

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JATOBÁ-MS

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN THE JATOBÁ BROOK WATERSHED-MS

ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIBEIRÃO JATOBÁ-MS

Erica Martins da Silva¹

Vitor Matheus Bacani²

Resumo: Os estudos ambientais em bacia hidrográfica são fundamentais para o entendimento dos processos de uso e ocupação devido à urgência de equilíbrio entre as práticas econômicas e as condições ambientais que acabam por alterar drasticamente as paisagens naturais. O objetivo do presente estudo foi analisar a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jatobá- BHRJ localizada no médio curso do rio Aquidauana, sendo de grande contribuição para o Pantanal no estado de Mato Grosso do Sul. A metodologia adotada fundamentou-se na proposta de Ross (1994) e de Bacani *et al.* (2015), onde se considerou a análise integrada do ambiente a partir das variáveis, solo, declividade, precipitação, uso e cobertura da terra, e adição das Áreas de Preservação Permanentes - APPs. Os resultados demonstraram que a BHRJ possui potencial natural de baixa fragilidade ocupando 56,9% da área da bacia, porém o tipo de uso predominante refere-se à classe de pastagem (46% da área), essa influência resulta em fragilidade ambiental emergente média, ocupando 74% da área de estudo. Para validar o modelo de fragilidade ambiental desenvolvido foram mapeados locais de erosão e conflitos de uso da terra que foram correlacionados com as classes de fragilidade ambiental e de uso e cobertura da terra. Constatou-se que as áreas mais frágeis próximas às APPs possuem maior número de locais (pontos) com erosão indicando uma correlação com os altos graus de fragilidade, onde o tipo de uso e cobertura da terra influencia na fragilidade juntamente com as condições naturais.

Palavras-chave: Validação; Áreas de Preservação Permanentes; Geotecnologias.

¹ Mestranda em Geografia no Programa de Pós-Graduação em Geografia do Campus de Aquidauana pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Aquidauana-MS. E-mail: ericamartins.ms2@gmail.com. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/9022097974805576>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-7608-5536>.

² Professor Associado da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Três Lagoas-MS. É Docente Permanente dos cursos de Mestrado e Doutorado em Geografia da UFMS, Campus de Três Lagoas e do curso de Mestrado em Geografia do Campus Aquidauana. É docente colaborador do Mestrado em Recursos Naturais da FAENG/UFMS em Campo Grande-MS. E-mail: vitor.bacani@ufms.br. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/4907195645708113>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-8650-0780>.

Abstract: The environmental studies in watersheds are fundamental to the understanding of the processes of use and occupation due to the urgent need for balance between economic practices and environmental conditions that end up drastically altering the natural landscapes. The objective of the present study was to analyze the environmental fragility of the Ribeirão Jatobá Watershed - BHRJ located in the middle course of the Aquidauana River, which is of great contribution to the Pantanal in the state of Mato Grosso do Sul. The methodology adopted was based on the proposal of Ross (1994) and Bacani et al. (2015), which considered the integrated analysis of the environment from the variables, soil, slope, precipitation, land use and coverage, and addition of Permanent Preservation Areas - PPAs. The results showed that the BHRJ has a natural potential of low fragility occupying 56.9% of the basin area, but the predominant type of use refers to the class of pasture (46% of the area), this influence results in a medium emerging environmental fragility, occupying 74% of the study area. To validate the developed environmental fragility model, erosion sites and land use conflicts were mapped and correlated with environmental fragility and land use and land cover classes. It was found that the most fragile areas near the APPs have a greater number of places (points) with erosion indicating a correlation with the high degrees of fragility, where the type of land use and coverage influences the fragility along with the natural conditions.

Keywords: Validation; Permanent Preservation Area; Geotechnologies

Resumen: Los estudios ambientales en cuencas hidrográficas son fundamentales para la comprensión de los procesos de uso y ocupación debido a la urgencia de equilibrio entre prácticas económicas y condiciones ambientales que acaban alterando drásticamente los paisajes naturales. El objetivo del presente estudio fue analizar la fragilidad ambiental de la Cuenca Hidrográfica de Ribeirão Jatobá - BHRJ localizada en el curso medio del Río Aquidauana, siendo de gran contribución al Pantanal en el estado de Mato Grosso do Sul. La metodología adoptada se basó en la propuesta de Ross (1994) y Bacani et al. (2015), que consideró el análisis integrado del medio ambiente a partir de las variables, suelo, pendiente, precipitación, uso y cobertura del suelo, y adición de Áreas de Preservación Permanente - APPs. Los resultados mostraron que la BHRJ tiene un potencial natural de fragilidad baja ocupando el 56,9% del área de la cuenca, pero el tipo de uso predominante se refiere a la clase de pastos (46% del área), esta influencia resulta en una fragilidad ambiental emergente media, ocupando el 74% del área de estudio. Para validar el modelo de fragilidad ambiental desarrollado fueron mapeados los conflictos locales de erosión y uso del suelo que fueron correlacionados con las clases de fragilidad ambiental y uso del suelo y cobertura. Se encontró que las zonas más frágiles cerca de las APPs tienen un mayor número de lugares (puntos) con erosión que indica una correlación con los altos grados de fragilidad, donde el tipo de uso del suelo y la cobertura influye en la fragilidad junto con las condiciones naturales.

Palabras clave: Validación; Áreas de Preservación Permanente; Geotecnologías.

Introdução

O Cerrado é um bioma importante para a manutenção do potencial hídrico das principais bacias hidrográficas do Brasil. De acordo com Santos (2012), o Cerrado possui uma extensa demanda hídrica que desempenha um importante papel dentro da cadeia hidrográfica brasileira, fundamental para a atividade socioeconômica e desenvolvimentista do país. Alguns rios que

alimentam o Pantanal surgem em seu domínio, como é o caso do Rio Aquidauana, que nasce na Serra de Maracaju, na região norte do estado de Mato Grosso do Sul (MS), e deságua no rio Miranda, região do Pantanal, percorrendo uma extensão de 620 km, tendo o baixo e parte do médio curso inserido no Pantanal sul-mato-grossense, enquanto o alto e a outra parcela do médio curso pertencem ao domínio do Cerrado (SEPLAN-MS, 1990).

Os municípios que compõem a bacia do rio Aquidauana vêm passando por um processo de transformação e reestruturação do modo de produção, principalmente na produção de carne bovina e também na atividade turística como ecoturismo, no entanto no alto curso da bacia, na região das cabeceiras, expande-se a urbanização e a agricultura, representada pelas lavouras temporárias e pela pecuária de corte e de leite, já as áreas de predomínio de monoculturas de soja, de cana-de-açúcar e de eucalipto tiveram crescimento em área principalmente no médio e alto curso do rio Aquidauana, porém o destaque maior é para a expansão das pastagens plantadas em substituição às áreas de cobertura vegetal natural composta por Cerrados. (JOIA; ANUNCIAÇÃO; PAIXÃO, 2018).

Conforme Rodrigues e Leite (2017) “muitos problemas ambientais são decorrentes das práticas agropecuárias, como erosão, assoreamento, desmatamento, incêndios, entre outros.” Algumas regiões do Pantanal sofrem com os processos de sedimentação que foram acelerados por processos erosivos ocorridos no Planalto, levando a mudanças no curso de rios e inundações em áreas que anteriormente não eram alagadas, com prejuízos à fauna, flora e as populações residentes, como pescadores e fazendeiros (OLIVEIRA, 2022).

