



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MAIZA REGIANE SILVA

**Fragilidade ambiental e dinâmica de uso e cobertura da terra na
bacia hidrográfica do ribeirão Forquilha (GO) - 1985 a 2023**

GOIÂNIA
2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação ☐ Tese ☐ Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Maiza Regiane Silva

3. Título do trabalho

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO FORQUILHA (GO) - 1985 A 2023**

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Maiza Regiane Silva, Discente**, em 03/07/2026, às 16:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabrizia Gioppo Nunes, Professora do Magistério Superior**, em 06/07/2026, às 08:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6271900** e o código CRC **456FF858**.

Referência: Processo nº 23070.018549/2026-70

SEI nº 6271900

MAIZA REGIANE SILVA

**Fragilidade ambiental e dinâmica de uso e cobertura da terra na
bacia hidrográfica do ribeirão Forquilha (GO) - 1985 a 2023**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGeo), do Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Mestra em Geografia.

Área de Concentração: Natureza e Produção do Espaço.

Linha de Pesquisa: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica

Orientadora: Profa. Dra. Fabrizia Gioppo Nunes

GOIÂNIA
2026

Silva, Maiza Regiane

Fragilidade ambiental e dinâmica de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do ribeirão Forquilha (GO) - 1985 a 2023 [manuscrito] / Maiza Regiane Silva. - 2026.

78 f.: 2026

Orientadora: Prof(a). Dra. Fabrizia Gioppo Nunes

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2026.

Bibliografia.

Inclui: siglas, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Geoprocessamento. 2. Bacia Hidrográfica. 3. Análise Ambiental. 4. Dinâmica Espacial.

I. Nunes, Fabrizia Gioppo, orient. II. Título.

CDU 911.2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **24/2026** da sessão de Defesa de Dissertação de **Maiza Regiane Silva**, que confere o título de Mestra em **Geografia**, na área de concentração em **Natureza e Produção do Espaço**.

Aos vinte oito dias do mês de abril do ano dois mil e vinte e seis, a partir das **14:30** horas, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **“FRAGILIDADE AMBIENTAL E DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO FORQUILHA (GO), NO PERÍODO DE 1985 A 2023”**. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora **Fabrizia Gioppo Nunes (PPGEO/IESA)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Patrícia de Araújo Romão (IESA/UFG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Diego Tarley Ferreira Nascimento (PPGEO/IESA)**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora **Fabrizia Gioppo Nunes (PPGEO/IESA)**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, **aos vinte oito dias do mês de abril do ano dois mil e vinte e seis**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

FRAGILIDADE AMBIENTAL E DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO FORQUILHA (GO) - 1985 A 2023



Documento assinado eletronicamente por **Fabrizia Gioppo Nunes, Professora do Magistério Superior**, em 28/04/2026, às 17:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Diego Tarley Ferreira Nascimento, Professor do Magistério Superior**, em 28/04/2026, às 17:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patricia De Araujo Romao, Professor do Magistério Superior**, em 28/04/2026, às 17:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6120157** e o código CRC **52EA82F4**.

RESUMO

O estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Forquilha (BHRF), localizada na Região Geográfica Imediata de Ceres–Rialma–Goianésia – GO. Com uma área aproximada de 342 km², a bacia abrange parte dos municípios goianos de Goianésia e Vila Propício, a qual é utilizada para o abastecimento público do primeiro município além de ser uma área de grande potencialidade agrícola. Objetivou-se com o trabalho analisar a fragilidade ambiental e dinâmica associada ao uso e cobertura da terra no período de 1985 a 2023 na referida bacia hidrográfica. Inicialmente, realizou-se a caracterização da bacia, considerando variáveis como relevo, solos e pluviosidade, além da análise temporal do uso e cobertura da terra. Para isso, foram utilizadas bases de dados de órgãos oficiais, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), além de dados de relevo derivados do Modelo Digital de Elevação (MDE) *Copernicus* (30 m), informações de uso e cobertura da terra do MapBiomas (1985–2023) e dados pluviométricos do produto CHIRPS (2003–2023). A fragilidade ambiental foi obtida com utilização das metodologias adaptadas de Ross (1994), Crepani et al. (2001) e Silva (2023). A integração das variáveis ocorreu por álgebra de mapas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o uso do software QGIS. Os resultados evidenciam mudanças significativas no uso e cobertura da terra ao longo do período analisado. Em 1985, predominavam as áreas de pastagem (56,06%), enquanto a agricultura era pouco expressiva (0,24%). Em 2023, as pastagens reduziram-se para 38,70%, com aumento expressivo das áreas agrícolas (14,65%), principalmente relacionadas ao cultivo de soja e cana-de-açúcar. Destaca-se também o crescimento da área urbana de Goianésia-GO, que passou de 1,61% para 5,13% da área da bacia. A fragilidade potencial apresentou predominância de grau baixo (78,23%). Já a fragilidade emergente evidenciou predomínio do grau médio, passando de 56,59% em 1985 para 62,81% em 2023. Observou-se que a declividade exerceu influência na diferenciação da fragilidade potencial, especialmente nas áreas de maior inclinação, enquanto variáveis como solos e pluviosidade apresentaram menor contribuição. Por outro lado, o uso e cobertura da terra destacaram-se como o principal fator de controle, evidenciando o predomínio da ação antrópica na configuração da fragilidade da bacia. Dessa forma, conclui-se que a expansão das atividades agrícolas e o crescimento urbano são os principais responsáveis pelas alterações na fragilidade ambiental da área.

Palavras Chave: Geoprocessamento, Bacia hidrográfica, Análise Ambiental, Dinâmica espacial

ABSTRACT

The study was conducted in the Ribeirão Forquilha Watershed, located in the Immediate Geographic Region of Ceres–Rialma–Goianésia. Covering an area of approximately 342 km², the watershed encompasses portions of the municipalities of Goianésia and Vila Propício. It is used for the public water supply of the former municipality and also constitutes an area of high agricultural potential. The objective of this study was to analyze the environmental fragility and the dynamics associated with land use and land cover from 1985 to 2023 in the aforementioned watershed. Initially, the watershed was characterized considering variables such as relief, soils, and rainfall, in addition to the temporal analysis of land use and land cover. For this purpose, databases from official institutions were used, including the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), the Technical Assistance and Rural Extension Company (EMATER), and the Geological Survey of Brazil (CPRM), as well as terrain data derived from the 30 m Copernicus Digital Elevation Model (DEM), land use and land cover data from MapBiomas (1985–2023), and rainfall data from the CHIRPS product (2003–2023). Environmental fragility was assessed using adapted methodologies proposed by Jurandyr Luciano Sanches Ross (1994), Silvio Roberto de Oliveira Crepani et al. (2001), and Silva (2023). The integration of variables was performed through map algebra in a Geographic Information System (GIS) environment using the QGIS software. The results revealed significant changes in land use and land cover throughout the analyzed period. In 1985, pasturelands predominated (56.06%), whereas agriculture was scarcely represented (0.24%). By 2023, pasture areas had decreased to 38.70%, while agricultural areas increased substantially to 14.65%, mainly associated with soybean and sugarcane cultivation. Urban expansion in Goianésia was also noteworthy, increasing from 1.61% to 5.13% of the watershed area. Potential environmental fragility was predominantly classified as low (78.23%). In contrast, emergent environmental fragility was predominantly classified as medium, increasing from 56.59% in 1985 to 62.81% in 2023. Slope was found to play a significant role in differentiating potential environmental fragility, particularly in steeper areas, whereas soils and rainfall contributed less to this differentiation. On the other hand, land use and land cover emerged as the main controlling factor, highlighting the predominance of anthropogenic activities in shaping the environmental fragility of the watershed. Therefore, it can be concluded that the expansion of agricultural activities and urban growth are the main factors responsible for changes in the environmental fragility of the study area.

Keywords: Geoprocessing, Watershed, Environmental Analysis, Spatial Dynamics

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela dádiva da vida, por me sustentar em cada passo desta caminhada e por tornar possível a realização de um grande sonho. Foram muitas as dificuldades, pausas e recomeços ao longo dessa trajetória. Mas a fé, a força e as lições aprendidas em cada obstáculo me trouxeram até aqui, tornando esta conquista ainda mais especial.

Agradeço ao meu companheiro Vilmar Júnior, uma das pessoas que mais acreditaram em mim desde o início. Sua paciência, cuidado e apoio incondicional foram fundamentais para que eu não desistisse nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Antonio Jares e Cleide, minha base e maior exemplo de amor e dedicação. Um agradecimento especial ao meu pai, Antônio Jares, que mesmo debaixo de chuva e sol, em visitas de campo, subiu a serra comigo de moto para me ajudar na coleta de dados, um gesto de amor e apoio que jamais esquecerei. À minha irmã gêmea, carinhosamente chamada de Lalá, por todo o apoio e confiança nos meus sonhos, mesmo estando distante.

À minha orientadora, Prof.^a Fabrizia Gioppo Nunes, por toda a paciência, compreensão e principalmente por aceitar continuar ao meu lado mesmo quando tudo parecia o fim.

Um agradecimento especial ao Prof. Ronan Eustáquio e Diego Tarley, ao meu amigo Izaias Silva à minha amiga Silvana Alves, que foram pilares fundamentais nesta trajetória. Obrigada ao Ronan, Diego e Silvana por não permitirem que eu desistisse, por me mostrarem caminhos quando tudo parecia difícil e por me lembrarem constantemente da importância de continuar acreditando no meu potencial. Ao Izaias, minha profunda gratidão pelo apoio e pelas palavras de otimismo nos momentos em que tudo parecia desabar. Sua presença e incentivo foram fundamentais para que eu encontrasse forças e seguisse adiante.

À Tania Maria, meu sincero agradecimento pelas palavras de coragem e pelos conselhos sábios que chegaram no momento certo, me lembrando de que eu já havia chegado tão longe para desistir e que faltava tão pouco para concluir essa etapa. Estas palavras foram o impulso para eu persistir.

Aos professores das disciplinas obrigatórias e optativas que contribuíram de maneira significativa para o meu desenvolvimento acadêmico no Instituto de Estudos Socioambientais – IESA, deixo aqui a minha sincera gratidão.

À cada um de vocês, o meu muito obrigado.

“O rio da minha aldeia não faz pensar em nada.

Quem está ao pé dele está só ao pé dele.”

Fernando Pessoa (Alberto Caeiro)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo.....	29
Figura 2: Roteiro esquemático das etapas desenvolvidas na elaboração dos mapas de hipsometria e declividade	30
Figura 3: Roteiro esquemático das etapas desenvolvidas na aquisição dos dados de pluviosidade	32
Figura 4: Roteiro esquemático para aquisição de dados e geração dos mapas de uso e cobertura da Terra pelo Mabiomas via Google Earth Engine	33
Figura 5: Distribuição dos tipos de rochas na BHRF.....	39
Figura 6: Hipsometria da BHRF	40
Figura 7: Declividade da BHRF	41
Figura 8: Fragilidade ambiental associada à declividade na BHRF	42
Figura 9: Compartimentação do relevo em unidades geomorfológicas da BHRF	43
Figura 10: Pedologia da BHRF	44
Figura 11: Fragilidade ambiental associada aos solos da BHRF.	45
Figura 12: Distribuição da precipitação média anual na BHRF (2003–2023)	47
Figura 13: Rede hidrográfica da BHRF	48
Figura 14: Série temporal do uso e cobertura da terra na BHRF (1985 - 2023).....	49
Figura 15: Uso e cobertura da terra da BHRF no ano de 1985	50
Figura 16: Uso e cobertura da terra da BHRF no ano de 2023	51
Figura 17: Variação espaço-temporal das classes de uso e cobertura da terra na BHRF (1985 - 2023)	53
Figura 18: Atividades agropecuárias na BHRF (1985 e 2023).....	54
Figura 19: Cultivo de cana-de-açúcar na BHRF – município de Goianésia - GO.....	54
Figura 20 : Cultivo de seringueira na BHRF	55
Figura 21: Área de pastagem na BHRF	56
Figura 22: Vegetação natural na BHRF (1985 e 2023)	56
Figura 23: Taxa anual de alteração da vegetação natural para usos antrópicos na BHRF (1985–2023).....	57
Figura 24: Cultivo de milho com remanescente de vegetação florestal na BHRF	58
Figura 25: Evolução das áreas urbanizadas na BHRF (1985 e 2023).....	59
Figura 26: Crescimento da população de Goianésia e Vila Propício (1980 a 2022).....	60
Figura 27: Área central urbana de Goianésia-GO na BHRF.....	60
Figura 28: Uso e cobertura da terra na BHRF (1985) em função dos graus de fragilidade.....	62
Figura 29: Uso e Cobertura da terra na BHRF (2023) em função dos graus de fragilidade	62
Figura 30: Fragilidade potencial na BHRF.....	64
Figura 31: Fragilidade ambiental (emergente) na BHRF1985.....	66
Figura 32: Fragilidade ambiental (emergente) na BHRF 2023.....	66
Figura 33: Deposição irregular de resíduos da construção civil nas proximidades do córrego Laranjeiras, na BHRF.....	68
Figura 34: Linha de transmissão de energia elétrica na BHRF, em área de uso agropecuário	69
Figura 35: Implantação de unidade industrial (Frico) na BHRF: (A) fase inicial de construção; (B) estágio avançado de instalação.....	69
Figura 36: Supressão de vegetação nativa associada à expansão agropecuária na BHRF	70
Figura 37: Área agrícola com sistema de irrigação na BHRF.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação das variáveis nas metodologias de Ross (1994) e Crepani et al. (2001).....	23
Tabela 2: Classes de fragilidade ambiental e cores adotadas.....	34
Tabela 3: Classes de declividade associadas aos graus de fragilidade ambiental	35
Tabela 4: Classes de solos associadas aos graus de fragilidade ambiental	35
Tabela 5: Classes de fragilidade ambiental associadas à pluviosidade	36
Tabela 6: Classificação da fragilidade ambiental com base na (IP).....	37
Tabela 7: Classes de fragilidade ambiental associadas ao uso e cobertura da terra	37
Tabela 8: Caracterização hidrográfica da BHRF	48
Tabela 9: Classes de uso e cobertura da terra na BHRF (1985).....	50
Tabela 10: Classes de uso e cobertura da terra na BHRF (2023).....	51
Tabela 11: População residente nos municípios da BHRF (1980–2022).....	59
Tabela 12: Fragilidade do uso da terra na BHRF (1985 e 2023)	63
Tabela 13: Distribuição das classes de fragilidade ambiental potencial na BHRF	64
Tabela 14: Variação espaço-temporal da fragilidade ambiental (emergente) na BHRF (1985 e 2023)	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP – Área de Preservação Permanente
BHRF – Bacia Hidrográfica do Ribeirão Forquilha
CANG - Colônia Agrícola Nacional de Goiás
CHC – Climate Hazards Center
CHIRPS – Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
COP-30 – Copernicus Digital Elevation Model (30 m)
CPRM – Serviço Geológico Brasileiro
DPC – Duração do Período Chuvoso
EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EROS – Earth Resources Observation and Science Center
ESA – European Space Agency
GEE – Google Earth Engine
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IESA – Instituto de Estudos Socioambientais
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP – Intensidade Pluviométrica
MDE – Modelo Digital de Elevação
PEC-PCD – Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais
PMA – Precipitação Média Anual
PPGEO – Programa de Pós-Graduação em Geografia
QGIS – Quantum Geographic Information System
SBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIC – Secretaria Municipal de Indústria e Comércio
SIG – Sistema de Informação Geográfica
UCSB – University of California, Santa Barbara
UFG – Universidade Federal de Goiás
USGS – United States Geological Survey
UTB – Unidade Territorial Básica
ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
1.1. Bacia Hidrográfica como unidade de análise	17
1.2. Uso e cobertura da terra e dinâmica da paisagem	18
1.3. Fragilidade ambiental.....	19
1.3.1. Proposta de Ross (1994).....	20
1.3.2. Proposta de Crepani et al. (1996)	21
1.3.3. Aplicações das metodologias	22
1.4. Geotecnologias aplicadas à análise ambiental	26
2. METODOLOGIA	28
2.1. Área de estudo	28
2.2. Procedimentos metodológicos e bases de dados	29
2.2.1. Mapeamento das variáveis físico-naturais	29
2.2.2. Mapeamento de uso e cobertura da terra	32
2.2.3. Mapeamento da fragilidade ambiental	33
3. CONDICIONANTES AMBIENTAIS DA BACIA DO RIBEIRÃO FORQUILHA.....	39
3.1. Aspectos geológicos	39
3.2. Aspectos Geomorfológicos.....	39
3.3. Aspectos Pedológicos.....	43
3.4. Aspectos Climáticos	46
3.5. Rede Hidrográfica.....	47
4. ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA AO LONGO DO PERÍODO DE 1985 A 2023.....	49
4.1. Dinâmica espaço-temporal	49
4.2. Fragilidade ambiental associada ao uso e cobertura da terra	61
5. FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO FORQUILHA.....	64
5.1. Fragilidade potencial	64
5.2. Fragilidade ambiental (emergente)	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

INTRODUÇÃO

No atual desenvolvimento da sociedade, a relação entre homem e natureza insere-se em um cenário de antagonismo. O ser humano depende intrinsecamente dos recursos naturais para a sua subsistência, contudo, a gestão desses recursos muitas vezes carece de equilíbrio.

Na tentativa de atender às suas necessidades e fomentar o desenvolvimento econômico regional, a exploração ocorre de forma excessiva, negligenciando os limites da capacidade de uso do meio ambiente. Esse comportamento gera impactos que, aos poucos, comprometem os próprios sistemas naturais dos quais a sociedade depende, configurando uma relação marcada por contradições e pela irracionalidade no uso do espaço (Santos, 2002).

Essa relação entre a sociedade e a apropriação da natureza manifesta-se de forma expressiva no bioma Cerrado, o segundo maior bioma brasileiro em extensão, ocupando cerca de 24% do território nacional, com aproximadamente 204 milhões de hectares. Predomina na região do Planalto Central, caracterizada por áreas planas e de maior altitude na porção central do país. Devido à sua localização, o Cerrado desempenha papel fundamental na distribuição dos recursos hídricos, sendo responsável por abrigar nascentes de importantes bacias hidrográficas do Brasil e da América do Sul (Lima, 2011; Moraes, 2012).

Do ponto de vista ecológico, o Cerrado apresenta elevada diversidade de fitofisionomias, entre formações campestres, savânicas e florestais, as quais revelam a complexidade de suas condições ambientais. Essa heterogeneidade contribui para sua alta biodiversidade, com a presença de espécies endêmicas, o que levou o bioma a ser reconhecido como um *hotspot* mundial de biodiversidade (Klink, 2005).

Apesar de sua relevância, o Cerrado tem sido intensamente transformado, principalmente devido à expansão das atividades agropecuárias, o que resulta na perda de vegetação nativa. Além de sua singularidade ecológica, o bioma possui grande importância social, sustentando diferentes comunidades tradicionais que dependem diretamente de seus recursos naturais e detêm vasto conhecimento sobre sua biodiversidade (Almeida, 2005).

A biodiversidade do Cerrado está diretamente relacionada ao equilíbrio dos ecossistemas, sendo influenciada pelas formas de uso dos recursos naturais. Nesse sentido, a intensificação das atividades antrópicas, especialmente voltadas à produção agropecuária, tem contribuído para a degradação ambiental e a perda de habitats, alterando significativamente a dinâmica natural do bioma (Oliveira, 2008).

No contexto do Cerrado, as transformações na paisagem intensificaram-se a partir de políticas de ocupação territorial promovidas pelo Estado. Dentre elas, podemos citar a Colônia

Agrícola Nacional de Goiás (CANG), implantada na região do Vale do São Patrício. Essa iniciativa teve como objetivo estimular povoamento e o desenvolvimento agrícola da região, promovendo a migração e a expansão das atividades produtivas. Tais ações marcaram o início das alterações no uso e ocupação destas terras, impulsionando a fronteira agrícola e a expansão urbana, o que consolidou uma lógica de fragmentação da paisagem e o aumento da vulnerabilidade ambiental no bioma Cerrado (Estevan, 1998).

