.

BONFATO, A. C.; COLETTI, G. F.; NUNES, S.; HAUCK, C.; ISAAC, V. R. Proposta para fazer de brotas, brasil, um destino turístico inteligente, com base na análise de indicadores municipais. **Rosa dos Ventos Turismo e Hospitalidade**, [s. l.], v. 14, n. 4, 2022.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 229–268.

BRAZIL, O. **Brazilian Indicators for the Sustainable Development Goals**. 2023. Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=15>>. Acesso em: 23 maio. 2024.

BROTAS. **Informações Municipais**. 2018. Disponível em: <<https://brotas.sp.gov.br/>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

BURROUGH, P. A.; MCDONNEL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. New York: Oxford University Press, 1998.

CBH/TIETÊ-JACARÉ. **Deliberação CBH - TJ - Revisão do Plano de Ação e Programa de Investimento da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré para 2022-2023**". [s.l: s.n.].

CENDRERO, A. Environmental Geology of the Santander Bay Area, northern Spain. **Environmental Geology**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 97–114, 1975.

CEREDA JUNIOR, A.; RÖHM, S. Proposal and Analysis of Environmental Fragility Model Using Multicriteria Analysis and Fuzzy Logic for Integrated Landscape Mapping. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 28–37, 2014. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/juee/article/view/15854/pdf>>

CORRÊA, E. A.; MORAES, I. C.; LUPINACCI, C. M. Revista Brasileira de Geomorfologia INFLUÊNCIA DO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS PERDAS DE SOLO INFLUENCE OF SUGARCANE CULTIVATION ON SOIL LOSSES BY. [s. l.], v. 2, 2018.

CORRÊA, E. A.; MORAES, I. C.; PINTO, S. D. A. F.; LUPINACCI, C. M. Perdas de Solo, Razão de Perdas de Solo e Fator Cobertura e Manejo da Cultura de Cana-de-Açúcar: Primeira Aproximação. **Geography Department University of Sao Paulo**, [s. l.], v. 32, p. 72, 2016.

CRISTINA FERREIRA RIBEIRO, O.; CRISTINA FRANCO AMARAL, S. Entre O Lazer Esportivo Participativo E Ambiental E O Lazer Turístico-As Políticas Públicas De Lazer Em Brotas/Sp. **Movimento - Revista da Escola de Educação Física da UFRGS**, [s. l.], n. 1, p. 19–30, 2016.

DE LOLLO, J. A.; SENA, J. N. Establishing erosion susceptibility: Analytical hierarchical process and traditional approaches. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, [s. l.], v. 72, n. 3–4, p. 589–600, 2013.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial: Teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. São Paulo: EDITORA UNESP, 2014.

FRANKL, A.; NYSSSEN, J.; VANMAERCKE, M.; POESEN, J. **Gully prevention and control: Techniques, failures and effectiveness**. [s.l: s.n.]. v. 46

GUERRA, A. J. T. O início do Processo Erosivo. In: **Erosão e Conservação dos Solos**. Rio de Janeiro: Berttrand Brasil, 2012. p. 50.

GUERRERO, J. V.; GOMES, A.; LORANDI, R.; DI LOLLO, J. A.; MATAVELI, G.; MOSCHINI, L. E. Vulnerability Assessment of Guarani Aquifer Using PESTICIDE-DRASTIC-LU Model: Insights from Brotas Municipality, Brazil. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 16, n. 12, 2024.

GUERRERO, J. V. R.; ESCOBAR-SILVA, E. V.; CHAVES, M. E. D.; MATAVELI, G. A. V.; MOSCHINI, L. E. Detecting Multitemporal Land Use Changes and Environmental Fragility in a Heterogeneous Brazilian Landscape. **Papers in Applied Geography**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 89–103, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/23754931.2022.2117565>>

GUERRERO, J. V. R.; GOMES, A. A. T.; DE LOLLO, J. A.; MOSCHINI, L. E. Mapping potential zones for ecotourism ecosystem services as a tool to promote landscape resilience and development in a Brazilian Municipality. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 24, p. 1–21, 2020.

HAMAMIN, D. F.; NADIRI, A. A. Supervised committee fuzzy logic model to assess groundwater intrinsic vulnerability in multiple aquifer systems. **Arabian Journal of Geosciences**, [s. l.], v. 11, n. 8, 2018.

HAUCK, J.; GÖRG, C.; VARJOPURO, R.; RATAMÄKI, O.; MAES, J.; WITTMER, H.; JAX, K. “Maps have an air of authority”: Potential benefits and challenges of ecosystem service maps at different levels of decision making. **Ecosystem Services**, [s. l.], v. 4, p. 25–32, 2013.

HERCULANO, R. M. da C. S.; SOUZA, J. C. De. Fragilidade Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Uru (Goiás): Comparação Entre Modelos. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 305–349, 2023.

IAC. **Levantamento Pedológico semi-detalhado do estado de São Paulo - Quadrícula de Brotas. SF.22-Z-B-III-4**. Campinas.

JESIYA, N. P.; GOPINATH, G. A fuzzy based MCDM–GIS framework to evaluate groundwater potential index for sustainable groundwater management - A case study in an urban-periurban ensemble, southern India. **Groundwater for Sustainable Development**, [s. l.], v. 11, n. August, p. 100466, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100466>>

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, [s. l.], n. 1994, p. 2203–2210, 2005. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.16.10/doc/2203.pdf>>

LAL, R. Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. **BioScience**, [s. l.], v. 60, n. 9, p. 708–721, 2010.