Os estudos ambientais em bacia hidrográfica são fundamentais para o entendimento dos processos de uso e ocupação inadequada associada à falta de práticas de planejamento ambiental e conservação do solo. Nesse entendimento, o recorte espacial da bacia hidrográfica no Brasil passou a ser institucionalizada como unidade territorial para gestão de recursos hídricos, através da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Federal nº 9.433/1997, destinada ao desenvolvimento e à aplicação de políticas, planos, programas, instrumentos e ações de cunho estratégico.

Dentro dessa análise, as Áreas de Preservação Permanentes (APPs) são definidas pelo Código florestal (lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), como áreas cuja função consiste de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo

gênico da fauna e da flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, sendo que as mesmas devem permanecer com sua vegetação nativa.

Diante disso, a utilização das geotecnologias pode ser considerada um elemento necessário ao planejamento para cumprir a legislação ambiental e trabalhar em harmonia com o meio ambiente. Portanto as geotecnologias (geoprocessamento) são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica, compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware* que juntos constituem poderosas ferramentas para auxiliar na tomada de decisões (ROSA, 2005; LONGLEY *et al.*, 2013).

Conforme Spörl e Ross (2004, p. 40), a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território. O conhecimento das potencialidades e limitações de uso e ocupação passa primeiramente pelo levantamento de seus atributos físicos, tais como: relevo, geologia, geomorfologia, clima, solo, vegetação e hidrografia, por meio da análise da fragilidade potencial e ambiental (ROSS, 1994).

O índice de fragilidade ambiental baseado na teoria das Unidades Ecodinâmicas recomendadas por Tricart (1977) foi proposto por Ross (1994; 2012) e é amplamente utilizado no Brasil. Nesta proposta a fragilidade ambiental é a suscetibilidade do ambiente a mudanças em seu equilíbrio dinâmico de acordo com suas características intrínsecas e extrínsecas, consiste em um estudo integrado do ambiente natural e das atividades socioeconômicas, e muitos estudos recentes utilizam este conceito para avaliar e mostrar até que ponto uma área é suscetível à degradação ambiental (MANFRÉ *et al.*, 2013; GOUVEIA e ROSS, 2019; ANJINHO *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2022).

Assim, a elaboração do mapeamento da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas inicialmente é realizada com o diagnóstico da fragilidade potencial com objetivo de retratar as variáveis do meio físico-natural, tais como: solo, relevo (declividade), clima (intensidade pluviométrica) e a riqueza da biodiversidade, que após combinadas com o mapeamento do uso atual da terra e cobertura vegetal refletem a fragilidade emergente ou ambiental (BACANI *et al.*, 2015).

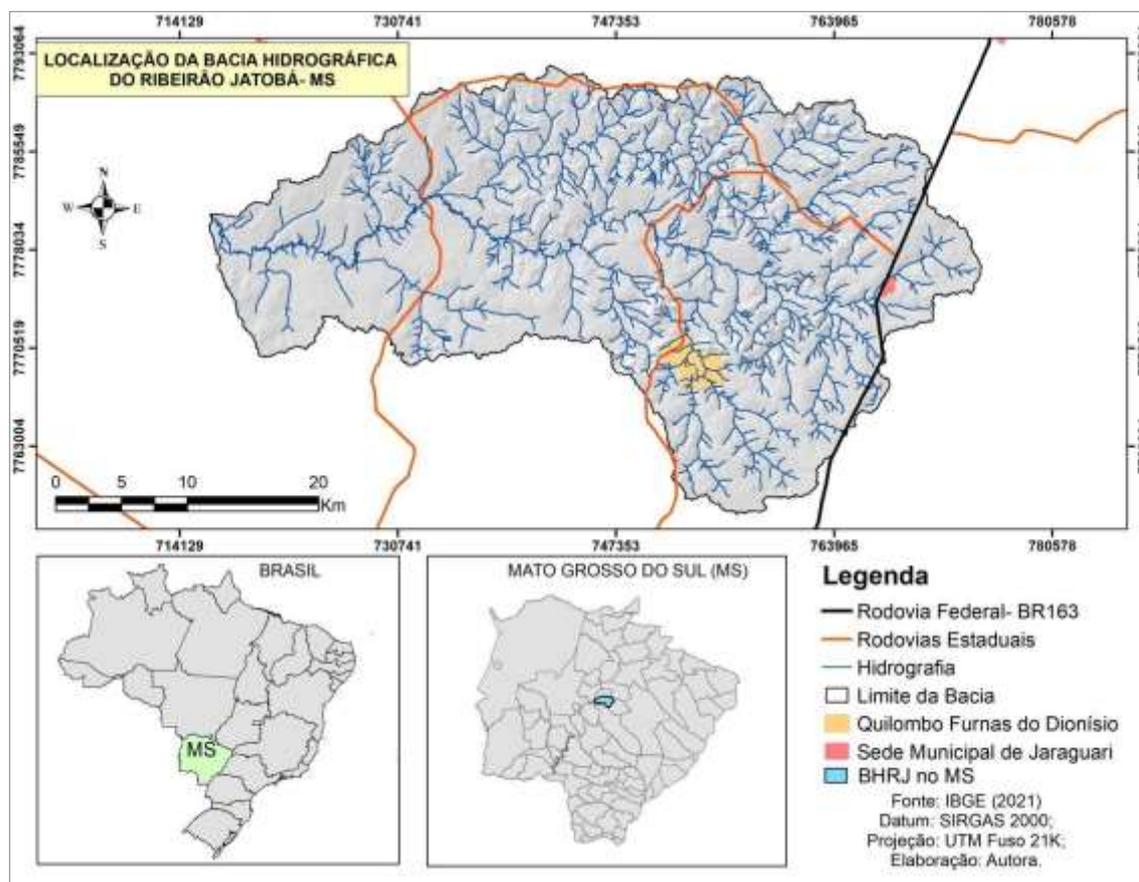
Neste contexto, é de grande relevância estudos sobre as formas de uso da terra ocorrentes nas bacias hidrográficas de pequenos afluentes do rio Aquidauana, obtendo assim,

informações necessárias para auxiliar no planejamento ambiental. A bacia hidrográfica do Ribeirão Jatobá está inserida na bacia hidrográfica do rio Aquidauana, que faz parte da bacia hidrográfica do rio Miranda, que é afluente do rio Paraguai, e envolve remanescentes florestais do Cerrado sendo também de grande contribuição para o Pantanal. Assim, o objetivo do presente estudo foi analisar a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jatobá por meio das geotecnologias, como subsídio para o planejamento ambiental.

Localização da Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jatobá (BHRJ), localizada entre as coordenadas 20° 6'55.32"S e 54°38'45.33"O, é uma sub-bacia do Rio Aquidauana, que por sua vez está inserida na Bacia Hidrográfica do rio Miranda, que é pertencente a bacia do rio Paraguai, sendo de grande contribuição à região do Pantanal (figura 1).

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jatobá



Fonte: IBGE (2021).

O ribeirão Jatobá tem suas nascentes localizadas no município de Jaraguari, no estado de Mato Grosso do Sul-MS, onde se encontra a maior parte da área de sua bacia, sendo que sua foz deságua no rio Aquidauana, no município de Rochedo. A área total da bacia tem 1.135,963 km², distribuída entre os dois municípios, estão inseridos no limite desta bacia a sede municipal de Jaraguari, o Distrito de Bonfim, e o Quilombo Furnas do Dionísio.