É nesse contexto que se insere a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Forquilha (GO), localizada na área de influência do município Goianésia o qual é bastante relevante para o estado de Goiás. Em escala local, as transformações observadas no bioma Cerrado, associadas à intensificação das atividades agropecuárias e à expansão urbana, têm ampliado significativamente a demanda por recursos hídricos, exercendo pressão sobre os sistemas naturais e promovendo alterações na dinâmica hidrológica da bacia.

Nesse viés, a bacia assume papel fundamental como unidade de análise e gestão, uma vez que permite compreender de forma integrada as interações entre os componentes naturais e as ações antrópicas, especialmente no que se refere à disponibilidade e à qualidade da água. Ademais, o Ribeirão Forquilha, conhecido popularmente como Córrego Anda Só, possui grande relevância regional, uma vez que contribui para o abastecimento público de Goianésia-GO.

Desta forma, compreender a capacidade de suporte ambiental da bacia quanto às pressões antrópicas torna-se fundamental, sendo os estudos de fragilidade ambiental essenciais para identificar áreas mais expostas à degradação. Estes estudos permitem integrar variáveis naturais e antrópicas, com uma visão sistêmica das limitações e potencialidades do meio físico, subsidiando a tomada de decisões no planejamento e na gestão territorial, e consequentemente, o uso sustentável dos recursos naturais e do território (Ross, 1994).

Nessa perspectiva, a abordagem sistêmica se torna fundamental para a compreensão da dinâmica ambiental, uma vez que considera a interação entre os diferentes componentes do meio físico e as ações antrópicas, evidenciando que a análise isolada das variáveis não é suficiente para explicar os processos ambientais. Assim, possibilita a identificação de áreas mais suscetíveis a impactos e subsidia o planejamento e a gestão territorial (De Carvalho, 2025).

Para realização desses estudos, tem-se observado, nas últimas décadas, diversas metodologias de análise geoespacial e técnicas de modelagem ambiental desenvolvidas com o objetivo de compreender a vulnerabilidade dos ambientes frente às intervenções humanas, como demonstrado por Gouveia e Ross (2019), que aplicaram técnicas de modelagem ambiental em SIG para análise da fragilidade, e por Fonseca et al. (2024), que utilizaram análise

geoespacial do uso do solo e da qualidade da água na avaliação da vulnerabilidade ambiental. Tais abordagens visam diagnosticar a fragilidade dos sistemas naturais, contribuindo para a interpretação das dinâmicas ambientais.

Os avanços das geotecnologias, aliados ao uso de modelagens ambientais, têm ampliado as possibilidades, permitindo integração de variáveis e representação espacial de fenômenos. Contudo, nem sempre os resultados obtidos refletem de forma precisa as especificidades locais, podendo apresentar limitações quanto à sua aplicação em diferentes contextos. Diante desse cenário, surge a necessidade de novos estudos que visem aperfeiçoar as abordagens metodológicas, buscando resultados mais consistentes e próximos da realidade, de modo a reduzir incertezas e aumentar a confiabilidade das análises ambientais (Lucena, 2020).

Embora os modelos de fragilidade ambiental sejam amplamente utilizados no planejamento territorial, observa-se que sua aplicação, muitas vezes baseada na integração padronizada de variáveis, pode não refletir adequadamente as dinâmicas ambientais locais, sobretudo em áreas com forte pressão antrópica. Além disso, as adaptações metodológicas frequentemente empregadas e as próprias limitações desses modelos podem não acompanhar a velocidade das transformações do uso e cobertura da terra.

Diante desse contexto, busca-se compreender quais os principais fatores que contribuem na configuração da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Forquilha (GO). Dentre elas a dinâmica do uso e cobertura da terra, características geomorfológicas, pedológicas e climáticas.

A partir dessas considerações, objetivou-se, com o presente estudo, analisar a fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Forquilha (GO), utilizando o ano de 1985 como ponto de partida, e finalizando com o ano de 2023. Para isso, propõe-se: realizar a caracterização geoambiental da bacia; analisar a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra no período proposto; mapear a fragilidade ambiental e sua distribuição espacial; e relacionar os resultados obtidos com as mudanças no uso e cobertura da terra.

Esta dissertação está estruturada em capítulos. Iniciando com a introdução, na qual são apresentados o tema, a justificativa e os objetivos da pesquisa. No primeiro capítulo é abordado o referencial teórico, contemplando os principais conceitos relacionados a bacias hidrográficas, à análise integrada da paisagem, ao uso e cobertura da terra, à fragilidade ambiental e ao uso de geotecnologias. O segundo capítulo apresenta os materiais e métodos, incluindo a localização da área de estudo, as bases de dados utilizadas e os procedimentos metodológicos adotados.

O terceiro capítulo corresponde à caracterização da área de estudo, contemplando os

aspectos físico-naturais da bacia hidrográfica. O quarto apresenta a análise da dinâmica de uso e cobertura da terra ao longo do período de 1985 a 2023. Por fim, o quinto capítulo é dedicado à análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica, abrangendo as fragilidades potencial e emergente, bem como sua relação com o uso e cobertura da terra. Por fim, são apresentadas as considerações finais da pesquisa.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

A compreensão dos problemas ambientais exige abordagem integrada entre os elementos naturais e as ações antrópicas, configurando-se como instrumento essencial para a identificação de áreas mais suscetíveis à degradação, subsidiando ações voltadas ao ordenamento territorial e ao desenvolvimento sustentável, além de que é imprescindível pesquisa sobre as fragilidades e potencialidades ambientais integradas da relação homem-natureza (Ross, 2006).

A paisagem vai além da simples adição de elementos geográficos. É resultado de toda uma dinâmica entre agentes bióticos e antrópicos, que os fazem indissociável e em constante evolução. Vale ressaltar que não se trata apenas de paisagem natural, mas sim o compilado das ações humanas no ambiente. Essa dinâmica é compreendida a partir de uma relação dialética, na os elementos da paisagem interagem e se transformam mutuamente, repercutindo nos demais criando um sistema (Brertrand, 1972).

Dessa forma, os tomadores de decisão deveriam se preocupar não só com as potencialidades dos recursos naturais, mas com as fragilidades dos ambientais naturais em meio a tanta pressão antrópica

1.1. Bacia Hidrográfica como unidade de análise

No Brasil, a consolidação da gestão dos recursos hídricos ocorre com a promulgação da Lei nº 9.433/1997, a Política Nacional dos Recursos Hídricos, que introduz uma abordagem integrada e descentralizada, adotando a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão.

Para enfrentar os problemas que envolvem os recursos hídricos, é necessário que haja a utilização de uma abordagem integrada envolvendo a bacia de drenagem e o conceito de ecossistema, abordagens de planejamento de unidades que possuem características biogeofísicas, dotados de sistemas ecológicos e hidrológicos coerentes (Lorandi; Cançado, 2002).

Segundo Pires et al. (2002) a bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes. Este conceito vem sendo usado e expandido ao longo do tempo, e representa uma unidade apropriada para estudo quantitativo e qualitativo de recursos hídricos.

A bacia ao longo do tempo se comporta de duas maneiras, primeiro naturalmente com uma pré-disposição à degradação ambiental e depois por qualquer ação humana, interferindo

direta ou indiretamente. A adoção de bacias hidrográficas como unidade de análise facilita a gestão das águas, a partir de demanda e oferta de recursos (Vilaça et al., 2009).

Portanto, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental decorre justamente de sua capacidade de revelar conexões entre processos naturais e ações humanas, permitindo avaliar impactos que frequentemente extrapolam limites administrativos. Dessa forma, a gestão ambiental baseada em bacias exige integração entre políticas territoriais e gestão hídrica, visando minimizar conflitos e promover o uso sustentável dos recursos naturais (Rodriguez, 2011).

A escolha desta unidade representa uma estratégia cuja perspectiva é ampla e agrega valor à busca pelo Desenvolvimento Sustentável. Apesar das reconhecidas vantagens como unidade de análise e gerenciamento da paisagem para estudos de análise ambiental, deve-se ter cautela na escolha principalmente quando envolve aspectos, fluxos e dinâmicas populacionais, visto que estes podem, por vezes, extrapolar os limites da unidade anteriormente definida (Pires et al., 2002).

1.2. Uso e cobertura da terra e dinâmica da paisagem

A análise do uso e cobertura da terra refere-se à complexa implementação das atividades socioeconômicas no território. Principalmente no caso de atividade agrícolas, essas podem ser sazonais, em safras ou contínuas (Vespucchi, 2020). Com a acelerada ocupação do solo pelo setor agropecuário, ocorre a implantação de infraestrutura, para facilitar o escoamento da produção. Porém, essas atividades humanas, muitas vezes sem qualquer planejamento, provocam diversos impactos nas paisagens, com a retirada da cobertura vegetal e consequente exaustão do solo (Santos, 2018).

Sob a perspectiva do planejamento ambiental, a análise do uso e cobertura da terra deve considerar a relação entre as intervenções humanas e a dinâmica dos sistemas naturais, uma vez que a ocupação do território reflete tanto o potencial quanto as limitações ambientais. As atividades antrópicas, ao se apropriarem dos recursos naturais, promovem modificações na paisagem em um ritmo mais acelerado que os processos naturais, alterando os fluxos de energia e matéria e impactando o funcionamento dos ambientes (Ross, 2006).

Nesse contexto, a compreensão integrada entre sociedade e natureza torna-se essencial, pois os diferentes componentes ambientais estão interligados por trocas contínuas que sustentam os sistemas naturais. Assim, o estudo do uso e cobertura da terra permite identificar

essas transformações e seus efeitos sobre os ecossistemas, contribuindo para o ordenamento territorial e para a proposição de estratégias voltadas à conservação e ao uso sustentável dos recursos naturais (Ross, 2006).

Assim sendo, o uso e cobertura da terra vai se diversificando cada vez mais, com a expansão das atividades agropecuárias. Segundo Araújo (2020), dentre as atividades que mais provocam impactos ambientais está a agropecuária, atividade muito importante na produção de alimentos, porém sem planejamento e uso racional dos recursos naturais tendem a degradar os ecossistemas.

Ainda, segundo Araújo (2020), ações como desmatamento, queimadas, retiradas para plantio, acabam expondo o solo a fatores climáticos que intensificam a degradação. Em logo prazo, podem gerar empobrecimento do solo, assoreamento dos cursos hídricos, perda da biodiversidade, entre outros.

Silva (2020), em trabalho que analisou a Dinâmica do Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio dos Patos - GO, esta que é constituída pela Bacia Hidrográfica do Ribeirão Forquilha, cita que as atividades antrópicas sem planejamento e cautela podem ocasionar diversos impactos ambientais como rebaixamento do lençol freático, poluição dos mananciais, contaminação do solo, entre outros. O referido autor cita ainda que houve crescimento das áreas de solo exposto na Bacia do Rio dos Patos no período de 1985 a 2018, proveniente do preparo de solo, colheita ou áreas de degradação ambiental.

Silveira (2019) em seu trabalho de análise da qualidade da água desse Ribeirão apresentou os impactos ambientais provocados pela expansão das atividades agropecuárias na região, como o pisoteio do gado e a remoção da mata ciliar, de vários de seus afluentes.

Além disso a expansão da cana-de-açúcar no Vale do São Patrício tem promovido mudanças significativas na paisagem, com substituição de culturas e intensificação do uso da terra, refletindo processos mais amplos de reorganização do espaço rural na região (Ávila, 2009).

1.3. Fragilidade ambiental

O mapa de fragilidade ambiental é uma ferramenta importante para o planejamento territorial, sendo bastante utilizado por órgãos públicos na tomada de decisão. Esse tipo de mapeamento permite analisar o ambiente de forma integrada, considerando tanto suas potencialidades quanto suas limitações, a partir das características naturais de cada área

(Kawakubo et al., (2005).

Ainda segundo Kawakubo et al. (2005), a metodologia de fragilidade ambiental proposta por Ross (1994) parte da ideia de que os elementos da natureza estão interligados e funcionam de forma conjunta. Para sua aplicação, são considerados fatores como relevo, solos, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal. Essas informações são analisadas de forma integrada, resultando em um mapa que representa os diferentes graus de fragilidade do ambiente, de acordo com suas características naturais. Posto isto, e de acordo com o referido autor, o princípio da funcionalidade intrínseca baseia-se no conceito de Unidade Ecodinâmica preconizada por Tricart (1977).

Padilha (2008), Vespuci (2020), Pereira (2021), Pacheco (2022), Silva (2023), e Oliveira (2020) compreendem a fragilidade ambiental como o resultado da integração entre a fragilidade potencial e a fragilidade emergente. A fragilidade potencial refere-se às características naturais do ambiente, como relevo, solos e clima, enquanto a fragilidade emergente está associada à ação antrópica e às formas de uso e ocupação da terra. Spörl e Ross (2004).

1.3.1. Proposta de Ross (1994)

A abordagem de análise da fragilidade ambiental proposta por Jurandyr Ross (1994) fundamenta-se na integração dos elementos do meio físico com o uso e ocupação da terra, considerando variáveis como relevo, solos e cobertura vegetal. A análise pode ser realizada com base nos índices de dissecação do relevo ou nas classes de declividade, mantendo a lógica de integração dos elementos da paisagem.

No modelo de Ross (1994) com base na dissecação do relevo, a fragilidade ambiental é analisada a partir da combinação de variáveis como relevo, solos, uso da terra e pluviosidade, organizadas em níveis de 1 a 5. Esses valores formam um código numérico em que o relevo, representado pelo primeiro dígito, define o grau de fragilidade da área, enquanto as demais variáveis atuam como complemento (Spörl; Ross, 2004). De forma simples, quanto mais dissecado for o relevo, maior tende a ser a fragilidade. Já áreas com relevo mais suave tendem a apresentar menor fragilidade, mesmo que outros fatores não sejam tão favoráveis.

Já no modelo com apoio nas classes de declividade, proposto por Ross (1994), a fragilidade ambiental é analisada principalmente pela inclinação do terreno, ou seja, pela declividade, quanto mais inclinado for o terreno, maior tende a ser a fragilidade, pois essas áreas

são mais suscetíveis à erosão e à perda de solo.

Ainda segundo Spörl e Ross, (2004), a declividade é dividida em cinco classes, que vão de áreas planas (menor que 6%) até áreas muito inclinadas (maior que 30%), variando de muito baixa a muito alta fragilidade. Além da declividade, também são consideradas as variáveis solos, uso e cobertura da terra e pluviosidade, todas classificadas de 1 a 5. Esses valores são organizados em um código numérico com quatro dígitos.

Nesse código, o primeiro número corresponde à declividade e é o fator que define o grau de fragilidade da área, enquanto as demais variáveis atuam de forma complementar, ajustando a interpretação das condições ambientais. Outra característica importante dessa abordagem é a maior fragmentação dos resultados, uma vez que pequenas variações na inclinação do terreno podem gerar mudanças de classe em curtas distâncias, tornando o mapa mais detalhado e dividido (Spörl; Ross, 2004). Em comparação, o modelo baseado na dissecação do relevo apresenta uma leitura mais integrada, com áreas mais contínuas, por considerar o relevo como um conjunto.

1.3.2. Proposta de Crepani et al. (1996)

A metodologia de Crepani et al. (1996) foi desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE com o objetivo de apoiar o Zoneamento Ecológico-Econômico - ZEE, principalmente na região Amazônica. A proposta parte da ideia de integrar diferentes informações do meio físico, como geologia, relevo, solos, vegetação e clima, para avaliar a vulnerabilidade natural à erosão. Para isso, são definidas as Unidades Territoriais Básicas - UTBs, que representam áreas mais homogêneas, onde essas variáveis são analisadas em conjunto. O resultado final é obtido por meio da média entre essas variáveis, gerando um índice de vulnerabilidade para cada unidade.

Neste modelo a (vulnerabilidade) ambiental é calculada por meio da média aritmética das variáveis analisadas, conforme a seguinte expressão:

$$V = \frac{G + R + S + V + C}{5}$$

onde, G representa a geologia, R o relevo, S os solos, V a vegetação/uso da terra e C o clima. Cada variável recebe valores, geralmente entre 1 e 3, sendo 1 para condições mais estáveis e 3 para mais vulneráveis. Por exemplo, uma área com valores 3 (geologia), 3 (solo), 1 (relevo), 1

(vegetação) e 1 (clima) terá como resultado:

$$V = \frac{3 + 3 + 1 + 1 + 1}{5} = 1,8$$

Nesse caso, mesmo havendo variáveis muito frágeis, o resultado é intermediário, pois a média faz com que os valores mais baixos compensem os mais altos. Os valores obtidos a partir da média das variáveis são organizados em classes de vulnerabilidade, que variam de muito baixa a muito forte. De forma geral, valores mais próximos de 1 indicam maior estabilidade ambiental, enquanto valores próximos de 3 indicam maior vulnerabilidade. Assim, os resultados podem ser classificados em intervalos, sendo: muito baixa (1,0 a 1,4), baixa (1,4 a 1,8), média (1,8 a 2,2), forte (2,2 a 2,6) e muito forte (2,6 a 3,0), conforme proposto por Crepani et al. (1996).

1.3.3. Aplicações das metodologias

É importante considerar que diferentes formas de analisar a fragilidade ambiental podem gerar resultados diferentes para uma mesma área, e nem sempre esses resultados representam exatamente a realidade. No modelo de Ross (1994), como o relevo tem maior valor, áreas mais dissecadas podem aparecer como muito frágeis, mesmo quando outros fatores indicam maior estabilidade. Por outro lado, áreas planas podem ser classificadas como pouco frágeis, mesmo apresentando solos mais suscetíveis à degradação ou uso inadequado da terra. Já no modelo de Crepani et al. (1996), como é feita uma média entre as variáveis, os resultados tendem a ficar mais equilibrados, o que pode acabar diminuindo a importância de áreas mais críticas. Spörl; Ross (2004)

Assim, as diferenças entre os modelos estão relacionadas tanto às variáveis utilizadas quanto à forma como elas são combinadas. Como destacam Spörl e Ross (2004), não existe um modelo único que represente totalmente a realidade, sendo importante entender as limitações de cada método e, sempre que possível, comparar os resultados com o que é observado em campo. A Tabela 1 apresenta uma síntese comparativa das variáveis consideradas nas metodologias de análise da fragilidade ambiental propostas por Jurandyr Ross (1994) e por Crepani et al. (2001), destacando as diferenças quanto à seleção e à forma de representação dos elementos do meio físico e antrópico.

Tabela 1: Comparação das variáveis nas metodologias de Ross (1994) e Crepani et al. (2001)

Variáveis	Ross (1994) – Índices de Dissecação do Relevo	Ross (1994) – Classes de Declividade	Crepani et al. (2001)
Índices de dissecação	X	—	X
Declividade	—	X	—
Solos	X	X	X
Cobertura vegetal	X	X	X
Geologia / Rochas	—	—	X
Clima	X	X	X

Fonte: Elaborado pela autora, com base em Ross (1994) e Crepani et al. (2001).

Embora as propostas de Ross (1994) e de Crepani et al. (2001) partam de fundamentos semelhantes, suas formas de operacionalização apresentam diferenças que podem influenciar os resultados obtidos.

A forma como a fragilidade ambiental é operacionalizada pode alterar os resultados, mesmo quando os estudos partem da mesma base teórica. Spörl (2001), ao comparar diferentes modelos, mostrou que o uso de variáveis distintas e formas diferentes de integração gera mapas variados para uma mesma área. No caso dos modelos baseados na dissecação do relevo, há maior destaque para áreas com dinâmica geomorfológica mais intensa, enquanto aqueles baseados na declividade tendem a simplificar essa leitura. Já as abordagens por unidades integradas, como as Unidades Territoriais Básicas, consideram o conjunto dos elementos naturais. Assim, uma mesma área pode apresentar diferentes graus de fragilidade conforme o método adotado, o que mostra que os resultados estão diretamente ligados às escolhas metodológicas, à escala e às variáveis utilizadas. Spörl (2001).