LENSE, G. H. E.; MOREIRA, R. S.; PARREIRAS, T. C.; SILVA, L. F. P. M.; TEODORO, A. E. de M.; MINCATO, R. L. Simulating the effect of permanent preservation areas on soil erosion rates. **Cerne**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 193–201, 2020.

LIRA, K. C. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. **Sociedade & Natureza**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 1–17, 2022.

MAFRA, N. M. C. Erosion and Land Use Planification. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. Da; BOTELHO, R. G. M. (Eds.). **Soil Erosion and Conservation**. [s.l.] : Rio De Janeiro, 2012. p. 340.

MAFRA, R.; PRADO OSCO, L.; RODRIGO ALVES, M.; MARQUES RAMOS, A. P. Definição De Áreas Prioritárias Para a Recuperação Florestal Em Bacias Hidrográficas a Partir De Análise Multicritério. **Caminhos de Geografia**, [s. l.], v. 21, n. 77, p. 220–233, 2020.

MARTINS, R. C.; MADUREIRA, G. A. Do “buraco” ao atrativo turístico: uma sociologia da ressignificação do rural. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 57, n. 2, p. 326–338, 2019.

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação De Um Modelo De Fragilidade Ambiental Relevo-Solo Na Serra Da Cantareira, Bacia Do Córrego Do Bispo, São Paulo-Sp. **Geography Department, University of Sao Paulo**, [s. l.], v. 24, n. 2012, p. 57–79, 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/52754>>

MORAES, C. C. M. De; SANTANA, M. S.; SIMÕES, P. M. L.; CONCEIÇÃO, R. A. C. Da; SILVA, S. F. Da. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Brotas, SP**. Brasília.

MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; CÂMARA, G.; FILHO, R. A. Inferência Geográfica e suporte à decisão. In: CÂMARA, G. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. [s.l.] : INPE, 2001.

MOROZ, I. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevo. **Geography Department University of Sao Paulo**, [s. l.], v. 37, p. 123–136, 2019.

PAULA, E. M. S. De; SOUZA, M. J. N. De. Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental. **Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, [s. l.], n. 1991, p. 2979–2984, 2007.

PEIXOTO, C. A. B. **Geodiversidade do Estado de São Paulo**. 1. ed. São Paulo: CPRM, 2010.

PERIÇATO, A. J.; NUNES, J. O. R. ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL – REVISÃO. **Geofronter**, [s. l.], v. 10, p. 01–20, 2024.

PIRES, L. D. C.; DA SILVA, L. F.; MENDONÇA, B. G.; BACANI, V. M. Análise da fragilidade ambiental do município de Aquidauana-MS / Analysis of the

environmental fragility of the municipality of Aquidauana-MS - DOI 10.5752/P.2318-2962.2015v25n43p52. **Caderno de Geografia**, [s. l.], v. 25, n. 43, p. 52–65, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/8023>>

ROMANO, G.; DAL SASSO, P.; TRISORIO LIUZZI, G.; GENTILE, F. Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 48, p. 131–143, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.013>>

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

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Cia de Textos, 2006.

ROSS, J. L. S. Landforms and Environmental planning. [s. l.], p. 38–51, 2012.

ROSS, J. L. S.; GOUVEIA, I. C. M. MAPA GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Revista do Departamento de Geografia**, [s. l.], v. 10, n. 1, 2011.

ROVANI, F. F. M.; CASSOL, R. Cartografia Ambiental: Contribuições Nos Estudos Geográficos. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 389–403, 2012.

SANTOS, A. P. Dos; FERNANDO LUIZ DE PAULA SANTIL; PETRONIO SILVA DE OLIVEIRA; JOSÉ ARNALDO FRUTUOSO ROVEDA. Utilização da Lógica Fuzzy como suporte ao Zoneamento Ambiental: um estudo de caso em Paracatu – MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 14, n. 7, p. 2352–2368, 2021. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/RBG/RBG 1995 v57_n1.pdf>

SANTOS, J. R. U. Dos; MARCHIORO, E. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. **Geography Department University of Sao Paulo**, [s. l.], v. 39, p. 72–87, 2020.

SANTOS, R. F. Dos. **Planejamento Ambiental - Teoria e prática**. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2003.

SILVA, J. L.; TONELLO, K. C.; MINGOTI, R. Diagnóstico ambiental como subsídio à restauração florestal e manutenção hidrológica da bacia do ribeirão dos Pinheirinhos, Brotas – SP. **Irriga**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 1–13, 2016.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E.; GUERRERO, J. V. R. Dinâmica Temporal do Uso e Cobertura da Terra no Município de Brotas-SP entre os Anos de 1988 e 2016. **Fronteiras**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 204–219, 2017.

TRICART, J. **Ecodinâmica**, 1977. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/ecodinamica.pdf>>

VALERIANO, M. D. M. **Topodata : Guia Para Utilização De DadosInpe**. [s.l: s.n.].

VANACKER, V.; AMEIJERAS-MARIÑO, Y.; SCHOONEJANS, J.; CORNÉLIS, J. T.; MINELLA, J. P. G.; LAMOULINE, F.; VERMEIRE, M. L.; CAMPFORTS, B.; ROBINET, J.; VAN DE BROEK, M.; DELMELLE, P.; OPFERGELT, S. Land use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. **Catena**, [s. l.], v. 178, n. November 2017, p. 256–266, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.024>>

ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental**. Ourinhos: EDITORA UNESP, 2010.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, [s. l.], v. 8, p. 338–353, 1965.

ZHOU, R.; CHAN, A. H. S. Using a fuzzy comprehensive evaluation method to determine product usability: A proposed theoretical framework. **Work**, [s. l.], v. 56, n. 1, p. 9–19, 2017.

Recebido em 28 de novembro de 2024

Aceito em 02 de dezembro de 2024