

ANÁLISE DA MUDANÇA TEMPORAL NA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA REPRESA DE GRAMINHA, CACONDE-SP

Fernando Cortizo da Silva¹, Janaina Mitsue Kimpara², Cassiana Maria Reganhan Coneglian³ e Tamires Lima da Silva⁴, Luciana Alvim Santos Romani⁵ e Ariovaldo Luchiari Junior⁶

^{1,3} Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Rua. Paschoal Marmo, 1888 - Jardim Nova Itália, CEP: 13484-332, Limeira - SP, fernando.cortizo@colaborador.embrapa.br e cassiana@unicamp.br

^{2,4,5,6} Embrapa Agricultura Digital, Av. Dr. André Tosello, 209 – Cidade Universitária, CEP: 13083-886, Campinas – SP
janaina.kimpara@embrapa.br, tamires.silva@colaborador.embrapa.br, luciana.romani@embrapa.br e ariovaldo.luchiari@embrapa.br

RESUMO

Este estudo analisa a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica da Represa Graminha, avaliando os impactos de fatores naturais e antropogênicos entre 1985 e 2023. A metodologia baseia-se na sobreposição de mapas temáticos de declividade, tipo de solo, clima e uso e ocupação do solo, permitindo a classificação da fragilidade ambiental. Os resultados mostram que grande parte do território apresenta fragilidade média, sobretudo devido a características naturais, enquanto áreas específicas evidenciam alta fragilidade, especialmente em regiões de solo raso e elevada ocupação urbana. A análise temporal revela um aumento de 5% na área com fragilidade elevada, apontando a necessidade de uma gestão integrada do uso do solo. Recomenda-se a implementação de planos diretores municipais e um plano de bacia hidrográfica para promover práticas de ocupação sustentável, garantindo a preservação ambiental e minimizando impactos nas atividades econômicas.

Palavras-chave — Fragilidade ambiental, bacia hidrográfica, sensoriamento remoto, uso e cobertura da terra.

ABSTRACT

This study analyzes the environmental fragility of the Graminha Dam watershed, assessing the impacts of natural and anthropogenic factors between 1985 and 2023. The methodology is based on overlaying thematic maps of slope, soil type, climate and land use and occupation, allowing the classification of environmental fragility. The results show that a large part of the territory has medium fragility, mainly due to natural characteristics, while specific areas show high fragility, especially in regions with shallow soil and high urban occupation. The temporal analysis reveals a 5% increase in the area with high fragility, pointing to the need for integrated land use management. It is recommended that municipal master plans and a river basin plan be implemented to promote sustainable occupation practices, guaranteeing environmental preservation and minimizing impacts on economic activities.

Key words — Environmental fragility, watershed, remote sensing, land use and land cover.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de fragilidade ambiental, em virtude das intervenções humanas, tornou-se mais difundido no Brasil a partir do estudo de [1], no qual o autor introduziu uma abordagem que envolve a sobreposição de características ambientais de uma área para identificar pontos de maior ou menor fragilidade face aos impactos antrópicos. Essa metodologia permite uma análise detalhada de como determinadas regiões têm sido afetadas pelo avanço da exploração dos recursos naturais devido ao desenvolvimento econômico, científico e tecnológico. Dessa forma, o uso dessa abordagem reflete a relação entre o homem e a natureza.

A visualização espacial da fragilidade ambiental possibilita um planejamento físico-territorial mais eficaz, promovendo uma compreensão mais profunda das interações entre ambiente e sociedade [1, 2]. Nesse contexto, essa ferramenta é essencial para subsidiar a formulação de políticas públicas, como a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009), promovendo, assim, o desenvolvimento sustentável.

A abordagem clássica para avaliação da fragilidade ambiental de uma área, conforme implementada em [1], baseia-se na análise da declividade, tipo de solo, clima, e uso e ocupação do solo, dada a forte correlação observada entre essas características ambientais.