Como exemplo, uma área com baixa declividade pode ser classificada como de baixa fragilidade em modelos baseados apenas na inclinação do terreno. No entanto, ao considerar a dissecação do relevo ou a integração de variáveis como solo e cobertura vegetal, essa mesma área pode apresentar maior fragilidade, evidenciando como a escolha metodológica interfere na interpretação dos resultados (Jurandyr Ross, 1994; Crepani et al., 2001).

Nesse sentido, não se trata de definir um modelo como certo ou errado, mas de compreender que cada abordagem oferece uma leitura específica da realidade, condicionada às variáveis utilizadas, à escala de análise e aos objetivos do estudo.

São inúmeras aplicações destas metodologias disponíveis atualmente. Dentre elas podemos destacar Silva (2023), em seu trabalho na bacia hidrográfica do Ribeirão Jatobá (MS), aplicou a metodologia de fragilidade ambiental proposta por Ross (1994), distinguindo a

fragilidade potencial da emergente. A análise foi baseada na integração de variáveis como declividade, solos, pluviosidade e uso e cobertura da terra, incorporando ainda as Áreas de Preservação Permanente (APPs), com adaptação de critérios propostos por Crepani et al. (2001). Essa abordagem permitiu a identificação de áreas prioritárias à conservação, sendo os resultados coerentes com a ocorrência de processos erosivos e conflitos de uso nas áreas de maior fragilidade.

Vespucci (2020), ao analisar a bacia hidrográfica do rio das Almas (GO), aplicou a metodologia de fragilidade ambiental proposta por Ross (1994), integrando variáveis como dissecação do relevo, textura dos solos e uso e ocupação da terra. Diferentemente de outros estudos, incorporou parâmetros mais detalhados do relevo e das propriedades dos solos, além de considerar a dinâmica temporal da fragilidade. Os resultados evidenciaram que as alterações nos graus de fragilidade estão diretamente relacionadas às mudanças no uso da terra, demonstrando a coerência da metodologia.

Furtado (2023), ao analisar a alta bacia hidrográfica do rio Meia Ponte (GO), aplicou a metodologia de fragilidade ambiental proposta por Ross (1994), distinguindo a fragilidade potencial da emergente a partir da integração de variáveis como pluviosidade, solos, declividade, uso e cobertura da terra e, como diferencial, a geologia. A abordagem também incorporou a análise dos conflitos pelo uso da água, evidenciando a relação entre o uso antrópico, o comprometimento hídrico.

Pereira (2021) analisou a fragilidade ambiental na bacia do rio Bonito (GO) a partir da integração de variáveis como geologia, solos, relevo, precipitação e uso e cobertura da terra. Como diferencial metodológico, incorporou a erosividade das chuvas na avaliação, tornando a análise mais sensível aos processos de degradação. Os resultados apontaram predominância de áreas com alta fragilidade, associadas à atuação da agropecuária e à necessidade de práticas conservacionistas.

Herculano (2021) avaliou a fragilidade ambiental na bacia do rio Uru (GO) a partir da relação com as Unidades de Paisagem, integrando variáveis como solos, declividade e uso e cobertura da terra. O estudo se diferencia por organizar a análise da fragilidade a partir das unidades de paisagem, permitindo uma leitura mais integrada das condições ambientais. Os resultados indicaram predominância de classes de baixa a média fragilidade, associadas às características do relevo e dos solos da bacia.

Lucena (2020) analisou a fragilidade ambiental na bacia do ribeirão Anicuns (GO) em contexto urbano, comparando um modelo baseado nas classes de declividade com outro

fundamentado em Crepani et al. (2001), que utiliza Unidades Territoriais Básicas e integra variáveis como geologia, relevo, solos, cobertura vegetal e pluviosidade. A diferença está na forma de construção dos índices: o primeiro mais simplificado e voltado ao urbano, e o segundo mais integrado. Ainda assim, os resultados apresentaram forte correlação entre os padrões de fragilidade.

A aplicação da fragilidade ambiental vai além do uso de técnicas, exigindo a compreensão dos processos envolvidos. Não se trata apenas de como a análise é realizada, mas do porquê das escolhas metodológicas, em função da dinâmica dos sistemas naturais (Padilha, 2008).

Nesse sentido, Pereira Neto (2013) analisou a fragilidade ambiental na bacia do rio Seridó (RN/PB) com base na abordagem ecodinâmica de Tricart (1977) e na proposta de Ross (1994), com destaque para o uso do índice de dissecação do relevo como elemento central na definição das unidades ecodinâmicas. A análise relaciona diretamente as áreas mais dissecadas com maior instabilidade ambiental, especialmente em contexto semiárido.

Outro ponto observado nos estudos refere-se às fontes de dados utilizadas para compor as variáveis da análise. Nem sempre há um padrão único, sendo comum o uso de diferentes bases para uma mesma variável, como uso e cobertura da terra, que pode ser obtido por produtos como o MapBiomas ou por classificações próprias a partir de imagens de satélite. Essa variação também ocorre para dados de relevo, solos e clima, refletindo diferenças de escala, disponibilidade e objetivo de cada pesquisa.

Seguindo esta lógica, Moreira (2013), ao analisar a fragilidade ambiental em Cambará do Sul (RS), não utilizou um produto único para representar o uso e cobertura da terra, trabalhando a partir de imagens de satélite e interpretação própria. Além disso, o relevo foi detalhado por meio de mapeamentos específicos, como cartas clinográficas, hipsométricas e geomorfológicas, enquanto os dados climáticos foram obtidos a partir de séries históricas. Essa abordagem evidencia que a construção das variáveis depende diretamente da disponibilidade e do nível de detalhamento desejado na análise.

Os estudos analisados demonstram que, embora partam de bases teóricas semelhantes, as diferentes escolhas de variáveis e formas de integração influenciam diretamente os resultados obtidos.

1.4. Geotecnologias aplicadas à análise ambiental

As geotecnologias englobam um conjunto de técnicas voltadas à coleta, processamento e análise de informações espaciais, destacando-se, entre elas, o sensoriamento remoto e o geoprocessamento. O sensoriamento remoto refere-se à obtenção de informações sobre a superfície terrestre sem contato direto, por meio de sensores instalados em satélites ou aeronaves (Steffen, 2006).

Em um país de extensão territorial ampla como o Brasil, onde ainda há escassez de informações confiáveis para subsidiar a tomada de decisões em questões urbanas, rurais e ambientais, o Geoprocessamento se destaca como uma ferramenta de grande relevância, que por sua vez, é operacionalizado por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que possibilitam a integração, análise e representação desses dados em ambiente computacional (INPE, 2006).

Estas tecnologias vêm ampliando as possibilidades de análise ambiental, especialmente pela integração de dados espaciais e pelo monitoramento contínuo das mudanças na superfície terrestre ao longo do tempo. Além disso, a utilização de plataformas de processamento em nuvem favorece o manejo eficiente de grandes volumes de dados, tornando as análises mais rápidas e eficazes (INPE, 2006).

Neste cenário, destaca-se o uso do QGIS, *software* livre e de código aberto amplamente utilizado na análise de dados espaciais, permitindo integrar diferentes bases, realizar análises e produzir mapas. Neste leque de oportunidades surgem produtos como os Modelos Digitais de Elevação (MDE) representam uma importante base para a análise do relevo, permitindo a obtenção de variáveis morfométricas como declividade, orientação de vertentes e curvaturas. Essas variáveis são amplamente utilizadas na compreensão dos processos geomorfológicos e na análise ambiental, contribuindo para estudos relacionados ao solo, drenagem e dinâmica da paisagem. A utilização de dados derivados de sensores remotos tem ampliado a disponibilidade dessas informações, embora seu uso exija atenção quanto à qualidade e às limitações dos dados (Valeriano, 2005).

Outro produto fundamental na maioria dos trabalhos da área ambiental é o Projeto MapBiomas, uma iniciativa colaborativa que reúne instituições de pesquisa, organizações e empresas de tecnologia com o objetivo de mapear o uso e cobertura da terra. A partir da utilização de imagens de satélite, técnicas de classificação automatizada e processamento em nuvem, por meio da plataforma *Google Earth Engine -GEE*, o projeto disponibiliza séries

históricas anuais para análise da dinâmica da paisagem ao longo das últimas décadas (MapBiomias, 2024).

A disponibilidade pública e a transparência dos métodos facilitam o uso dessas tecnologias em diferentes estudos, além de permitir comparações ao longo do tempo no uso da terra e apoiar o planejamento ambiental. Ressalta-se que, embora os dados do MapBiomias apresentem boa acurácia, é importante considerar possíveis incertezas na classificação, principalmente em classes que podem gerar dúvidas na identificação (Neves et al., 2020).

Além das variáveis relacionadas ao relevo e à dinâmica de uso e cobertura da terra, as geotecnologias também abrangem bases de dados voltadas à análise climática. Nesse contexto, destaca-se o CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data), desenvolvido pelo Climate Hazards Group da University of California, Santa Barbara, que integra informações de satélite com dados de estações meteorológicas, gerando séries históricas de precipitação com boa resolução espacial e temporal (Tórnió *et al.*, 2024)). Essa base tem sido amplamente utilizada no monitoramento climático e em estudos ambientais.

O acesso e a análise desses dados são facilitados por plataformas como o Climate Engine, que permitem a visualização e extração de séries temporais de variáveis climáticas. De forma complementar, plataformas como o Google Earth Engine (GEE) integram diferentes bases de dados em ambiente de processamento em nuvem, possibilitando maior agilidade na obtenção e análise das informações, como evidenciado em estudos que utilizam essas ferramentas para o processamento e validação de dados climáticos (Oliveira Júnior et al., 2023).

Nesse contexto, observa-se uma integração crescente entre dados, ferramentas e plataformas, permitindo que diferentes informações sejam acessadas e analisadas de forma conjunta. Isso amplia as possibilidades de análise ambiental, especialmente em estudos integrados e ao longo do tempo.

Nota-se um rol de possibilidades proporcionadas pelas geotecnologias. No entanto, seu uso não deve ocorrer de forma meramente operacional. Por mais que colaboram com diversas análises, sua aplicação exige cautela, considerando as limitações dos dados, dos métodos e das escalas envolvidas. Compreender os fundamentos dos procedimentos adotados, evitando interpretações simplificadas garante maior coerência aos resultados.

2. METODOLOGIA

A abordagem teórico-metodológica adotada nesta pesquisa fundamenta-se na análise integrada do ambiente, com base na análise da fragilidade ambiental empírica, conforme Jurandyr Luciano Sanches Ross (1994). Parte-se do princípio de que os elementos físicos e antrópicos se relacionam de forma dinâmica e interdependente.

Nesse sentido, a pesquisa também se aproxima da perspectiva geossistêmica, conforme Bertrand (1968), ao considerar o ambiente como resultado da interação entre elementos físicos, biológicos e antrópicos, o que permite uma análise conjunta do funcionamento da área de estudo.

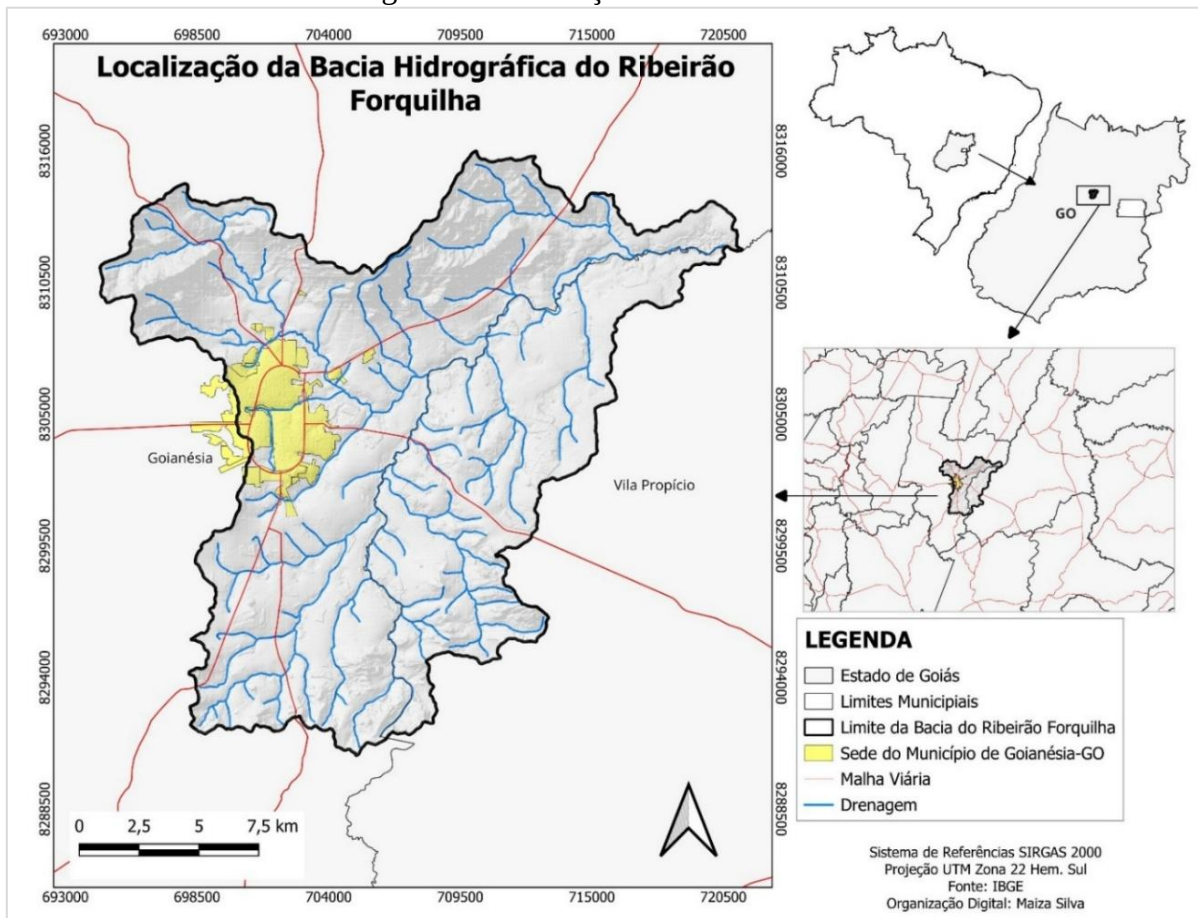
2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Forquilha, com aproximadamente 342 km² de extensão territorial, situada na região centro-norte do estado de Goiás, entre os municípios de Goianésia (GO) e Vila Propício (GO). Aproximadamente 68% da área da bacia está situada no município de Goianésia. O curso d'água principal recebe o nome de Forquilha, tendo o Córrego Laranjeiras como principal afluente. Esta bacia desempenha papel fundamental na drenagem local e no abastecimento hídrico das atividades agropecuárias e urbanas desenvolvidas na região. A Figura 1 apresenta a área de estudo.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), o município de Goianésia (GO) possui uma população de 73.707 habitantes, conforme o Censo 2022. Já o município de Vila Propício (GO) apresenta uma população de 5.815 habitantes, segundo a mesma base censitária.

A base econômica da área de estudo é alicerçada no setor agroindustrial, com destaque para a monocultura da cana-de-açúcar, que consolidou a região de Goianésia como um importante polo sucroenergético no estado de Goiás. Essa atividade, somada à pecuária extensiva e às lavouras de grãos em Vila Propício, impulsiona a economia local, mas também intensifica a pressão sobre os recursos hídricos da Bacia do Ribeirão Forquilha devido à demanda por irrigação e ao uso intensivo do solo. (Silva; Santos, 2021).

Figura 1: Localização da área de estudo



Fonte: IBGE (2024) e ESA – Estação Espacial Europeia; Elaboração: autora (2025).

2.2. Procedimentos metodológicos e bases de dados

Os procedimentos metodológicos empregados, bem como a bases de dados utilizadas nesta dissertação, são apresentados a seguir. O texto abrange as etapas de levantamento, seleção e análise referentes à área de estudo, os quais fundamentam o desenvolvimento da pesquisa.

2.2.1. Mapeamento das variáveis físico-naturais

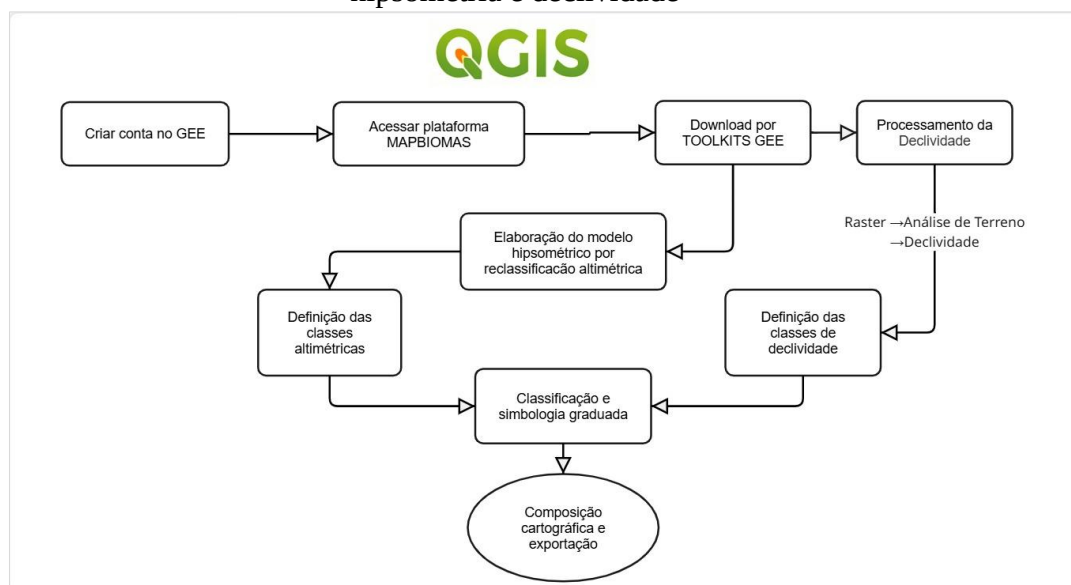
Para a extração das variáveis geomorfológicas da área de estudos, foram adquiridas imagens de radar (InSAR) do MDE Copernicus (*Global and European Digital Elevation Model*), com resolução de 30 m (COP-30), fornecidas pela Agência Espacial Europeia - ESA, por meio do complemento *OpenTopography* no software QGIS. De acordo com Cremon et al. (2022), o MDE COP-30 apresenta, para o estado de Goiás e o Distrito Federal, uma “raiz de erro quadrático médio de 1,98 m, indicando maior acurácia em relação a outros MDEs globais

gratuitos” testados pelos autores.

Além disso, conforme Cremon et al. (2022), o produto atende ao Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) em escalas detalhadas, como 1:25.000 (classe B) e 1:50.000 (classe A). Considerando que tais escalas exigem maior precisão, infere-se que o produto também é adequado para análises em escala regional, como a adotada neste estudo.

Dados vetoriais referentes às unidades geomorfológicas, foram obtidos juntos ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014) e à Secretaria de Indústria e Comércio de Goiás - SIC, também foram utilizados dados vetoriais dos tipos de solos (EMATER, 2017), na escala de 1:250.000, do ano de 2017. Do MDE Copernicus, foram gerados os mapas de hipsometria e de declividade da bacia. As etapas de elaboração dos dados de hipsometria e declividade estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2: Roteiro esquemático das etapas desenvolvidas na elaboração dos mapas de hipsometria e declividade



Fonte: Elaborado por autora (2025).

A declividade obtida a partir do MDE foi gerada em porcentagem (%), sendo reclassificada em intervalos definidos como: 0 a 6%, 6 a 12%, 12 a 20%, 20 a 30% e acima de 30%. Essa reclassificação teve como objetivo organizar os dados em classes que representam diferentes condições do relevo, facilitando a interpretação e a padronização da variável para etapas posteriores da análise. O processo foi realizado em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), por meio da ferramenta de reclassificação de dados raster. Paralelamente, a

hipsometria foi utilizada para representar a variação das altitudes na bacia, permitindo uma visão geral da distribuição do relevo. As classes hipsométricas foram definidas com base na amplitude altimétrica da área de estudo, buscando evidenciar as discrepâncias entre as porções mais elevadas e as de menor altitude.