Conforme Alvarez et al (2013) o estado de Mato Grosso do Sul apresenta ocorrência de quatro tipos de clima Koppen sendo tipo Af (6,6%), clima tipo Cfa (11,2%), em pequenas porções do estado, mas o que predomina são os climas Aw (36,6%) e o clima Am (45,6%). Na área de estudo foram identificados o clima Aw (tropical com inverno seco) e clima Am (tropical úmido ou subúmido).

Na BHRJ, conforme IBGE (2021) foram identificadas três classes de solos predominantes: Latossolo Vermelho, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos.

Foram encontradas nessa bacia os seguintes Subgrupo de formação com fisionomia típica e característica de Cerrado: Savana Florestada (Cerradão); Savana Arborizada (Campo Cerrado, Cerrado Ralo, Cerrado Típico e Cerrado Denso); Savana Parque (Campo-Sujo-de-Cerrado, Cerrado-de-Pantanal, Campo De-Murundus ou Covoal e Campo Rupestre) e Pecuária, pastagem natural ou plantada (IBGE, 2012).

A geologia da área engloba 3 litologias distintas: Formação Bauru- Caiuá, Formação Serra Geral e Formação Paraná. A Formação Serra Geral ocorre em grande parte na área central da bacia; a Formação Paraná encontra-se a oeste e a Formação Bauru-Caiuá tem uma pequena porção ao leste da bacia (IBGE, 2021).

A área de estudo está em duas regiões Geomorfológica do Planalto do Rio Paraná e Planaltos e Patamares da Borda Ocidental da Bacia do Paraná, nas Unidades Geomorfológicas Planalto de Campo Grande e Planalto Dissecado da Borda Ocidental da Bacia do Paraná apresentando as seguintes formas de relevo: pediplano, topo convexo e topo tabular. Os conjuntos de formas de relevo que compõem as unidades foram compartimentos identificados como depressões e planaltos (IBGE, 2021).

A bacia hidrográfica do ribeirão Jatobá está situada no médio curso do rio Aquidauana pertencendo ao domínio do cerrado, com parte de sua área considerada de Prioridade Extremamente Alta, conforme a segunda atualização das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (MMA, 2018).

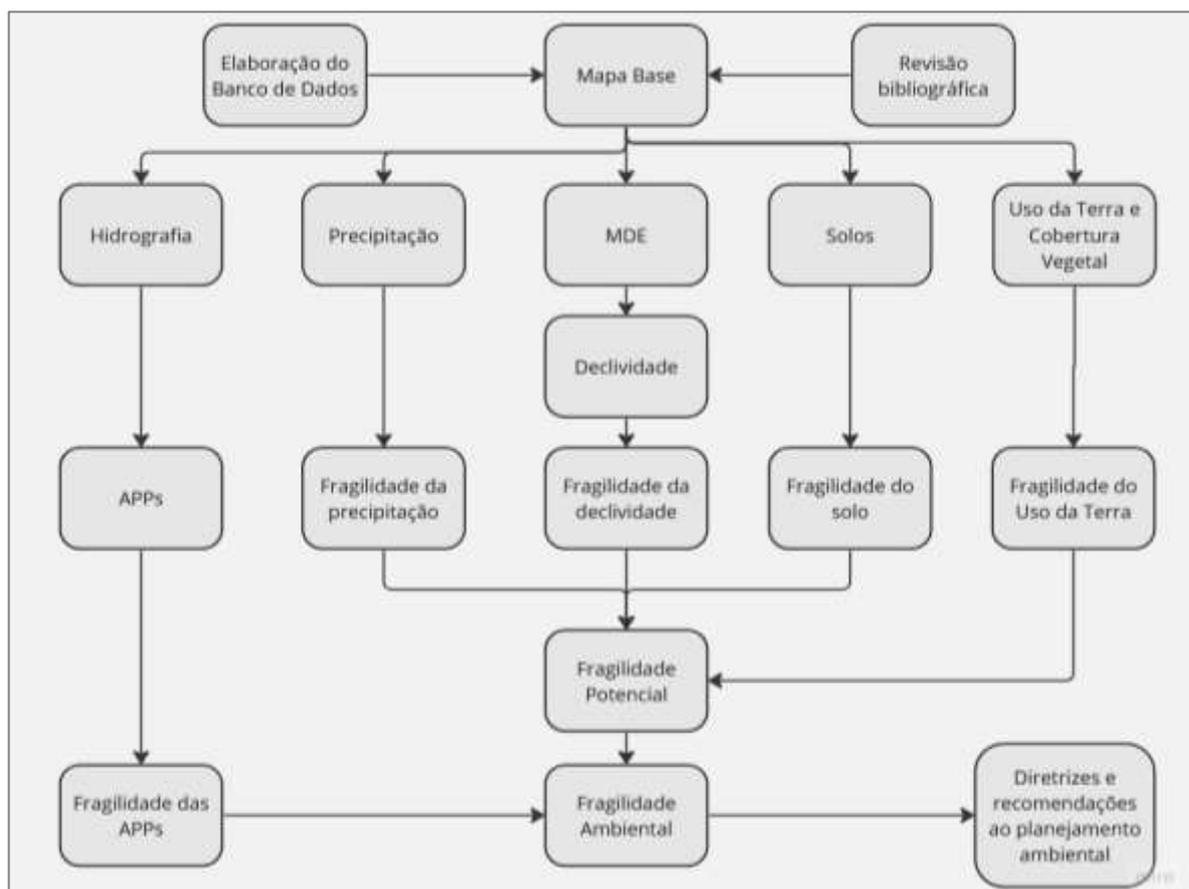
Procedimentos Metodológicos

A fragilidade ambiental foi baseada nas metodologias de Ross (1994) e de Bacani *et al.* (2015), com a confecção dos mapas de declividade, solos, pluviosidade e uso e cobertura da terra, tendo a adição das áreas de preservação permanentes (APPs) conforme apresenta o fluxograma (figura 2).

Para elaboração da análise da fragilidade ambiental da BHRJ, foram utilizados os softwares de SIGs Global Mapper 18.2, Qgis 3.22, Google Earth Pro e Google Earth Engine, com estruturas matriciais e vetoriais derivadas de banco de dados públicos.

Os mapas temáticos foram desenvolvidos no software QGIS 3.22.8 'Białowieża', sendo este um aplicativo profissional de SIG livre e de código aberto, seu conteúdo está sob a licença Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 (CC BY-SA).

Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos adotados



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A delimitação da bacia foi elaborada a partir da imagem do radar ALOS – PALSAR 12,5m, (ASF/Alaska <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>), no software Global Mapper versão 13.2, onde gerou-se o mosaico das imagens, e as curvas de nível com intervalo de 10 metros para ajuste da rede de drenagem.

Os dados da hidrografia foram extraídos do site da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável- FBDS (<http://geo.fbds.org.br/>), essa base cartográfica foi elaborada a partir da classificação supervisionada e vetorização de imagens satélite *RapidEye* (5 metros), na escala de 1:25.000, do ano base 2013 (FBDS, 2018).