Esse procedimento é especialmente útil para compreender a dinâmica de bacias hidrográficas, como sugerido por [1] e implementado por [3]. O estudo de [3], ao comparar dados de campo com o método de fragilidade ambiental, encontrou uma forte correlação entre o uso e cobertura da terra e o aumento da fragilidade ambiental, verificando alta fragilidade em núcleos urbanos e baixa fragilidade em áreas em presença de bolsões de floresta preservada, validando o método tanto em análises acadêmicas quanto na formulação de políticas públicas.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo elaborar um mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica da Represa da Graminha, localizada no estado de São Paulo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização da área de estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica da Represa Graminha, situada entre as coordenadas 21°33'49,83"S e 22°9'43,75"S de latitude e 46°41'27"W e 46°3'28,09" W de longitude com uma área total de 258,96 km². A bacia abrange os municípios mineiros de Bandeira do Sul, Botelhos, Caldas, Ipuiúna, Poços de Caldas e Santa Rita de Caldas, que, de acordo com o Censo de 2022, possuem uma população combinada de 216.325 habitantes [4].

2.2. Técnica empregada

A técnica utilizada baseia-se na sobreposição de mapas temáticos por meio de álgebra de mapas em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Cada mapa representa uma das quatro variáveis-chave da área estudada: declividade, tipo de solo, clima e uso e ocupação do solo. Cada variável é classificada em uma escala de 1 a 5, em que 1 indica maior estabilidade e 5 indica menor estabilidade. Após essa classificação, calcula-se a média dos valores atribuídos, resultando em um novo mapa de fragilidade ambiental. Entretanto, no presente estudo optou-se por somar as variáveis com a finalidade de ampliar a gama de valores e identificar melhor as zonas de transição da fragilidade ambiental.

2.3. Coleta e processamento de dados de declividade, tipos de solos, precipitação, e uso e cobertura da terra

Para gerar o mapa de declividade, foi inicialmente obtido o Modelo Digital de Elevação (MDE) por meio do programa QGIS e do plugin *Open Topography*. A imagem foi fornecida pela Copernicus GLO-30 da Agência Espacial Europeia (ESA) [5]. Com essa base, utilizou-se a ferramenta *Whitebox Tools*, integrada ao QGIS, para delimitar a bacia hidrográfica. A partir da delimitação da bacia, foi realizado um recorte do contorno, o qual foi aplicado nas etapas subsequentes.

O mapa de declividade da bacia foi, então, reclassificado por meio da função de reclassificação de *raster* no QGIS, com os valores apresentados na Tabela 1. As informações sobre tipos de solo foram obtidas do Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [6], especificamente na seção de pedologia. Após a coleta, o mapa foi inserido no QGIS e recortado com base no contorno obtido anteriormente, sendo, em seguida, reclassificado conforme os valores da Tabela 2.

| Categoria Hierárquicas | Declividade em Porcentagem (%) | Valor Atribuído |
|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Muito Fraca | < 6% | 1 |
| Fraca | 6% <= e < 12% | 2 |
| Média | 12% <= e < 20% | 3 |
| Forte | 20% <= e < 30% | 4 |
| Muito Forte | 30% <= | 5 |

Tabela 1. Grau de fragilidade da declividade [1]

| Categoria Hierárquicas | Tipo de Solo | Valor Atribuído |
|-------------------------------|---|------------------------|
| Fraca | Argissolo Vermelho, Latossolo Vermelho | 2 |
| Média | Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Nitossolo Háplico | 3 |
| Forte | Cambissolo Háplico | 4 |

Tabela 2. Grau de fragilidade do solo [1]

Para a variável climática precipitação, foram utilizados dados da base CHIRPS [7], abrangendo um período de 30 anos (1993-2023). As precipitações médias observadas na bacia indicaram uma homogeneização da pluviosidade na área, justificando a exclusão dessa variável da análise final. Contudo, caso fosse incluída, a fragilidade associada à pluviosidade seria considerada forte (valor atribuído 4)[2], conforme a Tabela 3.

| Mês | Precipitação (mm) |
|------------|--------------------------|
| Janeiro | 301 |
| Fevereiro | 220 |
| Março | 200 |
| Abril | 69 |
| Mai | 51 |
| Junho | 26 |
| Julho | 14 |
| Agosto | 19 |
| Setembro | 64 |
| Outubro | 140 |
| Novembro | 181 |
| Dezembro | 268 |

Tabela 3. Valores de precipitação[7]