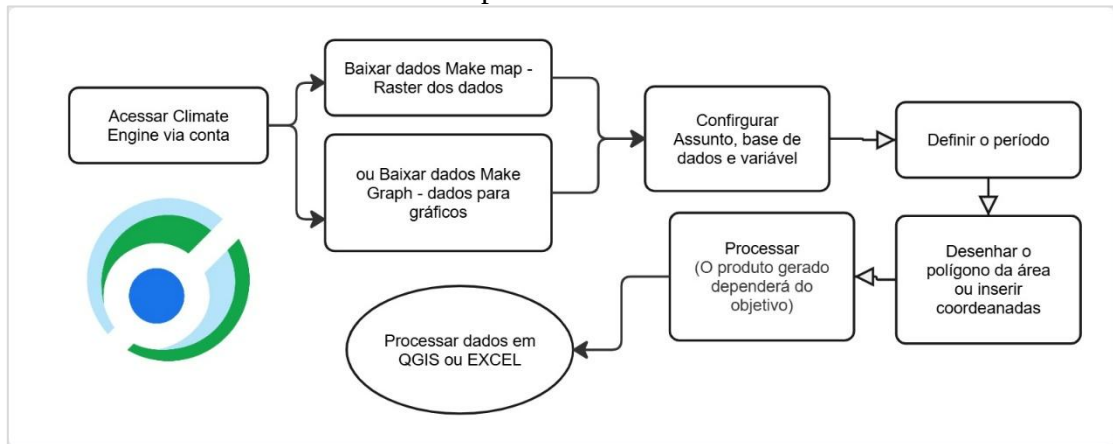
Os dados pluviométricos utilizados neste estudo foram obtidos a partir do produto *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS), que consiste em uma base de dados de precipitação em escala quase global. O produto é desenvolvido pelo *Climate Hazards Center* (CHC), vinculado à *University of California, Santa Barbara* (UCSB), em parceria com o *United States Geological Survey* (USGS), por meio do *Earth Resources Observation and Science Center* (EROS).

Os dados são gerados a partir da integração entre estimativas de precipitação, os quais foram obtidos por meio do produto CHIRPS, que apresenta resolução espacial aproximada de 5 km. Para a extração das informações foi utilizada a ferramenta online da plataforma *Climate Engine*, que possibilita a visualização e a análise de variáveis climáticas a partir de diferentes bases de dados. Nessa plataforma, delimitou-se a área de estudo por meio de um polígono representativo da bacia hidrográfica, a partir do qual foram extraídos os dados de precipitação diária. Para esta pesquisa, utilizou-se o período de 01 de janeiro de 2003 a 31 de dezembro de 2023, totalizando 20 anos. Os valores obtidos correspondem à média espacial da precipitação para a área delimitada, expressos em milímetros por dia (mm/dia).

Posteriormente, os dados diários foram organizados e agregados em totais anuais, permitindo o cálculo da precipitação média anual da bacia hidrográfica, a qual subsidiou a análise da pluviosidade no contexto da fragilidade ambiental. Devido à limitação de séries históricas contínuas e à baixa densidade de estações pluviométricas na área, optou-se pelo uso de dados estimados por satélite, que permitem a melhor representação espacial do fenômeno.

Para a elaboração do mapa de precipitação, a partir do acumulado da série histórica (2003–2023) calculou-se a média anual. Nesse processo, os valores do raster foram divididos pelo número de anos do período analisado (21 anos), utilizando a ferramenta Calculadora Raster no QGIS. As etapas de aquisição dos dados de precipitação são apresentadas na Figura 3.

Figura 3: Roteiro esquemático das etapas desenvolvidas na aquisição dos dados de pluviosidade



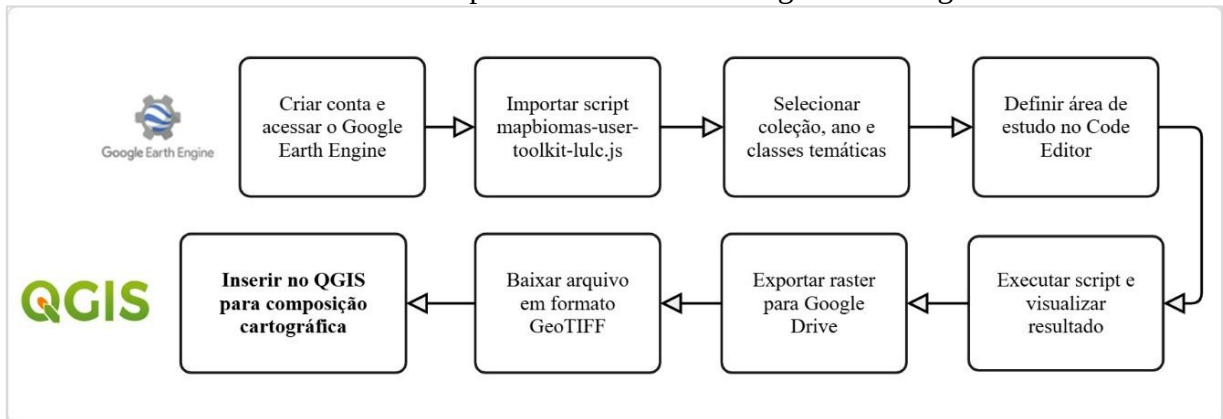
Fonte: Elaborado pela autora (2026).

2.2.2. Mapeamento de uso e cobertura da terra

Para a organização e elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra, foram acessados e coletados dados de informações matriciais (arquivos tif) e alfanuméricos do Projeto Mapbiomas (2023), mapeados em escala de 1:100.000. O referido projeto, existente a partir de uma rede corporativa formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia. Tem como objetivo contribuir para o entendimento da dinâmica do uso do solo nos biomas brasileiros (MapBiomas, 2024). A coleção utilizada foi a 9, da série anual de uso e cobertura da terra no Brasil.

Os dados obtidos foram processados no QGIS - *Desktop 3.34.3 Prizren*, juntamente com os arquivos em formato matricial dos anos de interesse deste trabalho (1985, 1995, 2005, 2015 e 2023). Este foram obtidos na própria plataforma do Mapbiomas e a partir do *Google Earth Engine (GEE)* conforme roteiro esquemático apresentado na Figura 4.

Figura 4: Roteiro esquemático para aquisição de dados e geração dos mapas de uso e cobertura da Terra pelo Mabiomas via Google Earth Engine



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os arquivos de extensão (tif) foram categorizados e organizados segundo as divisões e subdivisões das classes de tipologias de uso e coberturas da terra. Assim, as cores e nomenclatura das classes destes mapas seguiram o Manual de Classes e Paleta de Cores do MapBiomas com adaptações para otimizar a visualização.

2.2.3. Mapeamento da fragilidade ambiental

A análise da fragilidade ambiental, foi realizada com base em Ross (1994), que considera a relação entre os elementos naturais e o uso da terra para determinar a fragilidade potencial e a fragilidade ambiental (emergente). A integração das variáveis foi realizada em ambiente SIG por meio de média aritmética, conforme Silva (2023), com adaptações para o presente estudo. Tais adaptações incorporam procedimentos utilizados em estudos de vulnerabilidade ambiental, como os de Crepani et al. (2001), especialmente no que se refere à combinação das variáveis. O resultado foi classificado em graus de fragilidade, conforme a escala de cores apresentada na Tabela 2, permitindo sua representação espacial.

Tabela 2: Classes de fragilidade ambiental e cores adotadas

Valor	Graus de Fragilidade	Cores adotadas
1	Muito Baixa	
2	Baixa	
3	Média	
4	Alta	
5	Muito Alta	

Fonte: Elaborado pela autora, com base em Ross (1994).

As variáveis utilizadas para o mapeamento da fragilidade foram: declividade, pedologia, pluviosidade e uso e cobertura da terra. A utilização da declividade como variável, em substituição ao índice de dissecação do relevo, é justificada pelo fato de área ser relativamente plana, bem como por sua obtenção direta a partir de Modelos Digitais de Elevação, o que favorece sua aplicação em análises espaciais.

No presente estudo, foi utilizado o Copernicus DEM (30 m), cuja resolução espacial é compatível com a escala da análise, permitindo a representação das variações do relevo de forma contínua e consistente. Embora Ross (1994) proponha o uso de índices de dissecação do relevo para análises em escalas médias, como a do presente estudo, a declividade tem sido amplamente utilizada em estudos de fragilidade ambiental, especialmente em bacias hidrográficas situadas em relevos menos dissecados. Ressalta-se que a declividade também possui relação direta com os processos erosivos. E tem sido empregada em diferentes contextos, a exemplo da bacia do rio Jatobá (Silva, 2023), do ribeirão Taquaruçu Grande, em Palmas-TO (Pereira, 2019), e da bacia do rio Uru (Herculano, 2021).

As classes foram adaptadas a partir da proposta de Ross (1994), atribuindo-se valores crescentes de acordo com o aumento da inclinação do relevo. Assim, áreas com declividade entre 0% e 6% foram classificadas como de fragilidade muito baixa (valor 1), intervalos de 6% a 12% como fragilidade baixa (valor 2), e entre 12% e 20%, foram consideradas de fragilidade média (valor 3). As áreas com inclinações entre 20% e 30% foram classificadas como de alta fragilidade (valor 4) e, por fim, as áreas com declividade superior a 30% foram enquadradas como de fragilidade muito alta (valor 5), por apresentarem maior sujeição à processos erosivos. A Tabela 3 apresenta a síntese dos valores considerados para esta variável.

Tabela 3: Classes de declividade associadas aos graus de fragilidade ambiental

Valor	Grau de Fragilidade	Classes de Declividade (%)
1	Muito baixa	0 – 6
2	Baixa	6 – 12
3	Média	12 – 20
4	Alta	20 – 30
5	Muito alta	> 30

Fonte: Elaborado pela autora, com base em Ross (1994).

Quanto a variável solos, ressalta-se que a presença de áreas urbanizadas no interior da bacia demandou uma adaptação na classificação, uma vez que os dados pedológicos utilizados não definiram classes de solo para esses polígonos. A essas áreas foi atribuída o valor correspondente ao tipo de solo predominante em seu entorno (Latossolo Vermelho), considerando que a urbanização recobre, mas não elimina as características pedológicas originais. Essa abordagem permite manter a coerência espacial da variável, sendo os efeitos antrópicos considerados na variável uso e cobertura da terra e, conseqüentemente, na geração do produto final: fragilidade ambiental (emergente). A Tabela 4 apresenta a síntese dos valores considerados para esta variável.

Tabela 4: Classes de solos associadas aos graus de fragilidade ambiental

Valor	Grau de Fragilidade	Tipos de Solos
1	Muito baixa	Latossolo Vermelho
2	Baixa	-
3	Média	Nitossolo Vermelho/ Argissolo Vermelho
4	Alta	Cambissolo Háplico
5	Muito alta	-

Fonte: Elaborado pela autora adaptado de Ross 1994 e Souza 2021 com base na atualização de nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS. (-) Classes não encontradas na área de estudo.

Inicialmente, a classificação da fragilidade para a pluviosidade foi realizada com base nos critérios propostos por Ross (1994), considerando a precipitação média anual da área de estudo, estimada em aproximadamente 1.500 mm. A Tabela 5 apresenta as classes de fragilidade da situação em questão.

Tabela 5: Classes de fragilidade ambiental associadas à pluviosidade

Valor	Classes de Fragilidades	Características
3	Moderada	Precipitação anual com distribuição irregular, apresentando período seco de aproximadamente 2 a 3 meses durante o inverno. As maiores intensidades pluviométricas concentram-se no verão, especialmente entre os meses de dezembro e março, com totais anuais variando entre 1300 e 1800 mm.
4	Alta	Precipitação anual com distribuição irregular, marcada por período seco mais prolongado, entre 3 e 6 meses. Observa-se elevada concentração das chuvas no verão, entre novembro e abril, quando ocorre cerca de 70% a 80% do total anual, com volumes entre 1600 e 1800 mm.

Fonte: Elaborado pela autora adaptado de Ross 2012 e Furtado (2023).

No entanto, verificou-se que a área de estudo não se enquadrava de forma precisa nas classes estabelecidas por Ross (1994), uma vez que os intervalos propostos apresentam caráter generalista e nem sempre contemplam as especificidades locais.

Assim, a variável pluviométrica foi classificada considerando não apenas os valores totais anuais, mas também a distribuição sazonal das chuvas, conforme discutido por Crepani et al. (2001) e também com base na adaptação realizada por Silva (2023). Nesse sentido, o regime climático da área de estudo, caracterizado pela concentração das chuvas no período de outubro a março, propõe o uso da intensidade pluviométrica. Essa grandeza relaciona o volume anual precipitado à duração do período chuvoso, permitindo uma análise mais representativa do potencial de atuação dos processos erosivos (Crepani et al., 2001)

A intensidade pluviométrica (IP) foi obtida a partir da relação entre a precipitação média anual (PMA) e a duração do período chuvoso (DPC), conforme proposto por Crepani et al. (2001) e reproduzido por Silva (2023).

$$IP = \frac{PMA}{DPC}$$

Onde:

IP = intensidade pluviométrica

PMA = precipitação média anual (mm)

DPC = duração do período chuvoso (meses)

A precipitação média anual considerada foi de 1.500 mm, com duração do período chuvoso de 6 meses, resultando em uma intensidade pluviométrica (IP) de 250 mm/mês (Tabela 6). De acordo com a classificação proposta por Crepani et al. (2001), esse valor corresponde a

um índice de vulnerabilidade de 1,8, em uma escala que varia de 1 a 3.

Tabela 6: Classificação da fragilidade ambiental com base na (IP)

PMA (mm)	DPC (meses)	IP (mm)	Valor (Crepani)	Valor (Ross)	Grau de Fragilidade
1.500	6	250	1,8	3	Média

Fonte: Elaborado pela autora adaptado de Crepani et al. (2001), Ross (1994) e Silva (2023).

Seguindo os procedimentos indicados em Silva (2023), realizou-se a conversão dos graus de vulnerabilidade propostos por Crepani et al. (2001) para a escala de fragilidade de Ross (1994), por meio de uma regra de três simples. A adoção do índice pluviométrico de Crepani et al. (2001) justifica-se pela necessidade de considerar não apenas o volume total anual da precipitação, mas também sua distribuição ao longo do ano. Após a aplicação desse procedimento e a conversão das classes de fragilidade, obteve-se o valor correspondente à classe intermediária (3). Dessa forma, considerando a compatibilidade com os intervalos estabelecidos por Ross (1994) e a baixa variabilidade espacial da precipitação na área de estudo, a variável climática foi inserida no modelo com valor constante.

Quanto à variável uso e cobertura da terra, esta foi classificada com base na proposta de Ross (1994), considerando o grau de proteção proporcionado ao solo (Tabela 7). As classes variam de muito alta a muito baixa proteção, refletindo a capacidade de minimizar ou maximizar processos erosivos. Áreas com cobertura vegetal apresentam maior grau de proteção e, conseqüentemente, menor fragilidade, enquanto áreas com maior intervenção antrópica tendem a apresentar menor proteção e maior risco à degradação ambiental.

Tabela 7: Classes de fragilidade ambiental associadas ao uso e cobertura da terra

Valor	Grau de Fragilidade	Grau de Proteção do Solo	Classe de Uso e Cobertura da Terra
1	Muito baixa	Muito alta	Formação florestal, campo alagado e área pantanosa, hidrografia
2	Baixa	Alta	Formação savânica
3	Média	Moderada	Floresta plantada, formação campestre, Cana, afloramento rochoso
4	Alta	Baixa	Pastagem, soja, mosaicos de usos, outras lavouras
5	Muito alta	Muito baixa	Área urbanizada, e outras áreas não vegetadas,

Fonte: Adaptado de Furtado (2023) e Souza (2021), a partir da aplicação da metodologia de Ross (1994) em bacia hidrográfica no estado de Goiás.

A reclassificação das variáveis foi realizada por meio da ferramenta “Reclassificar por Tabela”, permitindo a padronização dos dados com base nos graus de fragilidade atribuídos a cada classe. Apenas para a variável solo não foi utilizada a reclassificação por Tabela, nesse caso, a atribuição dos valores de fragilidade ocorreu durante o processo de rasterização da camada vetorial de solos, no qual a conversão para raster foi realizada a partir da coluna de fragilidade previamente criada na Tabela de atributos do arquivo vetorial original.

A fragilidade foi obtida por meio da álgebra de mapas, utilizando a ferramenta Calculadora Raster no QGIS. A fragilidade potencial resultou da integração das variáveis físico-naturais reclassificadas, enquanto a fragilidade ambiental (emergente) incorporou a variável de uso e cobertura da terra. A fragilidade potencial foi obtida a partir da integração das variáveis, conforme a expressão:

$$FP = \frac{(Fd + Fs + 3)}{3}$$

Em que:

FP = Fragilidade Potencial

Fd = Fragilidade da declividade

Fs = Fragilidade dos solos

Fp = Fragilidade da pluviosidade (valor constante igual a 3)

Já a fragilidade ambiental (emergente) foi calculada conforme:

$$FA = \frac{FP + Fu}{2}$$

Em que:

FA = Fragilidade Ambiental (Emergente)

FP = Fragilidade Potencial

Fu = Fragilidade do uso e cobertura da terra

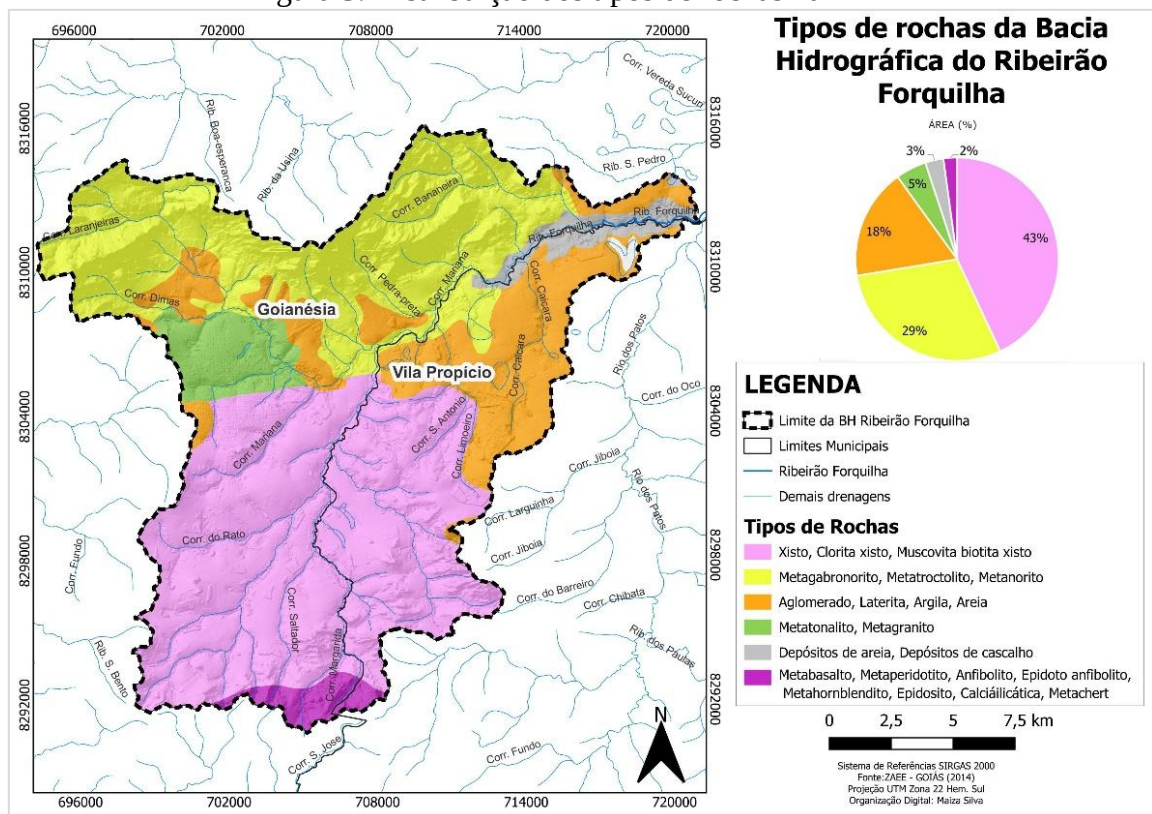
O raster resultante da integração das variáveis apresentou valores fracionários, decorrentes do cálculo da média entre as classes de fragilidade previamente atribuídas. Para a obtenção do mapa final, esses valores foram reclassificados por arredondamento para a classe inteira mais próxima, de modo a preservar a coerência metodológica da análise e evitar a criação de distinções artificiais entre as classes.