A espacialização das áreas que apresentam restrições legais à ocupação foi realizada conforme a legislação ambiental, denominadas como Áreas de Preservação Permanentes (APPs), de acordo com o Código Florestal Brasileiro vigente, Lei Federal Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012). O mapeamento das APPs foi elaborado com base na interpretação visual de imagem de alta resolução espacial disponível no Google Earth Pro, a partir da hidrografia, onde criou-se mapa de pontos das nascentes delimitando com polígono (buffer) um distanciamento de 50 metros, gerou-se buffers de 30 metros para rede hidrográfica, também se criou um polígono contornando topo de morro com inclinações médias superiores a 25° graus.

Realizou-se o recorte do mapeamento de solos, conforme limite da área de estudo gerada anteriormente, onde foram utilizados os dados vetoriais do Banco de Dados de Informações Ambientais – BDIA, (<https://bdiaweb.ibge.gov.br>) com a escala 1:250.000. A classificação dos solos está de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) – Embrapa (2018), recortados para o limite da bacia e categorizado conforme Ross (1994; 2012) (tabela 1).

Tabela 1 - Relação entre os graus de fragilidade e os solos na BHRJ.

Peso	Graus de Fragilidade	Tipos de Solos
1	Muito baixa	***
2	Baixa	Latossolos vermelhos
3	Média	***
4	Alta	***
5	Muito Alta	Neossolos Litólicos/Quartzarênicos

(***) Classes não encontradas na área de estudo.

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Existem diferentes propostas de classificação de declividade para orientar o uso adequado do relevo, possibilitando a identificação de áreas suscetíveis aos processos erosivos. Informações a respeito do declive das vertentes são de considerável importância, tendo em vista a possibilidade de indicar fatores críticos e restritos a determinados usos (IBGE, 2009). Para o presente trabalho utilizou-se a proposta de Ross (1994), com extração de valores da declividade em porcentagem, elaborado a partir do radar ALOS – PALSAR, (tabela 2).

Tabela 2 - Relação entre os graus de fragilidade e as classes de declividade.

Peso	Graus de Fragilidade	Classes de Declividade
1	Muito baixa	0 a 6 %
2	Baixa	6 a 12 %
3	Média	12 a 20 %
4	Alta	20 a 30 %
5	Muito Alta	> 30 %

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

As informações de precipitação foram geradas na plataforma do *Google Earth Engine* de análise geoespacial baseada em nuvem (<https://cade.earthengine.google.com>), onde permite visualizar e analisar imagens como do TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), considerado uma ferramenta promissora nas pesquisas deste âmbito (CHEN *et al.*, 2019; BATTAGLIA *et al.*, 2020). Foi utilizado para extrair informações da precipitação estimada de 20 anos (1998-2019) totalizando de 1.369 mm a 1.421 mm de média anual no recorte da área de estudo.

A precipitação média anual foi calculada e dividida pelo número de meses chuvosos da região, de acordo com IBGE (1993). A classe de fragilidade foi determinada conforme Crepani *et al.* (2001), padronizada para as classes de fragilidade ambiental de Ross (1994). A partir da relação entre a precipitação média anual (PMA) e duração do período chuvoso (DPC) é obtida a intensidade pluviométrica (IP) (tabela 3).

Tabela 3 - Intensidade pluviométrica na BHRJ.

PMA (mm)	DPC (meses)	IP (mm)	Peso	Grau de Fragilidade
1.395	9	155	3	Média

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001) e Ross (1994).

O mapeamento de cobertura e uso da terra utilizou informações disponibilizadas do Projeto MapBiomass ano de 2021 (disponível no site <http://mapbiomas.org>). Os mapas são produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens dos satélites Landsat, através de algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) na plataforma *Google Earth Engine* (MapBiomass, 2022). Os dados de Cobertura e Uso da Terra do Mapbiomas foram reclassificados de acordo com Manual de Uso da Terra (IBGE, 2012) e receberam pesos para cada classe de acordo com os níveis de fragilidade (tabela 4).

Tabela 4 - Classes de uso e cobertura da terra reclassificada

Peso	Graus de Fragilidade	Tipos de Uso
1	Muito baixa	Formação Florestal
2	Baixa	Formação Campestre
3	Média	Pastagem, Silvicultura e Uso não Identificado
4	Alta	Lavouras Temporárias
5	Muito Alta	Áreas Descobertas, Área Urbanizada, Campo Alagado, e Rio e Lago

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Inicialmente realizou-se a conversão dos dados vetoriais para a estrutura matricial (Raster). Em seguida, foram feitas adaptações e atribuídos pesos para cada classe de acordo com os níveis de fragilidade, baseado nas propostas de Ross (1994). A combinação das variáveis, para a confecção das fragilidades, se deu por meio da álgebra de mapa (SPÖRL; ROSS, 2004).

O mapa da fragilidade potencial foi gerado por meio de álgebra de mapas das variáveis naturais já reclassificadas, de solo, declividade e pluviosidade. O mapa da fragilidade ambiental emergente foi gerado por meio da sobreposição dos mapas de fragilidade potencial e da variável

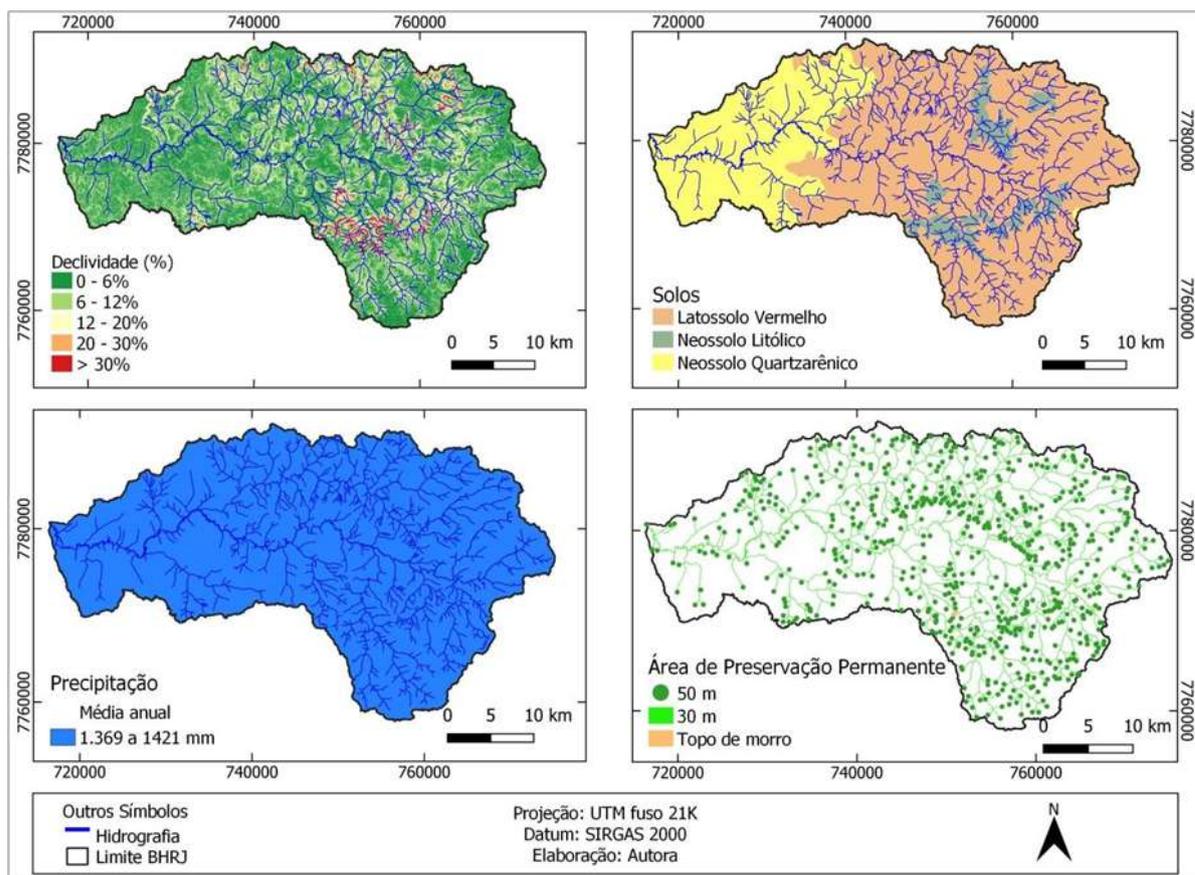
uso e cobertura da terra, também reclassificada através do grau de proteção ao solo, de acordo com Ross (1994). Logo depois se adicionaram as informações das APPs, sobrepondo suas variáveis também reclassificadas como resultado da fragilidade ambiental.