As imagens referentes ao uso e cobertura da terra foram extraídas da plataforma MapBiomias, coleção 9, para os anos

de 1985 e 2023 [8]. Após o recorte com base no contorno da bacia, os arquivos *raster* foram reclassificados conforme os valores apresentados na Tabela 4.

| Categoria Hierárquicas | Tipo de Ocupação de Solo | Valor Atribuído |
|------------------------|---|-----------------|
| Muito Fraca | Formação florestal | 1 |
| Média | Silvicultura, Pastagem, Cana, Café, outras lavouras perenes | 3 |
| Forte | Mosaico, outras lavouras temporárias, Soja | 4 |
| Muito Forte | Área Urbana, Mineração, Áreas não vegetadas | 5 |

Tabela 4. Grau de fragilidade do uso e cobertura da terra [1]

2.3. Sobreposição das imagens

As imagens *raster* reclassificadas foram somadas, gerando um mapa final com uma escala de valores de 2 a 15.

Devido à utilização de duas datas para a variável de uso e cobertura da terra (1985 e 2023), obteve-se dois mapas de fragilidade ambiental, o que possibilitou a comparação entre os períodos, evidenciando o impacto das alterações antropogênicas, dado que essa é a variável mais sensível a mudanças em intervalos curtos de tempo [2].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sobreposição dos mapas temáticos indica que a bacia hidrográfica da Represa da Graminha apresenta uma fragilidade ambiental média, com áreas pontualmente mais vulneráveis e outras relativamente estáveis. Destaca-se que a sub-bacia do Rio Lambari apresenta maior instabilidade em comparação com a sub-bacia do Rio Pardo (Figura 1).

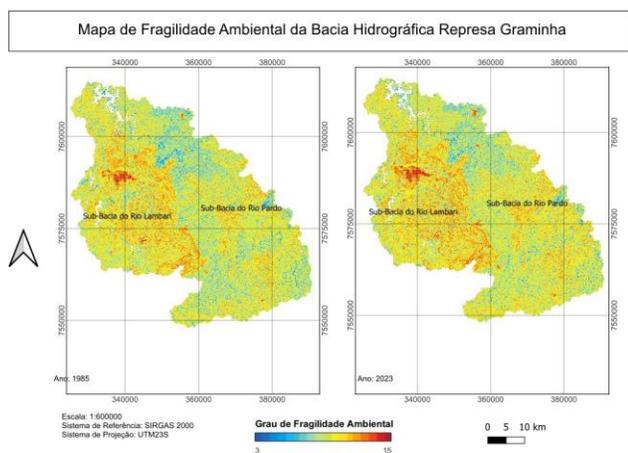


Figura 1. Mapa de Fragilidade Ambiental para os anos 1985-2023

A sub-bacia do Rio Lambari apresenta maior fragilidade ambiental, principalmente devido à predominância de Cambissolo Háplico, um solo de pouca profundidade e alta suscetibilidade à erosão. Essa característica, somada à acentuada declividade do terreno e a uma maior ocupação urbana, reduz a estabilidade da área e aumenta sua vulnerabilidade ambiental. Em contraste, a sub-bacia do Rio Pardo é composta, predominantemente, por Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho, solos com maior capacidade de retenção e resistência à erosão. A menor densidade urbana na região contribui, ainda, para uma condição de equilíbrio ambiental mais estável (Figura 2).

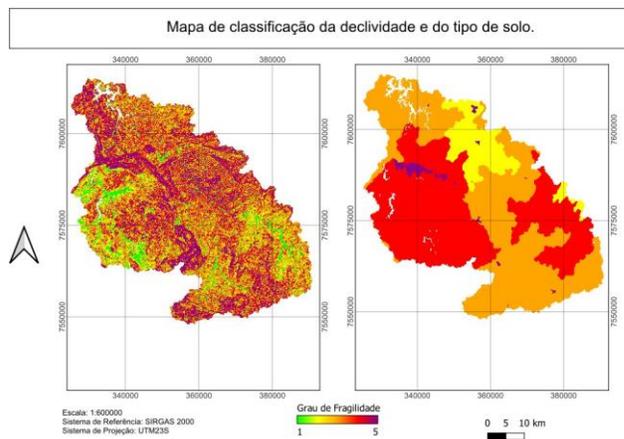


Figura 2. Mapa de Classificação da declividade e do tipo de solo conforme [1]

Esses resultados ressaltam a importância de considerar a inclinação acentuada e a vulnerabilidade intrínseca dos solos da bacia na análise da fragilidade ambiental. A presença de solos com menor estabilidade natural sugere que o uso e a ocupação da terra devem ser planejados cuidadosamente para minimizar impactos adversos (Figura 2).