3. CONDICIONANTES AMBIENTAIS DA BACIA DO RIBEIRÃO FORQUILHA

3.1. Aspectos geológicos

A geologia da área de estudo é composta por diversos tipos de rochas, com predominância de formações metamórficas, como xistos e quartzitos, além de rochas dos grupos Araxá e Barro Alto (Figura 5). Essas unidades estão distribuídas ao longo da bacia, com algumas áreas concentrando determinados tipos de rocha. Também ocorrem depósitos cenozóicos (areias e cascalhos) próximos aos cursos d'água. De forma geral, essa variedade litológica influencia as características do relevo e dos solos, contribuindo para a dinâmica ambiental da bacia.

Figura 5: Distribuição dos tipos de rochas na BHRF



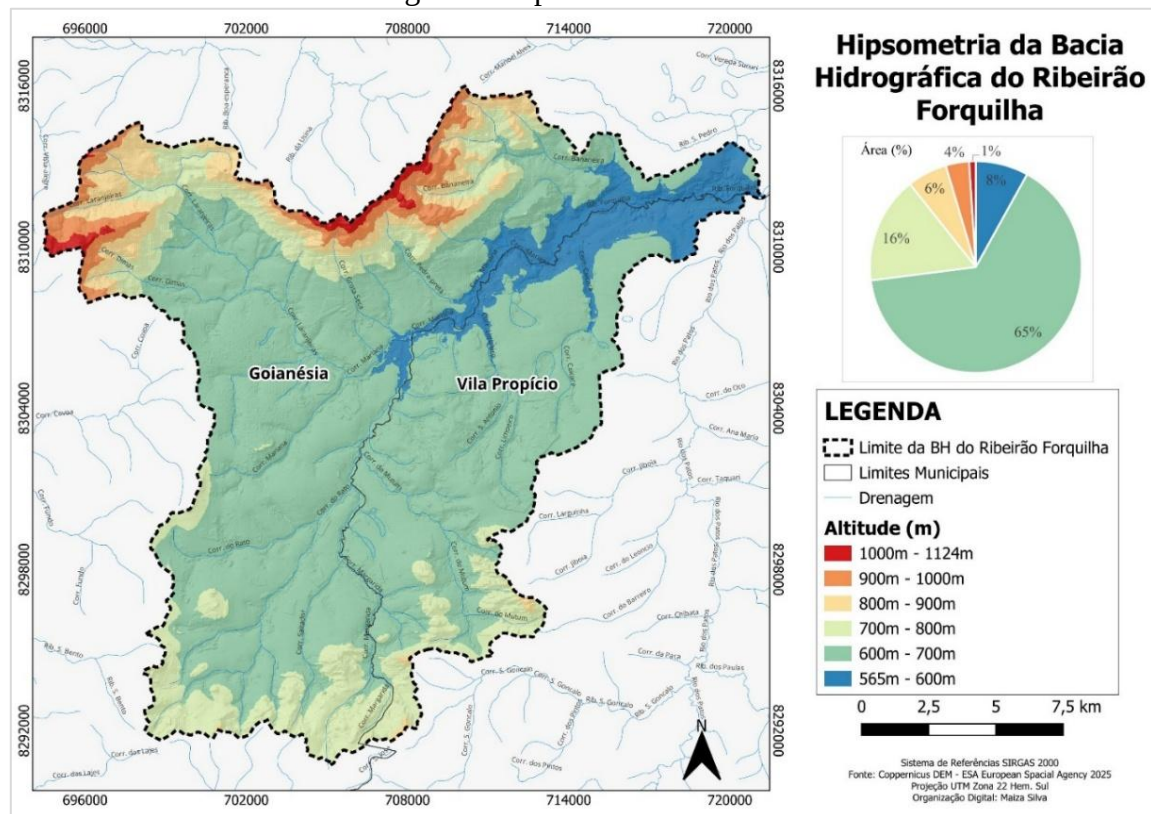
Fonte: CPRM 2014). Elaboração: autora (2025).

3.2. Aspectos Geomorfológicos

Na bacia hidrográfica do Ribeirão Forquilha, as altitudes variam de 550 m a 1.124 m, o que configura uma amplitude altimétrica de 574 m (Figura 6). A ocorrência de altitudes acima

de 900 m concentra-se no seu extremo norte com altitudes superiores a 800 m se encontram predominantemente na parte da bacia pertencente ao município de Goianésia. Na porção central da área de estudo, predominam altitudes inferiores a 700 m, o que corresponde a aproximadamente 65% das áreas total.

Figura 6: Hipsometria da BHRF



Fonte: Copernicus DEM – Copernicus Programme / European Space Agency (ESA), 2021.

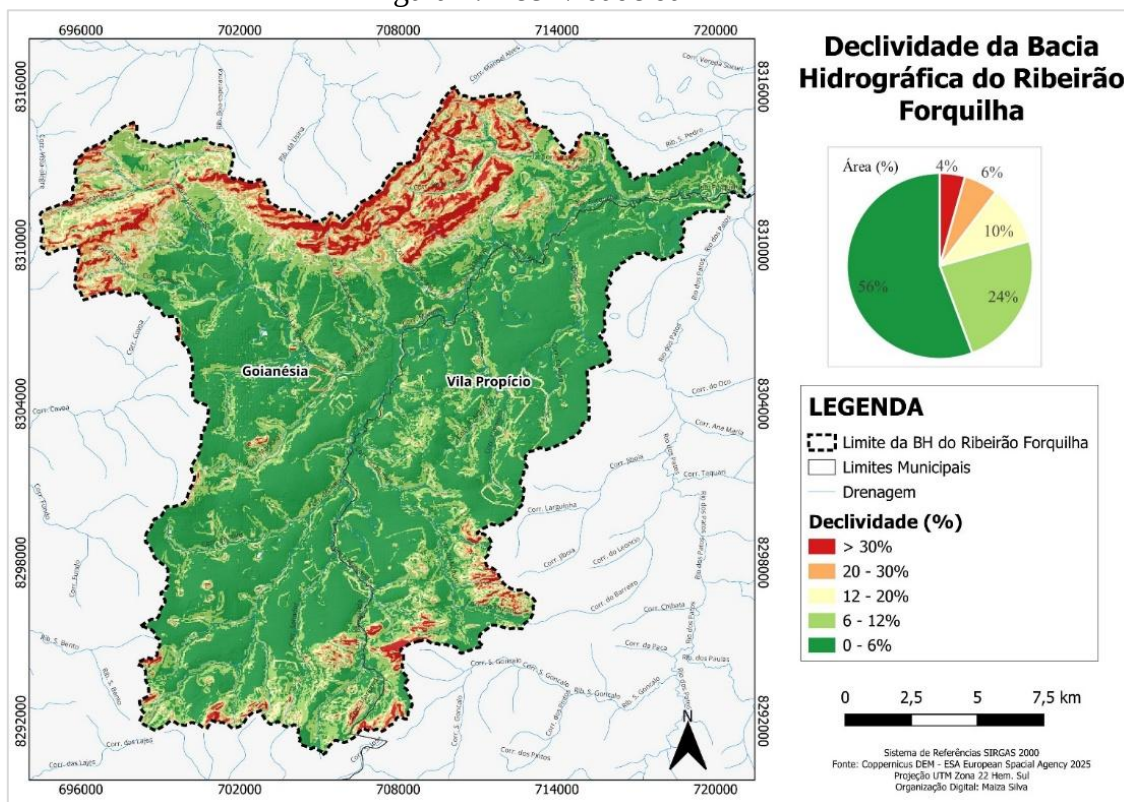
Elaboração: autora (2025).

As maiores declividades concentram-se principalmente na porção norte da bacia e em alguns setores do sudoeste, estando associadas, em geral, aos divisores de drenagem e às encostas mais inclinadas. De modo geral, o relevo apresenta baixa a média declividade, o que favorece a infiltração da água e reduz a suscetibilidade a processos erosivos, refletindo-se no predomínio de classes de baixa a média fragilidade ambiental.

Por outro lado, as áreas com declividades mais elevadas, especialmente aquelas acima de 30%, correspondem aos setores de maior fragilidade, indicando maior potencial de instabilidade e maior suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos. Embora sejam menos representativas em termos territoriais, essas porções demandam maior atenção no planejamento do uso da terra.

Os mapas das Figuras 7 e 8 apresentam a distribuição espacial das classes de declividade e da fragilidade ambiental associadas na área de estudo.

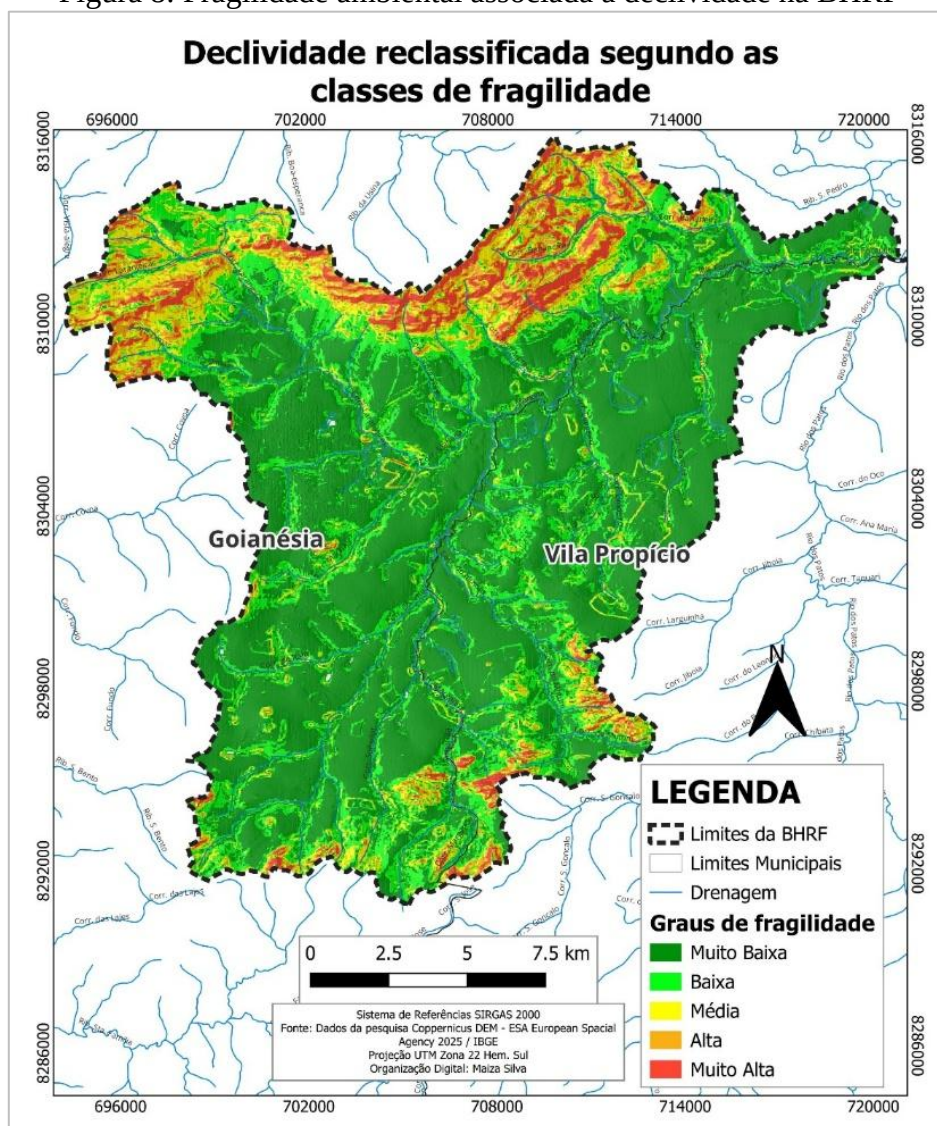
Figura 7: Declividade da BHRF



Fonte: Copernicus DEM – Copernicus Programme / European Space Agency (ESA), 2021.
Elaboração: autora (2025).

Tratando-se da geomorfologia na área de estudo predominam superfície regional de aplainamento IIIA com cotas entre 700 e 800 m com dissecação fraca desenvolvidas sobre rochas pré-cambrianas. Essas são geralmente esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas e rochas metamórficas, denotando eventual controle estrutural e sendo definidas por uma rede de drenagem de baixa densidade, com vales rasos e vertentes de pequena declividade. E representa em torno de 80% da área de estudo. Já a noroeste da bacia e extremo sul da bacia destacam-se relevos de morros e colinas com dissecação muito forte e forte controle estrutural, conforme Figura 9.

Figura 8: Fragilidade ambiental associada à declividade na BHRF

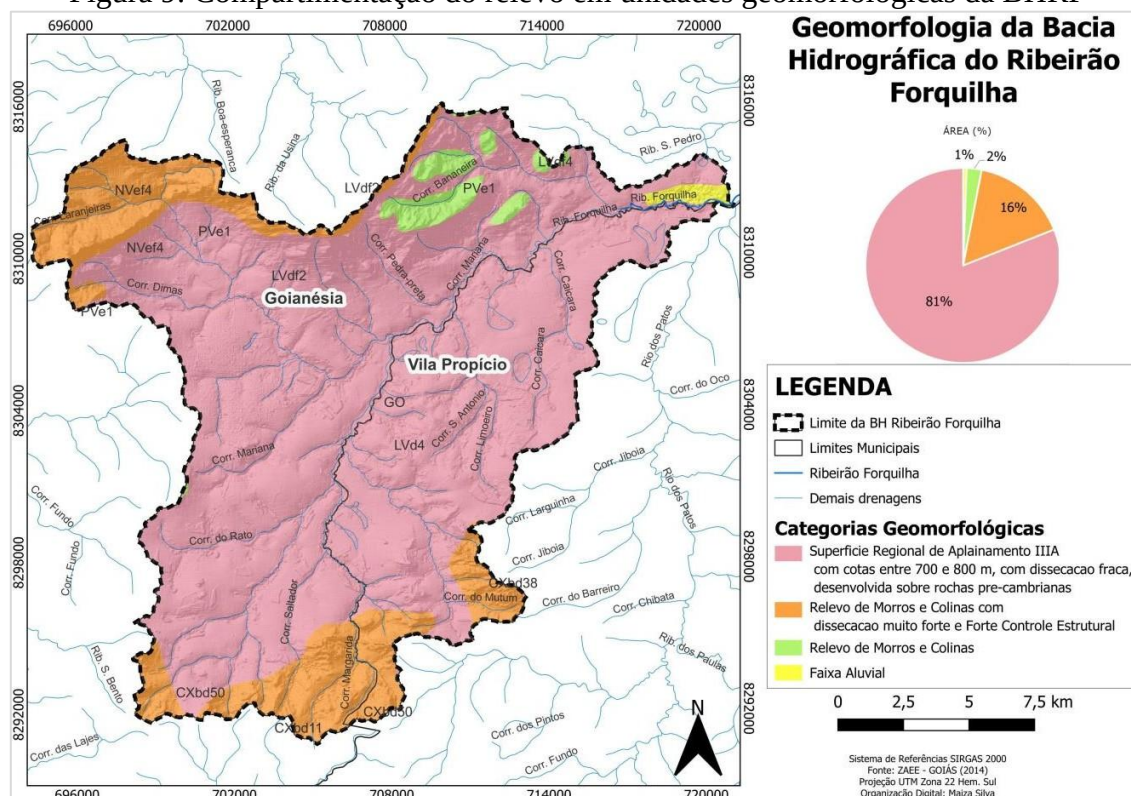


Fonte: Copernicus DEM / (ESA), 2021.
 Elaboração: autora (2025).

A bacia do Ribeirão Forquilha está inserida no domínio morfoestrutural, que conforme o IBGE (2024), constitui-se pelos Cinturões Móveis Neoproterozóicos. Este compreendem extensas áreas representadas por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas, elaboradas em terrenos dobrados e falhados.

Dentre os compartimentos inseridos nos conjuntos litomorfoestruturais na área da BHRF, predominam as Depressões Intermontanas do Alto Tocantins-Maranhão. A bacia também possui fragmentos do Complexos Serrano Niquelândia-Barro Alto ao norte, além das Depressões Intermontanas Uruaçu-Ceres, em uma faixa que segue do centro da área de estudo até a confluência do Ribeirão Forquilha e Rio dos Patos.

Figura 9: Compartimentação do relevo em unidades geomorfológicas da BHRF



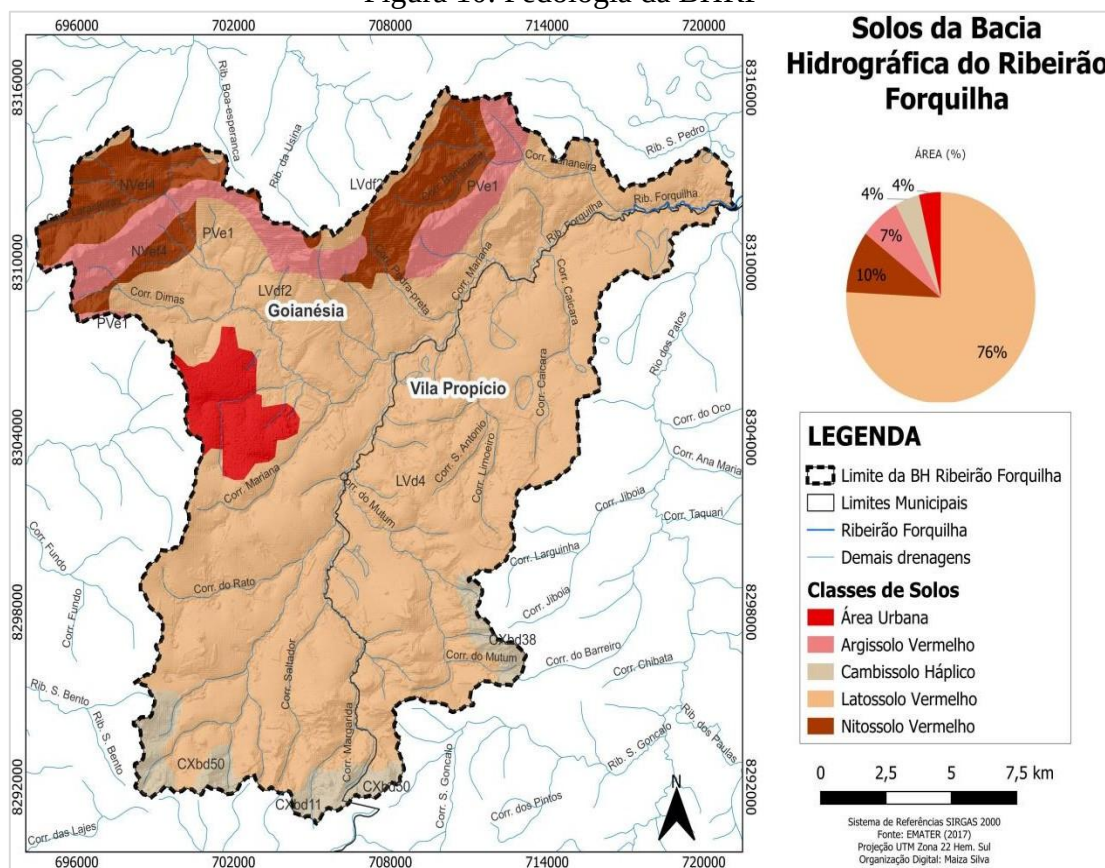
Fonte: ZAAEE – Zoneamento Agroecológico de Goiás 2014.