Para avaliar a correspondência do modelo de fragilidade ambiental gerado comparando com a realidade, foram usados pontos contendo diferentes impactos ambientais negativos na área, utilizando imagens orbitais de alta resolução espacial disponíveis no *software Google Earth Pro*, utilizando o plugin *QuickMapServices*, que a partir de coordenadas capturadas por interpretação visual juntamente com imagens históricas, conforme a data do mapeamento de Uso da Terra (2021), assim sendo possível gerar uma nova camada vetorial com os pontos das imagens coletadas, para analisar esses pontos juntamente com o resultado da fragilidade ambiental.

Resultados e Discussão

A partir de análise de dados dos solos da BHRJ juntamente com o resultado da elaboração do mapa de declividade em porcentagem, trabalhados também os dados de precipitação e a elaboração do mapeamento de APPs (figura 3), foi possível chegar ao resultado das fragilidades destas variáveis para posteriormente a partir de álgebra de mapa gerar o mapa de Fragilidade Potencial e Ambiental.

Conforme demonstra o mapa de Fragilidade Potencial (figura 4) e as informações detalhadas na tabela 5, a maior porção da bacia com 646,7 km² correspondendo a 56,9% da área total obteve o grau de baixa fragilidade potencial, recebendo peso 2. Essas áreas, em grande parte, possuem declividade menor que 20%, com Latossolo Vermelho caracterizado em geral por ser profundo maduro e possuir alta porosidade (EMBRAPA, 2014) que, de acordo com Ross (1994) apresenta vulnerabilidade “muito baixa”, que juntamente com a precipitação, naturalmente resultou em fragilidade baixa em maior área da bacia.

Figura 3 - Variáveis utilizadas na análise da fragilidade.

Fonte: a) AlosPalsar; b) IBGE (2021); c) TRMM; d) FBDS (2018).

Em seguida, a classe de média fragilidade (peso 3), apresenta 413,1km² sendo 36,3% da área. Ocorrem em áreas com declividade acima de 20%, em solos Neossolos Litólicos, mas também em áreas de baixa declividade, associadas à Neossolos Quartzarênicos. Com 76 km², registrou-se a classe de alta fragilidade, o que corresponde a 6,6% da área. Sua ocorrência predomina em áreas que apresentam declividade de 20% e acima de 30%, associadas à Neossolos Litólicos e Quartzarênicos.

Embora a fragilidade potencial da BHRJ apresente mais de 56,% da sua área na categoria de baixa fragilidade, a ocorrências de Neossolos, associados às zonas de transição geomorfológica onde se registra maiores declividades com a ocorrência de chuvas concentradas, acende um sinal de alerta em termos da ocorrência de processos erosivos. Nesse sentido, evidencia-se que 6,6% da área é classificada como de fragilidade potencial alta sendo que alguns estudos indicam que áreas que apresentam potencial natural de elevadas

fragilidades, quando considerado o uso da terra, sua fragilidade consequentemente aumenta (BACANI *et al.*, 2015).

Figura 4 - Fragilidade Potencial da BHRJ.



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A Tabela 5 apresenta a quantificação em quilômetros (km) e porcentagem (%) das áreas de fragilidade potencial.

Tabela 5 - Relação entre os graus de fragilidade potencial e a Área da Bacia.

Graus de Fragilidade	Peso	Área km ²	Área %
Baixa	2	646,776	56,936
Média	3	413,113	36,367
Alta	4	76,074	6,697
Total	-	1135,963	100

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

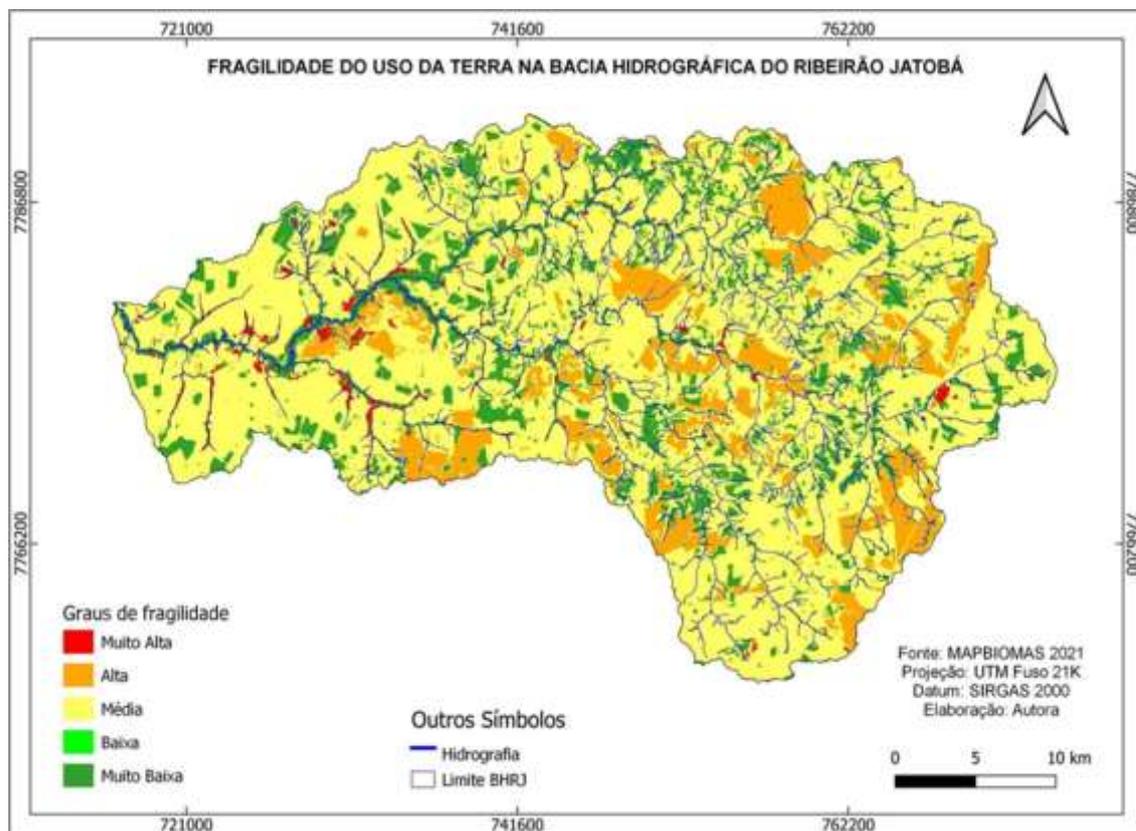
Uso e Cobertura da Terra

As áreas com fragilidade potencial elevada naturalmente apresentam solos com alta fragilidade, declividade acentuada e também áreas de APPs. Devido a essas características naturais agregadas a atividades de uso da terra com retirada da vegetação para implementar pastagem plantada ou lavouras sem manejo adequado podem resultar em processos erosivos.