A análise temporal, apresentada na Tabela 5, permite compreender melhor o impacto antropogênico na fragilidade ambiental da bacia hidrográfica da Represa da Graminha.

| Grau de fragilidade | Área no ano de 1985 (km ²) | Percentual (%) | Área no ano de 2023 (km ²) | Percentual (%) | Diferença entre os anos 1985 e 2023 (%) |
|---------------------|--|----------------|--|----------------|---|
| 1-5 (Baixa) | 27,287 | 1,074 | 24,662 | 0,971 | 0,103 |
| 6-10 (Média) | 1841,773 | 72,479 | 1718,407 | 67,624 | 4,855 |
| 11-15 (Alta) | 672,058 | 26,447 | 798,048 | 31,405 | -4,958 |

Tabela 5. Diferença na fragilidade ambiental da bacia hidrográfica da Represa da Graminha entre os 1985 e 2023

Na Tabela 5, observa-se essa alteração de forma objetiva: aproximadamente 5% da área total da bacia hidrográfica apresentou uma mudança de fragilidade ambiental de média para alta ao longo de 38 anos, o que indica certa estabilidade no uso e cobertura do solo. Contudo, esse agravamento pode desencadear impactos significativos em outras questões ambientais e produtivas, especialmente na qualidade da água — um fator crucial para a sustentabilidade ambiental e para as atividades socioeconômicas locais. Esta situação já foi destacada em estudos anteriores [3].

4. CONCLUSÕES

A análise da bacia hidrográfica da Represa Graminha revela que grande parte do território apresenta fragilidade ambiental média, influenciada principalmente por fatores naturais, como a declividade elevada e tipos de solo instáveis. No entanto, uma porção considerável da área é classificada com fragilidade alta, indicando a necessidade de uma gestão cuidadosa, especialmente em regiões com características naturais desfavoráveis.

A comparação temporal entre 1985 e 2023 evidencia que certas áreas são menos suscetíveis a atividades de uso e ocupação do solo, enquanto outras registraram aumento na fragilidade ambiental. Esse cenário destaca a importância de planos diretores municipais integrados ao plano de gestão da bacia hidrográfica, bem como de práticas adequadas de manejo agrícola. Essas ferramentas, se aplicadas de maneira coordenada, podem auxiliar não apenas na manutenção da estabilidade ambiental da região, mas também na sua melhoria, minimizando impactos adversos nas atividades econômicas locais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fapesp - processo 2022/09319-9.

6. REFERÊNCIAS

- [1] J. L. S. Ross. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*. 8: 63 -74, 1994.
- [2] J. L. S. Ross. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. *Revista do Departamento de Geografia-USP*. V. Especial (30 anos), p. 38-51, 2012.
- [3] G.B. Franco. *Fragilidade ambiental e qualidade da água na Bacia do Rio Almada – Bahia*. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- [4] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2022*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>, Acesso em: out. 2024.

[5] European Space Agency. *Copernicus Global Digital Elevation Model*. Distributed by OpenTopography. Sinergise. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Acesso em: out. 2024.

[6] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Banco de Informações Ambientais (BDIA)*. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: out. 2024.

[7] C. C. Funk, P. J. Peterson, M. F. Landsfeld, D. H. Pedreros, J. P. Verdin, J. D. Rowland, B. E. Romero, G. J. Husak, J. C. Michaelson, A. P. Verdin. *A quasi-global precipitation time series for drought monitoring*. U.S. Geological Survey Data Series 832, Reston, 2014.

[8] Projeto MapBiomias. *Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*. Acesso em: out. 2024. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_9/lclu/coverage/brasil_coverage_1985.tif e https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_9/lclu/coverage/brasil_coverage_2023.tif