Elaboração: autora (2025).

3.3. Aspectos Pedológicos

Quanto aos tipos de solos, a área é composta por seis classes distintas, com destaque para os Latossolos Vermelhos, conforme Figura 10. Para o IBGE (2007), os Latossolos Vermelhos, que cobrem 76% da área da bacia, apresentam textura argilosa, perfis bem desenvolvidos e profundos, sendo porosos e bem drenados. Em função dessas características intrínsecas, são amplamente utilizados na produção agrícola e, do ponto de vista ambiental, tendem a apresentar menor suscetibilidade à erosão, o que se reflete predominantemente em classes de baixa fragilidade. O mapa da Figura 11 apresenta a distribuição espacial das classes de fragilidade ambiental associadas aos tipos de solo na área de estudo.

Figura 10: Pedologia da BHRF



Fonte: IBGE (2024). Elaboração: autora (2025).

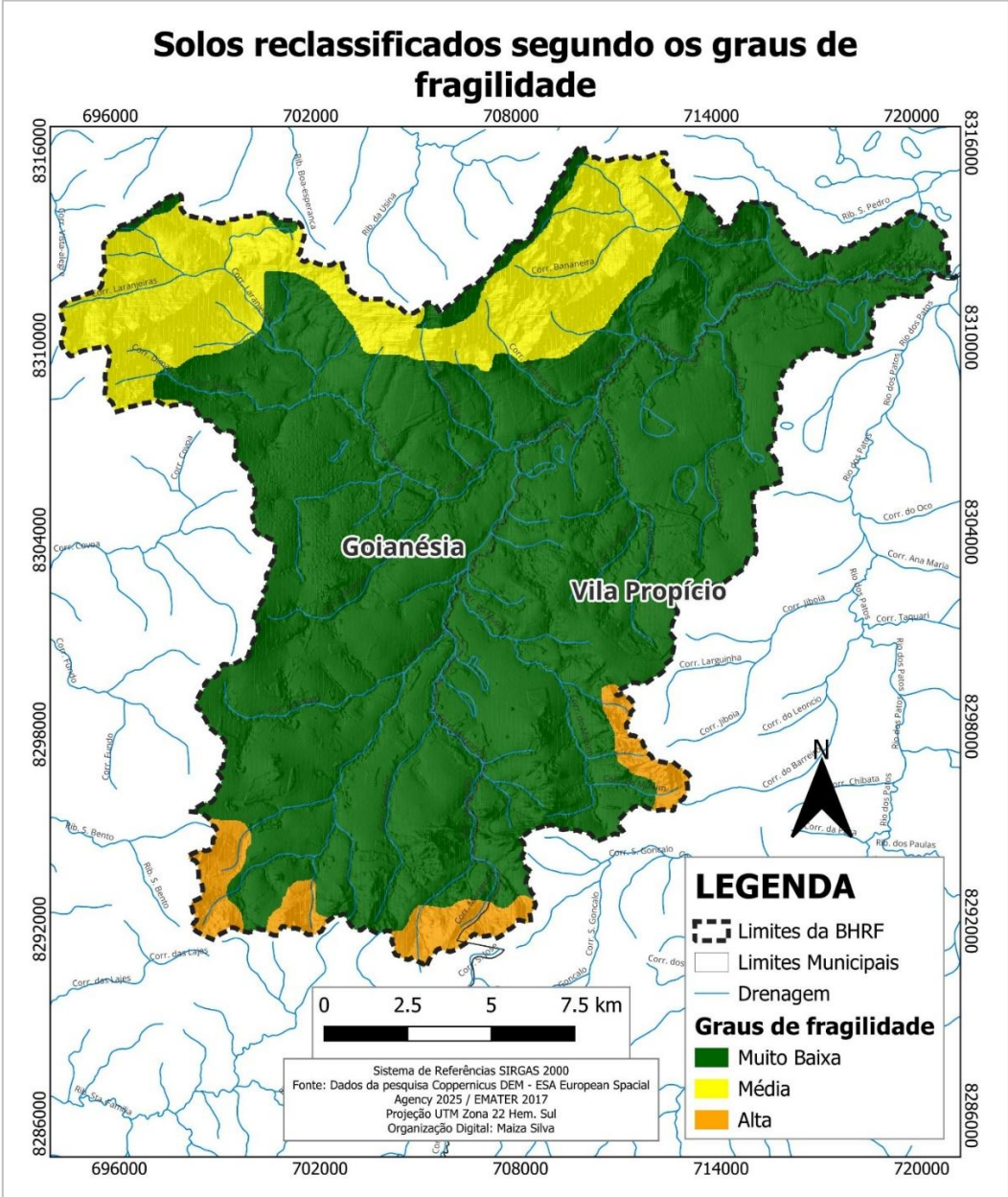
A fragilidade associada aos solos na bacia está diretamente relacionada às características intrínsecas de cada classe pedológica. Os Latossolos, predominantes na área, apresentam baixos níveis de fragilidade ambiental, devido ao seu elevado grau de intemperismo, profundidade acentuada, boa drenagem e estrutura estável, fatores que favorecem uma maior resistência à erosão.

Os Nitossolos, concentrados principalmente na porção norte da bacia, Embrapa (2025), são solos profundos, bem drenados e com estrutura bem desenvolvida, o que lhes confere estabilidade em relação à erosão. No entanto, sua ocorrência está frequentemente associada a áreas de relevo mais movimentado, variando de suave ondulado a forte ondulado. Dessa forma, apesar de suas características físicas favoráveis, esses solos apresentam fragilidade intermediária na área de estudo, sobretudo em função da declividade, que intensifica o escoamento superficial e impõe limitações ao uso agrícola.

Já os Cambissolos, que representam 10% da área, concentram-se predominantemente na porção sul da bacia. De acordo com a Embrapa (2025) são solos pouco desenvolvidos, com horizonte B incipiente e menor grau de evolução pedogenética, apresentando, em muitos casos,

baixa profundidade e estrutura menos estável. Dessa forma, esses solos apresentam alta fragilidade, especialmente quando associados a maiores declividades, configurando as áreas mais sensíveis do ponto de vista ambiental.

Figura 11: Fragilidade ambiental associada aos solos da BHRF.



Fonte: IBGE (2024). Elaboração: autora (2026).

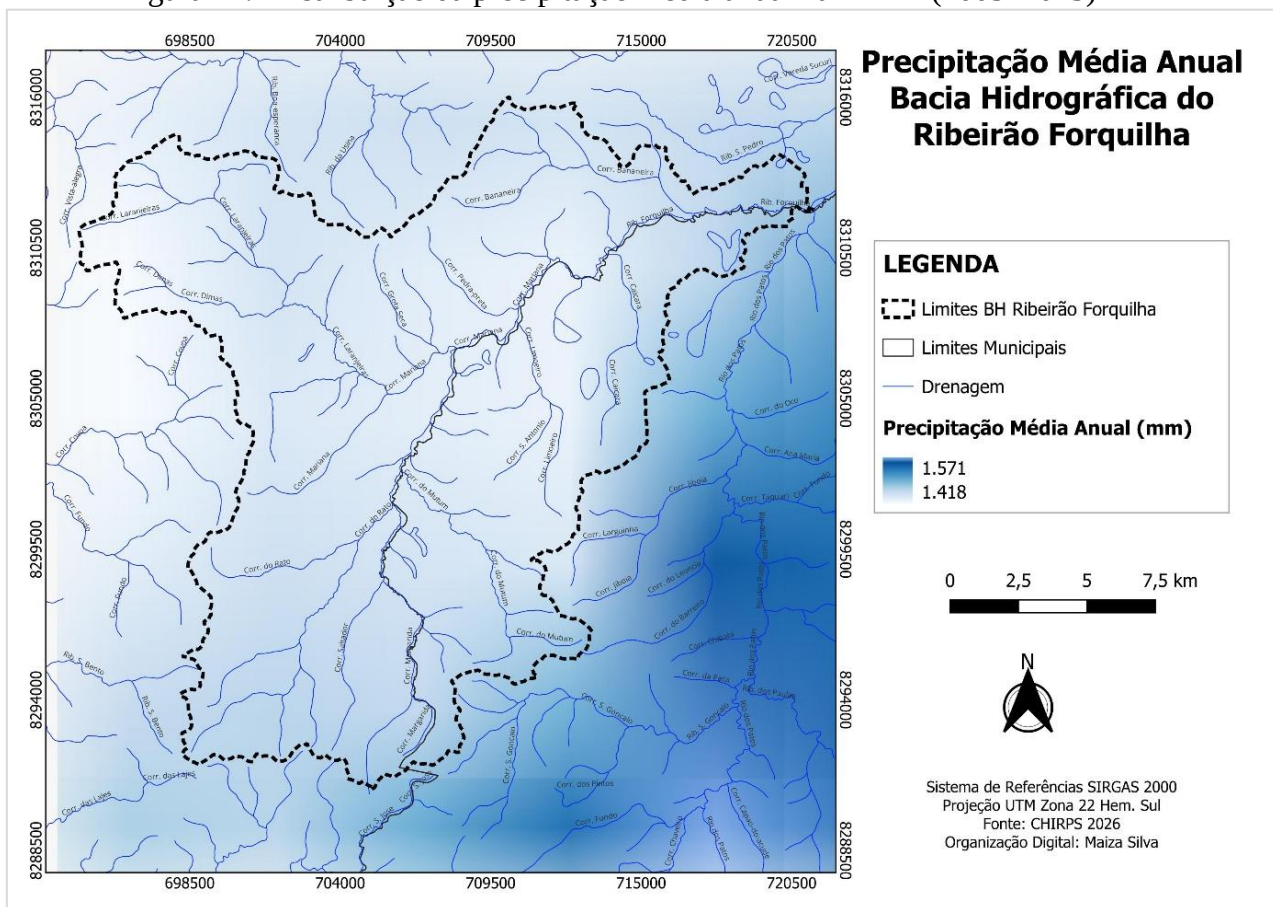
3.4. Aspectos Climáticos

A área de estudo apresenta clima tropical sazonal (Aw), com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Alvares et al., 2013). Esse tipo climático é caracterizado por duas estações bem definidas ao longo do ano: uma chuvosa, compreendida entre os meses de outubro e março, e outra seca, entre abril e setembro. Esse padrão é típico da região Centro-Oeste do Brasil e reflete a sazonalidade da precipitação, com maior volume de chuvas nos períodos de primavera e verão, totalizando aproximadamente seis meses de estação chuvosa (Silva; Santos; Alves, 2012).

A análise da precipitação na bacia do Ribeirão Forquilha indica baixa variabilidade espacial, em função da reduzida extensão de sua área e da homogeneidade das condições climáticas regionais. Observa-se que os valores mínimos e máximos de pluviosidade apresentam pequena amplitude, resultando em diferenças pouco expressivas entre os intervalos gerados. Dessa forma, mesmo com a divisão em classes, o enquadramento da variável nos critérios metodológicos adotados (Ross, 1994; Crepani et al., 2001) permaneceria constante. Assim, optou-se por considerar a precipitação de forma homogênea na bacia, evitando a superestimação de variações espaciais pouco expressivas.

A precipitação média anual para a área de estudo é de aproximadamente 1.500 mm. A Figura 12 apresenta a precipitação média anual na área de estudo, conforme os dados do período de 20 anos de análise.

Figura 12: Distribuição da precipitação média anual na BHRF (2003–2023)



Fonte: CHIRPS (2026). Elaboração: autora (2026).

3.5. Rede Hidrográfica

A bacia do Ribeirão Forquilha apresenta, ainda, dados técnicos sistematizados pelo IBGE e pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Estratégico (ANA). Entre eles, destaca-se a Ottocodificação (nível 6), que representa a identificação da bacia na Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) em escala 1:250.000 (ANA, 2020). Nesse sentido, a análise do aspecto hidrográfico torna-se fundamental para a compreensão da dinâmica ambiental de uma região.

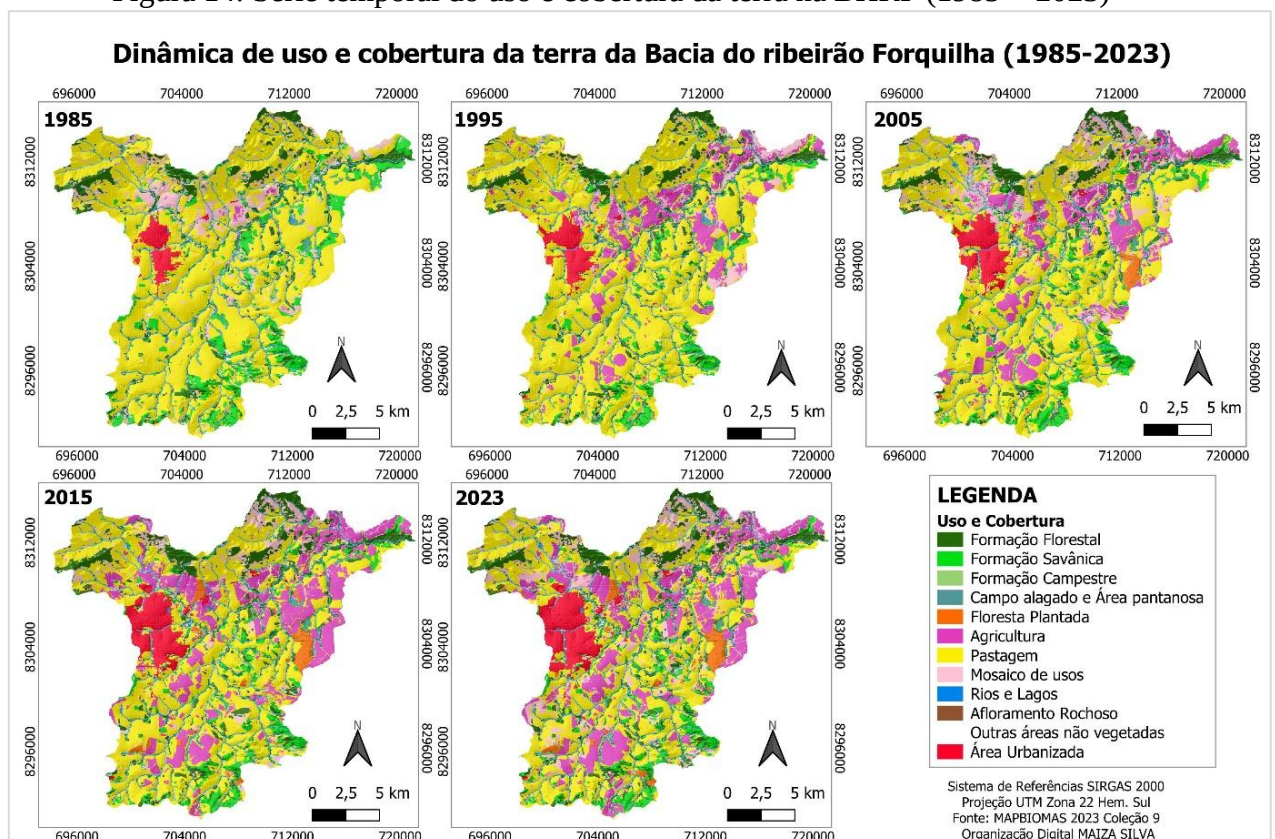
Pertencente ao complexo hidrográfico do rio dos Patos, Maranhão, Tocantins e Tocantins-Araguaia, a bacia em análise tem como seu principal afluente o córrego Laranjeiras, que atualmente margeia a área urbana do município de Goianésia. Destaca-se também o Córrego Mariana, que apresenta importante representatividade na rede de drenagem local. A Figura 13 apresenta o mapa da hidrografia da área de estudo, cujos dados estão detalhados na Tabela 8.

4. ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA AO LONGO DO PERÍODO DE 1985 A 2023

4.1. Dinâmica espaço-temporal

A análise da dinâmica de uso e cobertura da terra, no período de 1985 a 2023 permite identificar as principais transformações ocorridas na bacia hidrográfica. Nesse contexto, a Figura 14 apresenta a distribuição espacial das classes referentes aos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2023.

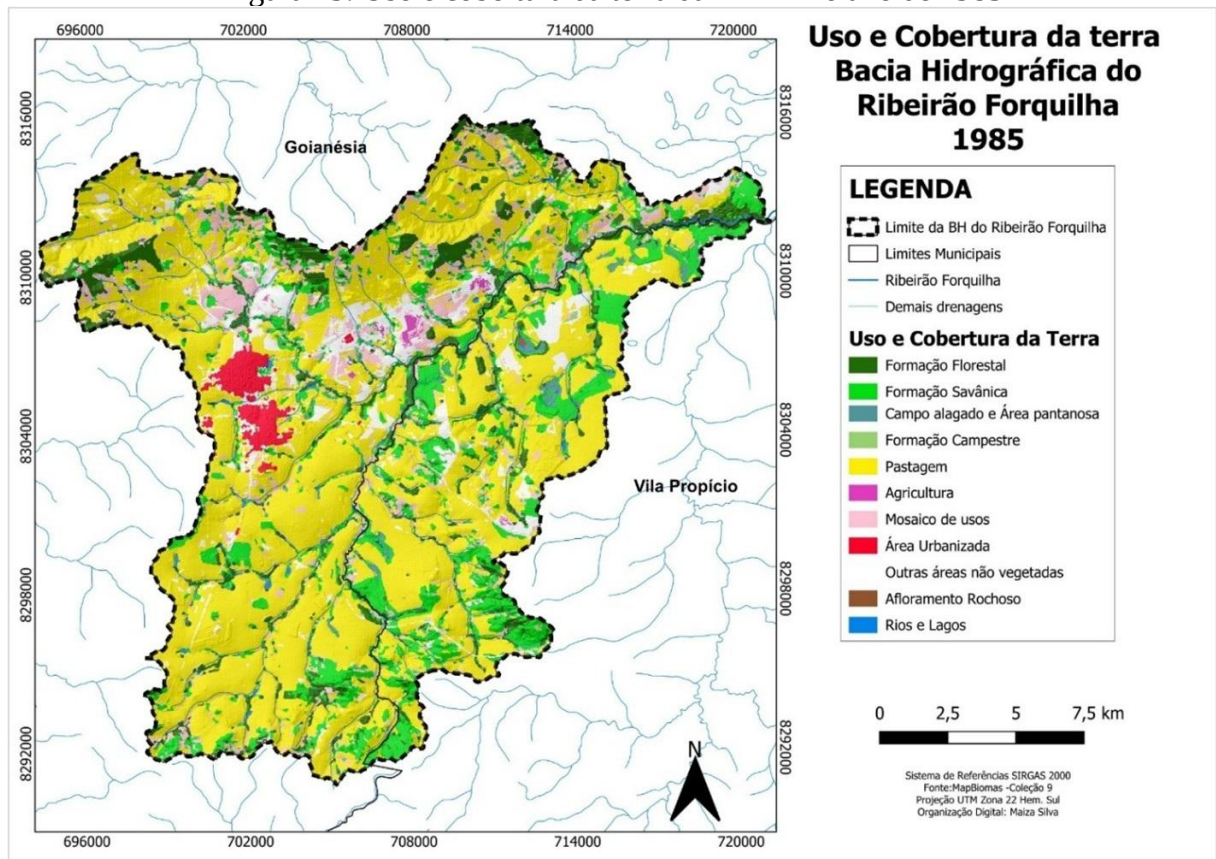
Figura 14: Série temporal do uso e cobertura da terra na BHRF (1985 - 2023)



Fonte: Mapbiomas 2023 - Elaboração: autora (2026).