A presença de Neossolo Quartzarênico e Neossolo Litólico eleva a fragilidade para e que favorece o surgimento de processos erosivos em situação de uso intensivo, e a alta declividade favorece a classificação com alta fragilidade em áreas com lavouras. Desta forma, essas áreas devem ser usadas com cautela, para que o grau de fragilidade não aumente, pois suas características físicas (declividade e solo) favorecem a ocorrência de processos erosivos (Manfré *et al.*, 2013).

A Figura 5 apresenta a fragilidade das classes de uso e cobertura da terra na BHRJ para o ano de 2021.

Figura 5 - Fragilidade do Uso e cobertura da Terra na BHRJ-2021.



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Na BHRJ o uso e cobertura da terra predominante foi o de pastagem ocupando 46% da área sendo classificada de média fragilidade, juntamente com o uso não identificado (20%) e silvicultura (0,5%). Em seguida, a formação florestal ocupa 19% da área da bacia com fragilidade muito baixa. As lavouras temporárias aparecem ocupando uma área com valor significativo de 11% com fragilidade alta. Esses resultados irão compor o mapa de fragilidade ambiental emergente e serão importantes no resultado final da análise.

A Tabela 6 apresenta a quantificação em quilômetros (km) e porcentagem (%) das áreas de fragilidade uso e cobertura da terra.

Tabela 6 - Classes de fragilidade do uso da terra na BHRJ.

Classes de Uso	Peso	Area (km ²)	Área (%)
Formação Florestal	1	216,236	19,035
Formação Campestre	2	0,587	0,052
Silvicultura	3	6,778	0,597
Rio e Lago	5	0,614	0,054
Pastagem	3	523,395	46,075
Uso não identificado	3	234,627	20,654
Área Descoberta	5	1,212	0,107
Campo Alagado	5	18,151	1,598
Lavouras Temporárias	4	133,486	11,751
Área Urbanizada	5	0,877	0,077
Total	-	1.135,963	100%

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Fragilidade Ambiental (Emergente)

As informações de cobertura vegetal e uso da terra são importantes para análise da fragilidade ambiental, pois a classe de uso predominante da bacia influencia no resultado final. Então a partir dos resultados da fragilidade potencial (figura 4) e da fragilidade da cobertura e uso da terra (figura 5) pode-se elaborar o mapa da fragilidade ambiental, com a sobreposição da variável APP ao final do processo. Dessa integração de dados resultou no mapa de fragilidade ambiental (figura 6).

Conforme a tabela 7 percebe-se que 74,1 % da bacia obteve a fragilidade Ambiental Média (3). A ocorrência desta classe encontra-se associada a presença de áreas de pastagem, uso não identificado e Silvicultura, em consonância com declividade abaixo de 20%. Mesmo localizando-se em áreas de menor declividade, a pastagem representa a maior área com de “média” fragilidade (46%) devido ao baixo nível de proteção que esta oferece ao solo. Resultados equivalentes a esses também foram constatados por Abrão e Bacani (2018).

A classe de fragilidade baixa (2) ocupa 13,2 % da BHRJ, e se distribui em locais onde se encontra Formação Florestal. Em seguida, a fragilidade ambiental Alta (4) foi mapeada em 6,2% da área de estudo, sua ocorrência associa-se com áreas de altas declividades, solos frágeis, campo alagado e margens de curso d’água (APPs). A fragilidade muito alta (5) foi identificada em 6,3% da BHRJ, ocupando áreas de APPs, campo alagado, tanto em região de baixa e alta declividade, com uso predominante de pastagem e lavouras temporárias.

Figura 6 - Fragilidade Ambiental da BHRJ.



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A Tabela 7 apresenta a quantificação em quilômetros (km) e porcentagem (%) das áreas de fragilidade ambiental.

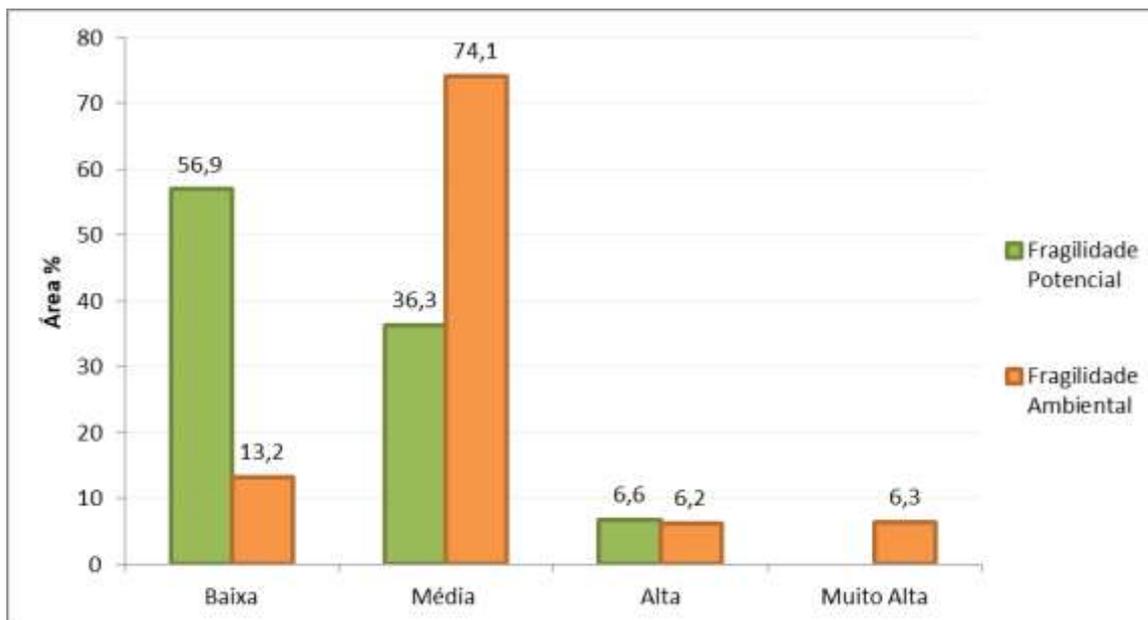
Tabela 7 - Relação entre os graus de Fragilidade Ambiental na BHRJ.

Graus de Fragilidade	Peso	Área Km²	Área %
Baixa	2	150,020	13,206
Média	3	842,756	74,189
Alta	4	70,623	6,217
Muito Alta	5	72,564	6,388
Total	-	1135,963	100

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A relação da área ocupada entre as classes de Fragilidade Potencial com as de Fragilidade Ambiental são demonstradas no gráfico (Figura 7). A Fragilidade Potencial em sua maior área se apresentou Baixa enquanto que a Fragilidade Ambiental se apresentou em sua maior parte Média. Evidenciou-se que a ação das atividades antrópicas aumentaram de modo muito expressivo os níveis de fragilidade ambiental na BHRJ, sobretudo na classe média e muito alta fragilidade.