Entre 1985 a 2023, observa-se a predominância de áreas de pastagem, além da expansão das atividades agrícolas e do aumento da fragmentação da vegetação nativa. Para uma análise mais detalhada das mudanças ocorridas, deu-se ênfase aos anos inicial e final da série histórica (1985 e 2023), apresentados nas Figuras 15 e 16, além das Tabelas 9 e 10.

Figura 15: Uso e cobertura da terra da BHRF no ano de 1985



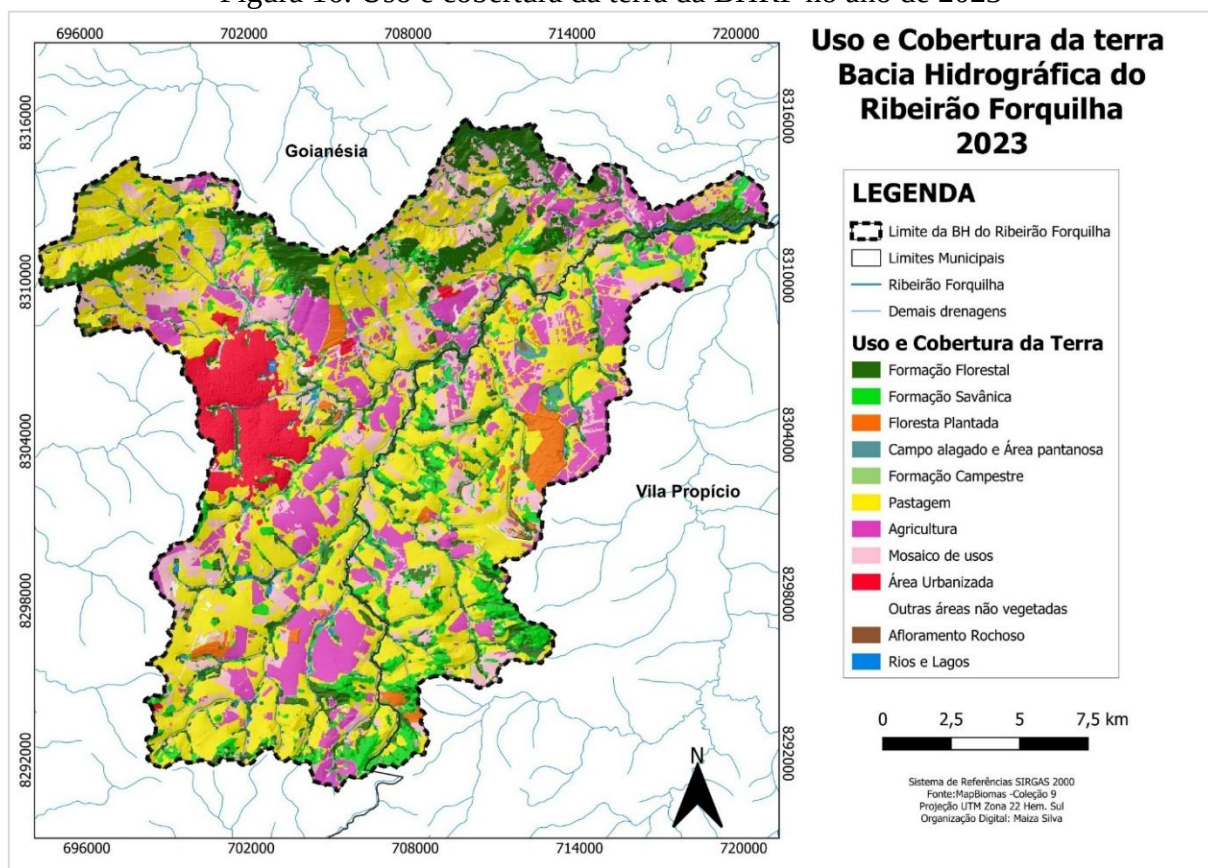
Fonte: Mapbiomas 2023 – Elaboração: autora (2024)

Tabela 9: Classes de uso e cobertura da terra na BHRF (1985)

Classes de uso e cobertura da terra (1985)	Área (km²)	(%)
Pastagem	193,07	56,06%
Formação Savânica	52,91	15,36%
Mosaico de Usos	34,19	9,93%
Formação Florestal	30,48	8,85%
Outras Áreas Não Vegetadas	23,27	6,76%
Área Urbanizada	5,54	1,61%
Campo Alagado e Área Pantanosa	2,64	0,77%
Rio, Lago e Oceano	0,93	0,27%
Agricultura	0,81	0,24%
Formação Campestre	0,49	0,14%
Afloramento Rochoso	0,08	0,02%
Total	344,42	100,00%

Fonte: Mapbiomas 2023. Elaboração autora (2024).

Figura 16: Uso e cobertura da terra da BHRF no ano de 2023



Fonte: Mapbiomas 2023. Elaboração: autora (2024).

Tabela 10: Classes de uso e cobertura da terra na BHRF (2023)

Classes de uso e cobertura da terra (2023)	Área (km ²)	%
Pastagem	133,30	38,70%
Mosaico de Usos	52,84	15,34%
Agricultura	50,46	14,65%
Formação Florestal	47,27	13,72%
Formação Savânica	30,24	8,78%
Área Urbanizada	17,67	5,13%
Floresta Plantada	7,56	2,19%
Outras Áreas Não Vegetadas	2,01	0,58%
Campo Alagado e Área Pantanosa	1,57	0,46%
Rio, Lago e Oceano	1,35	0,39%
Formação Campestre	0,08	0,02%
Afloramento Rochoso	0,08	0,02%
Total	344,42	100,00%

Fonte: Mapbiomas 2023. Elaboração: autora (2024).

No ano de 1985, observa-se o predomínio de áreas de pastagem, distribuídas por praticamente toda a bacia. As áreas de formação savânica e florestal concentravam-se ao longo

dos cursos d'água em determinadas porções do relevo, indicando a presença de vegetação nativa. A agricultura ainda era pouco expressiva, ocorrendo de forma pontual, assim como as áreas urbanizadas, que ocupavam uma parcela muito reduzida da bacia. De modo geral, a paisagem apresentava menor fragmentação e maior extensão de cobertura natural.

Em relação ao mapa da Figura 15 que apresenta o uso e cobertura da terra em 1985¹, observa-se a presença significativa da classe “outras áreas não vegetadas”, distribuída de forma dispersa na bacia. Esse resultado pode estar associado tanto a limitações dos dados históricos, referentes à qualidade das imagens e ao processo de classificação, quanto a condições reais da época, considerando que a região se encontrava em processo inicial de ocupação e expansão das atividades agropecuárias.

Nesse contexto, essas áreas podem representar tanto superfícies expostas decorrentes de desmatamento recente quanto as incertezas do processo de mapeamento, relacionadas aos ruídos espectrais das imagens. Dessa forma, sua interpretação deve ser realizada com cautela, uma vez que pode influenciar diretamente os resultados da análise da fragilidade ambiental.

Apesar da elevada acurácia global do mapeamento, algumas classes apresentam maior dificuldade de discriminação devido à similaridade espectral entre alvos, como áreas não vegetadas e formações naturais, o que pode introduzir incertezas nos resultados (Souza Jr. et al., 2020).

Já no ano de 2023, nota-se uma intensificação do uso antrópico, com a manutenção do predomínio das pastagens, porém com maior fragmentação da classe formação savânica. A agricultura expandiu-se de forma significativa em relação a 1985, passando a ocupar diferentes áreas da bacia. Também se observa o aumento das áreas urbanizadas e das áreas classificadas como “mosaico de usos”, indicando maior diversidade nas formas de ocupação.

As áreas de pastagem reduziu, cedendo lugar às monoculturas. Essas mudanças refletem-se nos dados em geral: a agricultura, que em 1985 ocupava menos de 1% da área da bacia, passou a representar cerca de 14% em 2023. Já a pastagem apresentou redução ao longo do período, enquanto a área urbana, embora ainda pouco expressiva em termos percentuais, também registrou crescimento.

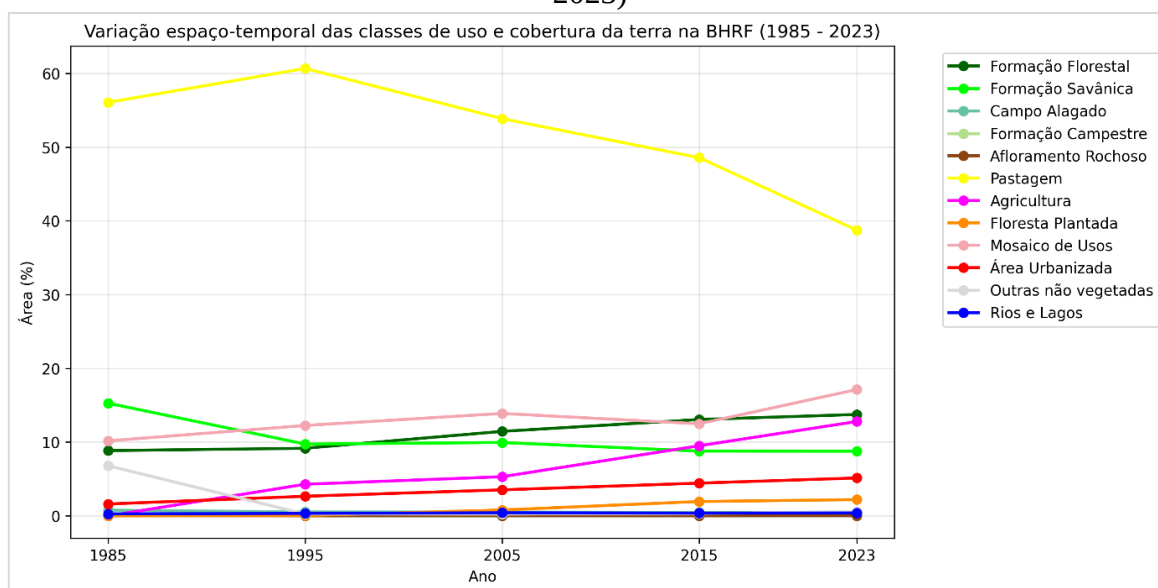
Padrão semelhante de substituição de áreas de pastagem por agricultura foi observado por Márquez (2021), em estudo realizado no município de Silvânia (GO), a partir da análise temporal do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2020. Nesse período, as áreas de pastagem,

¹ Mapeamento de uso e cobertura da terra obtido a partir de dados do MapBiomias.

que representavam cerca de 46% do território em 1985, foram reduzidas para aproximadamente 24% em 2020. Em contrapartida, a cultura da soja apresentou expressiva expansão, passando de cerca de 1% para aproximadamente 35% da área total do município, evidenciando a conversão de áreas anteriormente destinadas à pecuária para a agricultura mecanizada.

O gráfico da Figura 17 apresenta a dinâmica das principais classes de uso e cobertura da terra ao longo do período analisado.

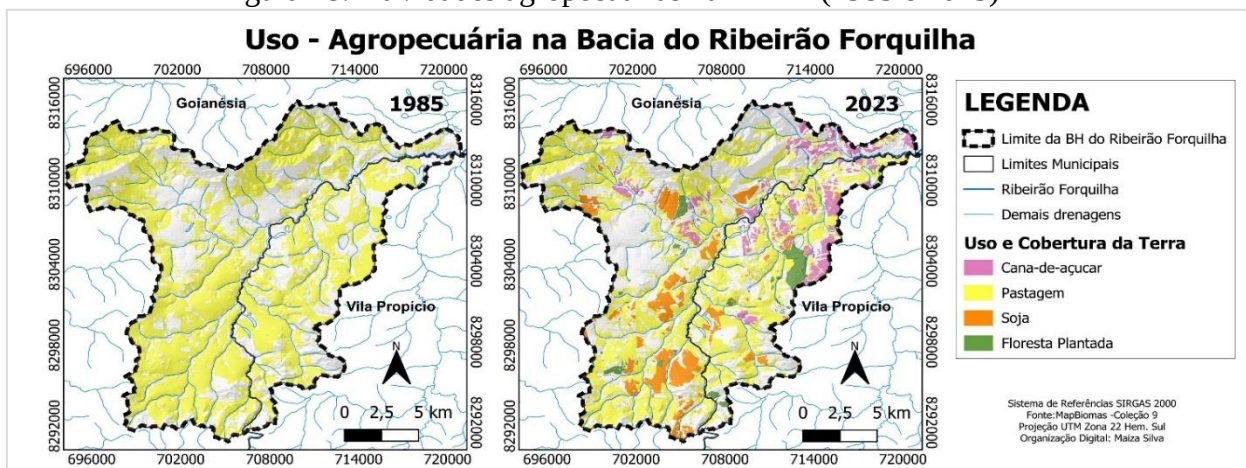
Figura 17: Variação espaço-temporal das classes de uso e cobertura da terra na BHRF (1985 - 2023)



Fonte: Mapbiomas 2023. Elaboração: autora (2026).

É expressiva a redução da pastagem, que passou de 19.307 ha (56,06%) em 1985 para 13.330 ha (38,70%) em 2023. No gráfico, é perceptível também a expansão da agricultura e das florestas plantadas (silvicultura), que saltaram de 81 ha (0,24%) para 5.046 ha (14,65%) e de 0 ha (0%) para 756 ha (2,19%), respectivamente. De acordo com o trabalho de campo realizado, essas culturas se concentram no cultivo de cana-de-açúcar, soja e seringueira. O mapa da Figura 18 apresenta o uso agropecuário, formado pelas classes: cana-de-açúcar, soja, pastagem e floresta plantada na BHRF, em 1985 e 2023.

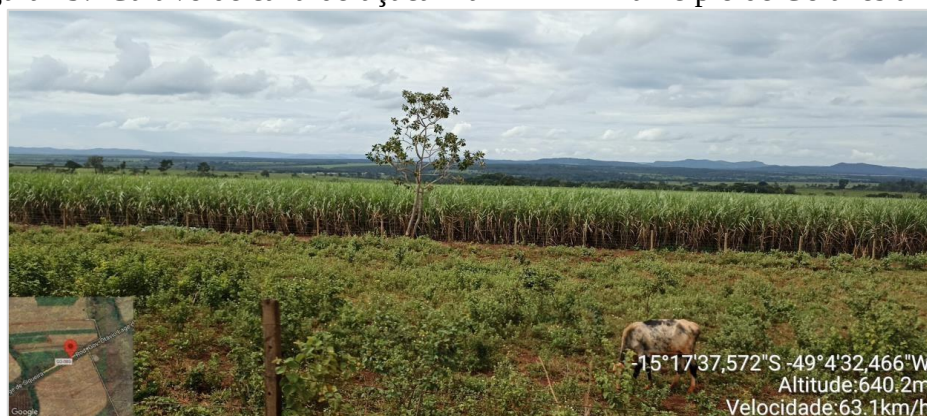
Figura 18: Atividades agropecuárias na BHRF (1985 e 2023)



Fonte: Mapbiomas 2023. Elaboração: autora (2024).

A cana-de-açúcar é uma cultura amplamente cultivada na área de estudo, principalmente no município de Goianésia-GO (Figura 19). Essa monocultura configura-se como uma das principais atividades agrícolas até o presente. São diversos os fatores que justificam esse potencial como: o clima tropical, com duas estações bem definidas, que favorece a sua produção, visto que o período quente e úmido contribui para a germinação, enquanto o período frio auxilia na maturação no acúmulo da sacarose. As temperaturas elevadas e a pluviosidade adequada durante a estação de crescimento são condições ideais para o desenvolvimento da cultura (Campos, 2013).

Figura 19: Cultivo de cana-de-açúcar na BHRF – município de Goianésia - GO



Fonte: Autora (2023).

De acordo com Borges (2015), a cana-de-açúcar passou a ter relevância em Goiás em meados dos anos 1980, devido a programas federais que influenciaram a produção de etanol a

partir da cana. Essa expansão proporcionou um novo dinamismo no território. No estado, esse aumento tem sido contínuo a partir de 2000, resultando em uma reorganização espacial. Goianésia foi o primeiro município da mesorregião do Centro Goiano a instalar indústrias do ramo sucroenergético, o que, conforme Borges (2015), gerou reflexos socioeconômicos diretos e impacto na dinâmica dessa atividade. Segundo o Instituto Mauro Borges (IMB 2023), no ano de 2010, das 32 indústrias do ramo instaladas no estado de Goiás, três localizavam-se em Goianésia.

A expansão canavieira em Goiás promoveu a reorganização do território e a reconfiguração do uso da terra, associadas aos interesses do setor sucroenergético e à intensificação das dinâmicas produtivas regionais. Nesse contexto, as agroindústrias buscam o controle de áreas próximas às unidades fabris, visando à otimização logística e à maximização da rentabilidade (Marques et al., 2007).

A redução da classe de pastagem durante o recorte temporal da pesquisa pode ser justificada pelo fato de esta ceder lugar à produção de monoculturas. Santos (2018), em seu trabalho de análise de uso e cobertura da terra no município de Goianésia - GO, também verificou esta redução, atribuindo mesmo motivo e, consequentemente, ao aumento das classes de floresta plantada, representada, na área de estudo, pelos cultivos de seringueira (Figura 20) e eucalipto.

Figura 20 : Cultivo de seringueira na BHRF



Fonte: Autora (2023).

Além disso, Oliveira (2013) em seu trabalho de análise de uso e cobertura da terra no município de Planaltina - GO, também a verificou redução da pastagem como uma tendência, justificando pelo investimento em novas áreas de plantios de soja e cana-de-açúcar. Mesmo com essa redução, a categoria de pastagem continua sendo predominante na área de estudo (Figura 21).

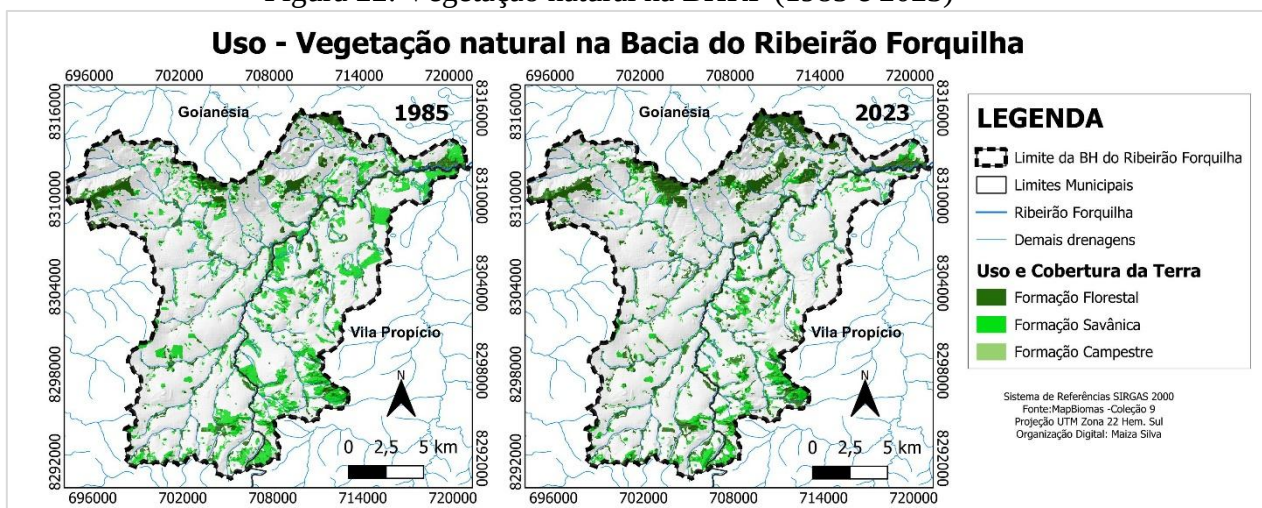
Figura 21: Área de pastagem na BHRF



Fonte: Autora (2023).

Quanto a vegetação natural (Formação Florestal, Savânica e Campestre), esta também teve alterações significativas. As áreas de vegetação nativa tornaram-se mais restritas e fragmentadas, permanecendo principalmente associadas às margens dos cursos d'água. A Figura 22 apresenta a distribuição dessa classe no ano inicial e final do recorte temporal da pesquisa.