Figura 7 - Área ocupada por classe de fragilidade potencial e ambiental na BHRJ.



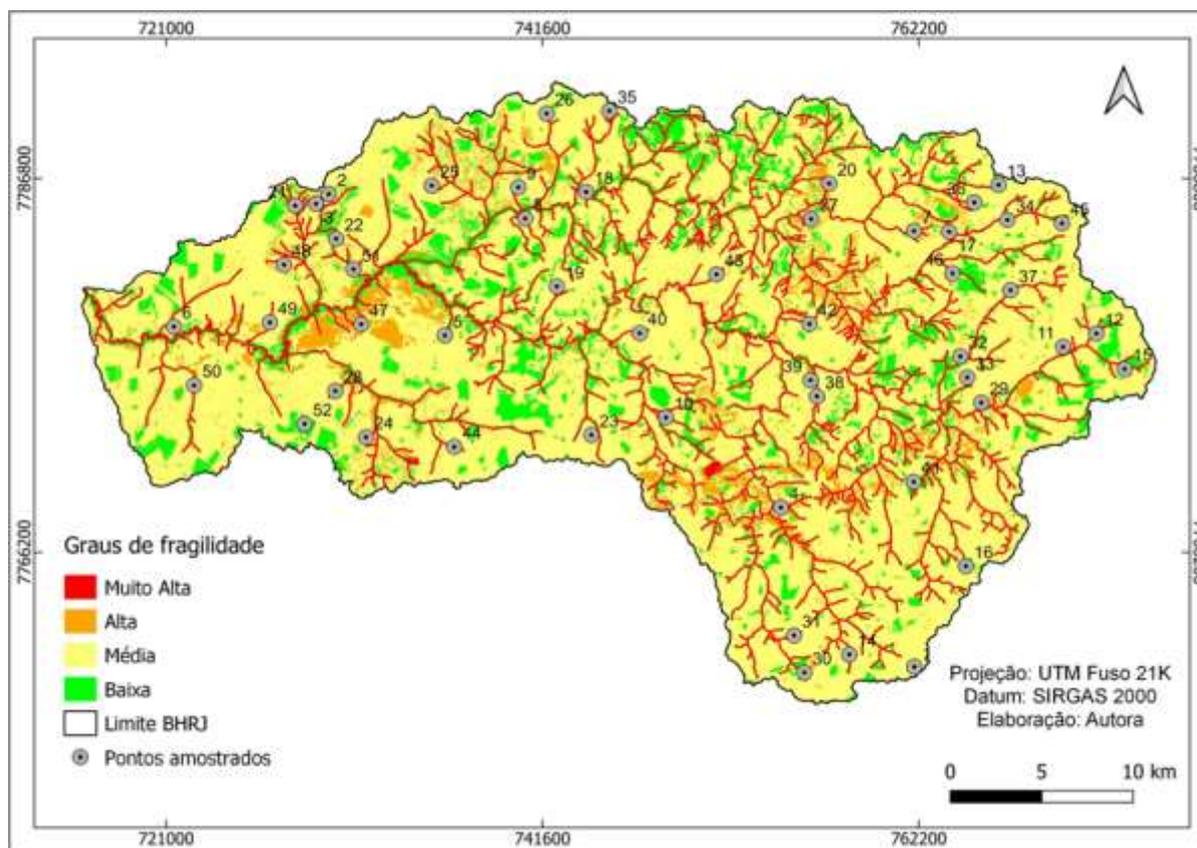
Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A classe baixa que representava 56,9% de área de fragilidade potencial, na fragilidade emergente reduziu para 13,2%. Já a classe média de fragilidade potencial que representava 36,3% de área se elevou para 74,1% na fragilidade emergente quando considerado o uso da terra. Porém não ocorreu o mesmo na classe alta, que de 6,6% da fragilidade potencial passou para 6,2% na fragilidade emergente.

Esse resultado ocorre após agregar as informações de uso da terra levando em consideração os usos predominantes na bacia sendo que a pastagem que ocupa 46% da área e também o uso não identificado que corresponde 20% da área, ambas variáveis receberam fragilidade média no uso com peso 3, resultando no aumento da classe média de fragilidade ambiental. Já referente à classe alta fragilidade observa-se que naturalmente a bacia tem 6,6% da área quando incorpora o uso principalmente da pastagem resulta uma redução para 6,2% de fragilidade ambiental. Levando em consideração a fragilidade ambiental muito alta observa-se o valor de 6,3% com a sobreposição da variável APP que possuem muito alta fragilidade somada com área descoberta e campo alagado permanecem com fragilidade muito alta.

Validação do modelo de fragilidade ambiental

Conforme o modelo de fragilidade ambiental gerado pode-se avaliar sua correspondência com os problemas ambientais identificados em campo a partir das análises dos pontos amostrados, dos 52 pontos captados 42 estavam associados aos graus de fragilidade ambiental alta e muito alta, 5 a média e 5 a baixa fragilidade. Dentre os 42 pontos de elevada fragilidade, 28 correspondem a processos erosivos. Outros 10 pontos com fragilidade alta e muito alta são 5 em áreas de conflito de uso em APPs e 5 em áreas de campo alagado (Figura 8).

Figura 8 - Pontos amostrados no mapa de fragilidade ambiental.

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Os pontos de amostragem dos processos erosivos foram especializados nos diferentes tipos de solos presentes na bacia, porém com maior ocorrência de erosão em Latossolo Vermelho seguida de Neossolo Quartzarênico onde o uso é pastagem e lavoura temporária. A BHRJ possui potencial natural de baixa fragilidade, porém o tipo de uso predominante resulta em fragilidade ambiental emergente média que requer atenção na relação dos modos de uso da terra com os recursos naturais, pois as práticas de manejo convencional expõem o solo acelerando o processo erosivo (desagregação, transporte e deposição).

Conforme as imagens dos pontos amostrados na BHRJ foram identificadas nas áreas de pastagens trilhas formadas pelo pisoteio de animais, em direção aos cursos d'água para dessedentação, contribuindo para concentração de enxurrada, formando de sulcos, ravinas e voçorocas. Resultados parecidos foram identificados em estudos realizados por Capoane *et al.* (2022) na bacia do córrego Pombal afluente do ribeirão Jatobá.

Nas APPs também foram identificados processos erosivos principalmente próximos às nascentes onde ocorre uso da terra, para lavouras temporárias e pastagem. Apesar dos

Latossolos Vermelhos serem considerados solos resistentes, o uso da terra de lavouras e pastagens pode alterar seu equilíbrio, assim torna-se necessária a adoção de técnicas de rotação de cultura e de plantio direto para a manutenção do solo. (GOUVEIA *et al.*, 2015).

O resultado da validação deste modelo demonstra que dos 42 pontos amostrados em área de alta e muito alta fragilidade, 28 correspondem a processos erosivos, obtendo assim um percentual de 66% dos pontos analisados. Os demais pontos, 10 estão em áreas de conflito de uso em APPs e campo alagado que também são de alta e muito alta fragilidade ambiental. Dos 52 pontos, o modelo acertou 42, ou seja, teve um percentual de acerto de 80,7%.

Constatou-se que as áreas mais frágeis próximas as APPs possuem maior número de locais (pontos) com erosão indicando uma correlação com os altos graus de fragilidade, onde o tipo de uso e cobertura do solo influencia na fragilidade juntamente com as condições naturais. Quanto aos conflitos de uso nesta bacia hidrográfica, verificou-se uso na modalidade lavoura temporária e pastagem plantada em APP, e campo alagado, além de represamento de canais fluviais. Através da espacialização da legislação ambiental com uso de geotecnologias, permitiu-se avaliar que áreas de proteção permanente da vegetação nativa vêm sofrendo com desmatamentos para inserção de pastagem plantada e lavoura temporária.

Conforme a segunda atualização do Ministério do Meio Ambiente – MMA (BRASIL, 2018), a bacia em estudo possui área considerada de prioridade Extremamente Alta, localizada próxima a foz do Ribeirão Jatobá, onde deságua no rio Aquidauana, e onde se encontram grande parte dos campos alagados. Essas áreas prioritárias indicam os locais onde a conservação, proteção e o uso devem ser sustentáveis, sendo esta uma variável relevante para a análise da fragilidade devido a sua importância para conservação.

O modelo apresentado demonstrou vantagens na análise de fragilidade ambiental principalmente em áreas de APPs considerando também os campos alagados, podendo ser utilizado como ferramenta no planejamento ambiental sendo replicado em outras áreas de estudo. No entanto, apesar do resultado satisfatório, o modelo apresentou limitações quanto a não identificação de processos erosivos ou solos descobertos em meio a pastagem ou lavoura temporária, essa falha ocorreu possivelmente devido à resolução espacial dos dados utilizados.

Considerações Finais

A análise da fragilidade ambiental utilizando adaptação metodológica das propostas de Ross (1994) e Bacani *et al.*, (2015) a partir de dados públicos atendeu aos objetivos propostos, sobretudo com a utilização das áreas de preservação permanente (APPs) como variáveis no estudo. Os principais resultados da pesquisa e propostas de diretrizes para ordenamento territorial para BHRJ foram:

- A bacia BHRJ apresenta 56,9% da sua área com grau de fragilidade potencial baixa;
- As áreas classificadas com média fragilidade ambiental predominam em 74% da bacia, relacionada usos da terra que prevalece (pastagem);
- A fragilidade ambiental alta (6,2%) e muito alta (6,3%) requer atenção por compor áreas com declividade acentuada, solos frágeis, campo alagado e em APPs;
- Os processos erosivos ocorrentes na bacia estão relacionados ao tipo de uso da terra em áreas potencialmente frágeis;
- Recuperação das áreas com processos erosivos lineares e em processo de arenização, a restauração das APPs, principalmente às de nascentes;
- Recuperar as áreas de uso ilegal através do apoio governamental, por meio do fornecimento de mudas nativas aos proprietários rurais para o reflorestamento das áreas ocupadas ilegalmente;
- Incluir os remanescentes florestais às áreas de preservação permanente, visto que o Código Florestal Brasileiro prevê esta possibilidade de inclusão para remanescentes florestais de grande importância para a redução do potencial erosivo (Brasil, 2012a, art. 67);
- Desenvolver estratégias governamentais com incentivo financeiro para promoção de restauração ambiental a partir de programas e projetos de conservação.

Referências

ABRÃO, Cleiton Messias Rodrigues; BACANI, Vitor Matheus. Diagnóstico da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 619-645, 2018.

ÁLVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANJINHO, Phelipe da Silva *et al.* Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: A Brazilian basin case study. **Land Use Policy**, v. 100, p. 104946, 2021.

BACANI, Vitor Matheus *et al.* Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 119-135, 2015.

BATTAGLIA, Alessandro *et al.* Spaceborne cloud and precipitation radars: Status, challenges, and ways forward. **Reviews of Geophysics**, v. 58, n. 3, p. e2019RG000686, 2020.

BRASIL Código Florestal Brasileiro. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília, **Diário Oficial da União**, 2012.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. 1997.

CAPOANE, Viviane *et al.* Caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do Córrego Pombal e avaliação do potencial geoturístico da comunidade quilombola Furnas do Dionísio, Jaraguari-MS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 01, p. 068-091, 2022.

CHEN, Haonan *et al.* Rainfall estimation from ground radar and TRMM precipitation radar using hybrid deep neural networks. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 17-18, p. 10669-10678, 2019.

CREPANI, Edison *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 353 p. 3 ed. Brasília, 2013.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Brasília, 2018. 353p.

FBDS. FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Mapeamento em Alta Resolução dos Biomas Brasileiros**, 2018.

GEE. **Google Earth Engine**. Disponível em: <https://cade.earthengine.google.com>. Acesso em: 10nov2021

GOUVEIA, Rogerio GL *et al.* Análise da fragilidade ambiental na bacia do rio Queima-Pé, Tangará da Serra, MT. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 2, p. 131-140, 2015.

GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz-Caccia; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Fragilidade Ambiental: uma proposta de aplicação de Geomorphons para a variável relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 123-136, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. RECURSOS NATURAIS. Coordenação; AMBIENTAIS, Estudos. **Manual técnico de Geomorfologia**. Ed. Rio de Janeiro, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. **Banco de dados de informações ambientais**. Rio de Janeiro, 2019.

JOIA, Paulo Roberto; ANUNCIACÃO, Vicentina Socorro da; PAIXÃO, Alfredo Aguirre da. Implicações do uso e ocupação do solo para o planejamento e gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Aquidauana, Mato Grosso do Sul. **Interações (Campo Grande)**, v. 19, p. 343-358, 2018.

LONGLEY, Paul A. *et al.* **Sistemas e ciência da informação geográfica**. Bookman Editora, 2009.

MANFRÉ, Luiz Augusto *et al.* Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiuna (the Southeastern Brazilian region). **Environmental Earth Sciences**, v. 69, p. 947-957, 2013.

MAPBIOMAS. **Projeto**. Série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. 2021.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **2ª Atualização das Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade**, 2018.

NASA. **EARTH DATA. Open access for open Science**. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/>. Acesso em: 10ago2021.

OLIVEIRA, Ademir Kleber Morbeck de *et al.* Análise multitemporal do sul do município de São Gabriel do Oeste, Mato Grosso do Sul, região das nascentes do rio aquidauana, frente às atividades antrópicas e suas consequências. **Caderno de Geografia**, v. 32, n. 68, p. 247-247, 2022.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. **Open Source Geospatial Foundation Project**, 2022. Available online: <https://www.qgis.org/en/site/>.

RODRIGUES, Lidiane Perbelin; LEITE, Emerson Figueiredo. Dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Aquidauana, MS. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 6817-6825, 2017.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 38-51, 2012.

SANTOS DA SILVA, Edson Rodrigo dos *et al.* Geotecnologías aplicadas al análisis de la fragilidad ambiental a los procesos erosivos. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 31, n. 1, p. 222-240, 2022.

SANTOS, HG. dos *et al.* **Embrapa**: Sistema brasileiro de classificação de solos. 2018.

SANTOS, Jeane Reis dos. **Recursos hídricos no Cerrado brasileiro**: importância e contribuições da educação ambiental na preservação e no manejo sustentável. 2012.

SEPLAN-MS. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL. **Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: SEPLAN/IBGE, 1990.

SPÖRL, Christiane; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, v. 15, p. 39-49, 2004.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria Técnica, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1977.

*Recebido em 23 de abril de 2023.
Aceito em 25 de maio de 2023.
Publicado em 01 de junho de 2023.*