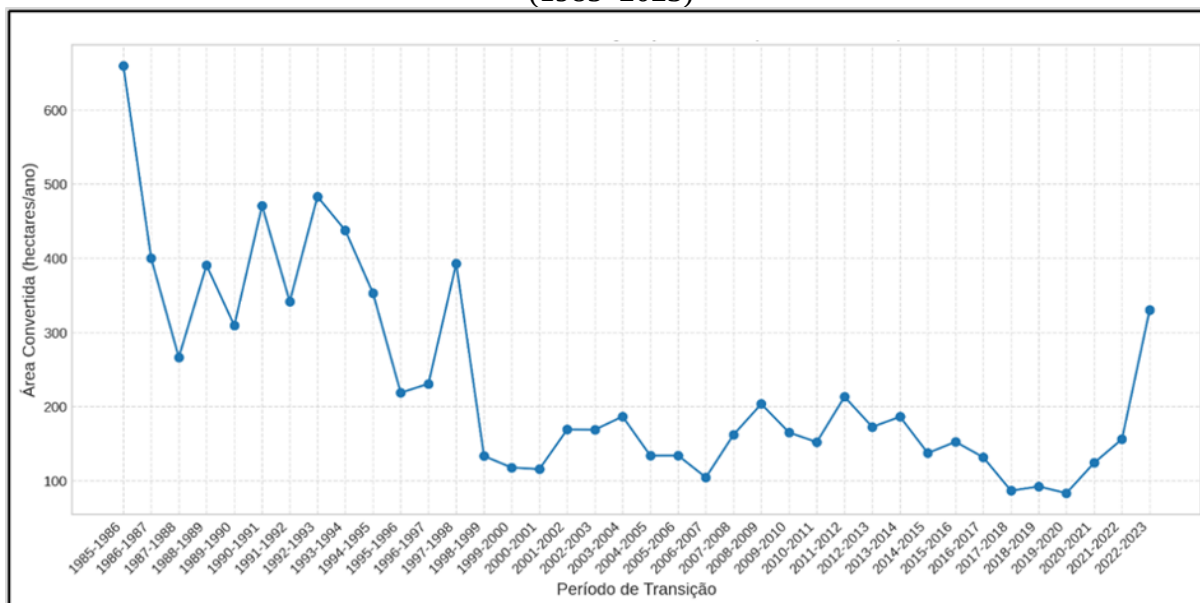
Figura 22: Vegetação natural na BHRF (1985 e 2023)



Fonte: Mapbiomas (2023) – Elaboração Autora (2024).

O gráfico da Figura 23 apresenta a taxa anual de alteração da vegetação natural para usos antrópicos entre 1985 e 2023.

Figura 23: Taxa anual de alteração da vegetação natural para usos antrópicos na BHRF (1985–2023)



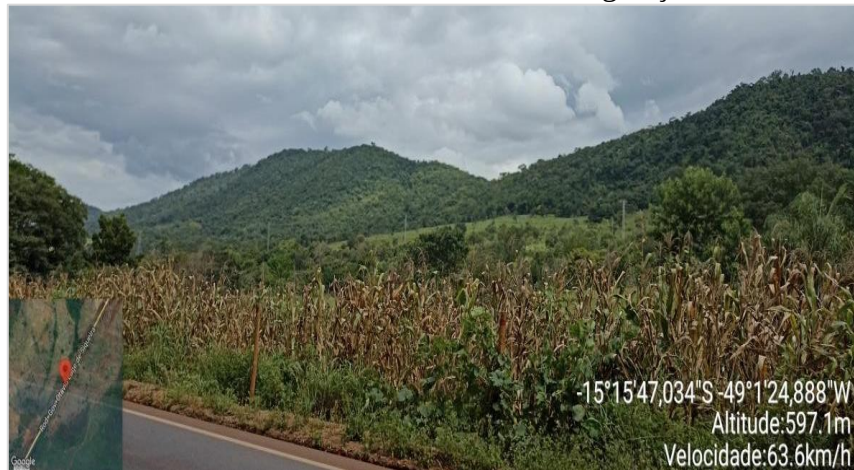
Fonte: Mapbiomas 2023. Elaboração: autora (2024).

A taxa, expressa em hectares por ano (ha/ano), indica a intensidade com que essas áreas foram transformadas em pastagens, agricultura e áreas urbanas, entre outros usos. No início da série, especialmente entre 1985 e 1986, observa-se um valor bastante elevado, com mais de 650 hectares convertidos em um único ano. Esse resultado evidencia um período de forte avanço das atividades humanas sobre os remanescentes naturais.

Ao longo do final da década de 1980 e início dos anos 1990, as taxas de alteração ainda se mantiveram altas, frequentemente acima de 300 hectares por ano, o que demonstra a continuidade intensa desse processo. A partir do final dos anos 1999, ocorre uma transição, com a redução nas taxas de alteração, que passam a se manter em níveis mais baixos, muitas vezes abaixo de 200 hectares por ano. Essa diminuição pode estar relacionada à menor disponibilidade de áreas de vegetação remanescente e ao enrijecimento das restrições legais quanto ao uso do solo.

Contudo, alguns períodos apresentam picos de elevação, como entre 1997 a 1998, 2009 a 2010 e 2012 a 2013, intercalados com períodos de retração, o que indica momentos pontuais de maior expansão da fronteira agrícola. Nos anos mais recentes, especialmente entre 2022 e 2023, a taxa volta a crescer, ultrapassando 300 ha/ano, o que pode indicar uma nova pressão sobre os remanescentes naturais (Figura 24).

Figura 24: Cultivo de milho com remanescente de vegetação florestal na BHRF

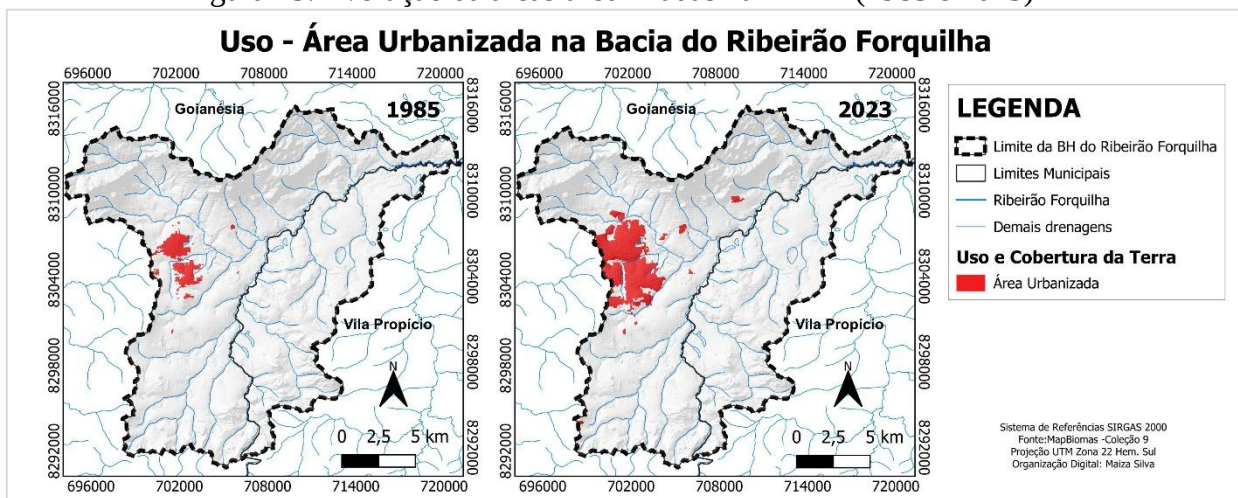


Fonte: Autora (2023).

Por sua vez, a classe de Formação Savânica que representava 14% da área da bacia em 1985, já havia sido reduzida pela metade em 1995. Essa redução pode ser justificada pelo aumento das áreas de pastagem nesse período do recorte temporal. Já a classe de Formação Florestal registrou aumento; no entanto, esse crescimento deve ser analisado com cautela, visto que pode gerar interpretações equivocadas. Parte desse aumento pode estar associado tanto às ações de fiscalização e às alterações na legislação ambiental, quanto às limitações inerentes à acurácia técnica da classificação dos dados.

Retornando à questão do aumento da área urbana, esse crescimento este que pode ser justificado pelo aumento da população. Na década de 1980, Goianésia somava pouco mais de 30 mil habitantes (IBGE, 2022). No último censo (IBGE, 2022) já ultrapassava 70 mil habitantes, valor este, que pode ser ainda maior considerando as estimativas para 2023. A Figura 25, apresenta o crescimento da área urbana de Goianésia dentro da BHRF, em um comparativo, entre os anos de 1985 e 2023.

Figura 25: Evolução da áreas urbanizadas na BHRF (1985 e 2023)



Fonte: Mapbiomas (2023). Elaboração Autora (2024).

É importante ressaltar que apenas uma parcela da área urbana de Goianésia se encontra nos limites da BHRF, e que há uma fração da área urbana em outra bacia hidrográfica. A Tabela 11 e o gráfico apresentado na Figura 26, mostram a população dos municípios pertencentes à BHRF, baseado no recorte temporal da pesquisa. Goianésia, teve um aumento populacional de mais de 124 %, entre 1980 e 2022, ou seja, mais que duplicou.

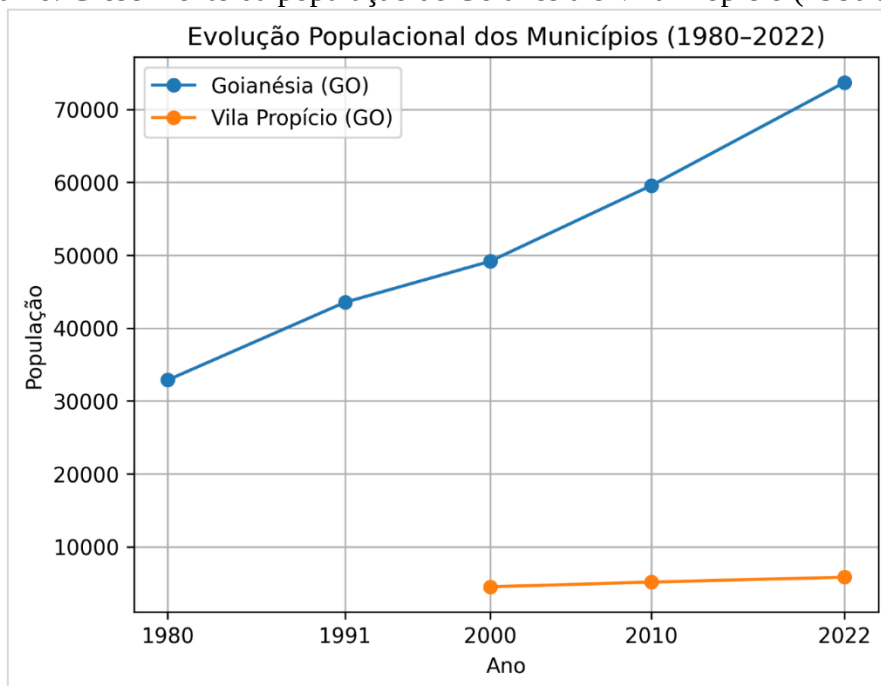
Para o município de Vila Propício, a análise foi realizada a partir do ano 2000, em função da ausência de dados anteriores compatíveis com sua delimitação territorial. Nesse intervalo, a população passou de 4.492 habitantes em 2000 para 5.815 em 2022, correspondendo a um crescimento de aproximadamente 29,4%.

Tabela 11: População residente nos municípios da BHRF (1980–2022)

Município	1980	1991	2000	2010	2022
Goianésia (GO)	32.875	43.535	49.160	59.549	73.707
Vila Propício (GO)	—	—	4.492	5.145	5.815

Fonte: IBGE (2022).

Figura 26: Crescimento da população de Goianésia e Vila Propício (1980 a 2022)



Fonte: IBGE (2022). Elaborado autora (2026)

O crescimento populacional pode provocar diversos impactos socioeconômicos na BHRF, tais como a pressão sobre os serviços de saneamento básico e a geração de passivos ambientais, a exemplo do, descarte irregular de resíduos sólidos, além do parcelamento de solo sem planejamento e licenciamento ambiental. Outro aspecto relevante é a exigência de uma infraestrutura cada vez mais robusta para suprir as necessidades da população e do desenvolvimento socioeconômico esperado para a região.

Figura 27: Área central urbana de Goianésia-GO na BHRF



Fonte: Autora (2023).

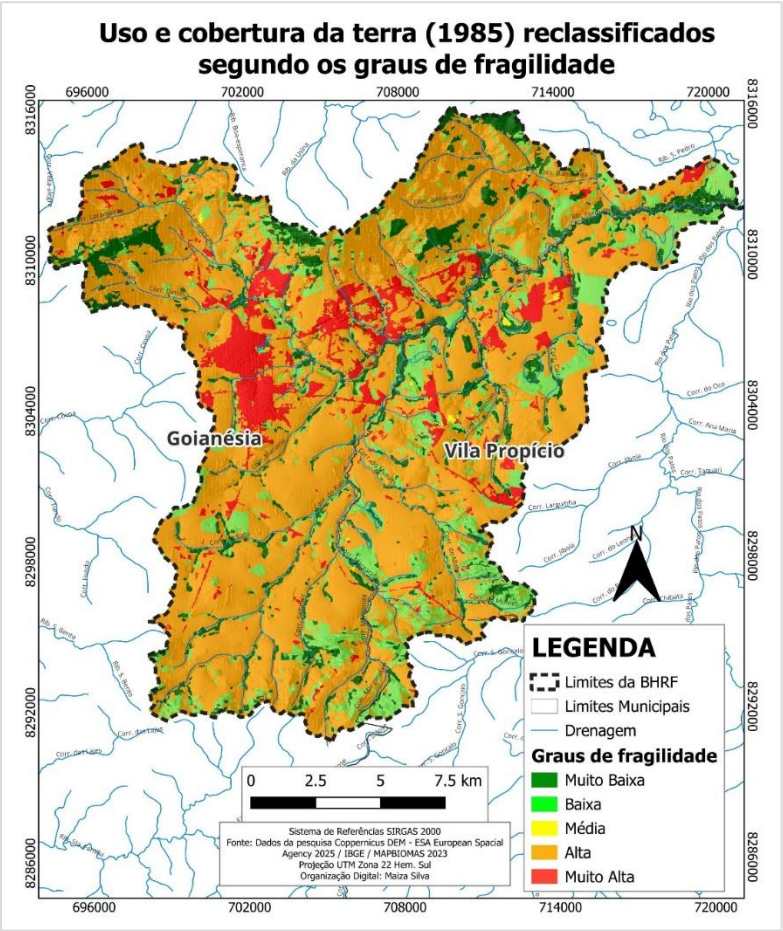
4.2. Fragilidade ambiental associada ao uso e cobertura da terra

A dinâmica de uso e cobertura da terra observada ao longo do período analisado reflete diretamente na configuração da fragilidade ambiental da bacia, visto que as diferentes formas de ocupação exercerem pressões distintas sobre o meio físico.

De modo geral, as classes associadas à vegetação natural, como as formações florestais e savânica, tendem a apresentar menor fragilidade ambiental devido à maior proteção proporcionada pela cobertura vegetal. Em contrapartida, usos antrópicos, como áreas agrícolas, pastagens e áreas urbanizadas, estão associados a níveis mais elevados de fragilidade, em função da maior exposição e da compactação do solo resultante do manejo. Ross (1994).

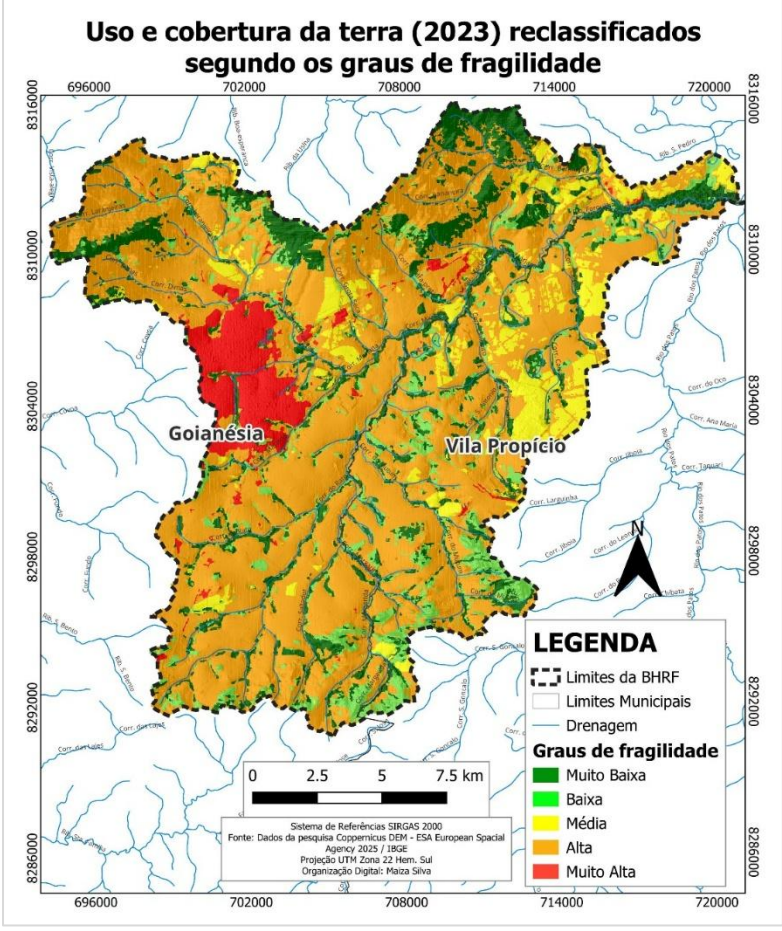
Os mapas das Figuras 28 e 29 apresentam a distribuição espacial das classes de fragilidade ambiental associadas ao uso e cobertura da terra na área de estudo, onde se verifica, visivelmente, o predomínio do grau de fragilidade alta, tanto para o ano de 1985 quanto para 2023.

Figura 28: Uso e cobertura da terra na BHRF (1985) em função dos graus de fragilidade



Fonte: Dados da pesquisa. Organização: autora (2026).

Figura 29: Uso e Cobertura da terra na BHRF (2023) em função dos graus de fragilidade



Fonte: Dados da pesquisa. Organização: autora (2026).

Conforme apresentado na Tabela 12, a fragilidade do uso da terra na BHRF sofreu alterações significativas entre 1985 e 2023.

Tabela 12: Fragilidade do uso da terra na BHRF (1985 e 2023)

Valor	Grau de Fragilidade	Área 1985 (km²)	% 1985	Área 2023 (km²)	% 2023
1	Muito Baixa	34,05	4,90%	50,20	7,22%
2	Baixa	52,91	7,62%	30,24	4,35%
3	Média	0,57	0,08%	28,14	4,05%
4	Alta	228,07	32,83%	216,16	31,11%
5	Muito Alta	28,81	4,15%	19,68	2,83%
Total		344,41	100%	344,41	100%

Fonte: Dados da pesquisa. Organização: autora (2026).

Observa-se o aumento das áreas classificadas com muito baixa fragilidade (valor 1), que passaram de 34,05 km² (4,90%) em 1985 para 50,20 km² (7,22%) em 2023, indicando a ampliação de usos menos suscetíveis à degradação. Em contrapartida, as áreas de baixa fragilidade (valor 2) apresentaram redução expressiva, passando de 52,91 km² (7,62%) para 30,24 km² (4,35%).

Destaca-se ainda o crescimento marcante da classe de fragilidade média (valor 3), que praticamente inexistente em 1985 (0,57 km²; 0,08%), passou a ocupar 28,14 km² (4,05%) em 2023, evidenciando mudanças no padrão de uso e ocupação da terra. A classe de alta fragilidade (valor 4) manteve-se predominante ao longo do período, embora com leve redução, passando de 228,07 km² (32,83%) para 216,16 km² (31,11%).

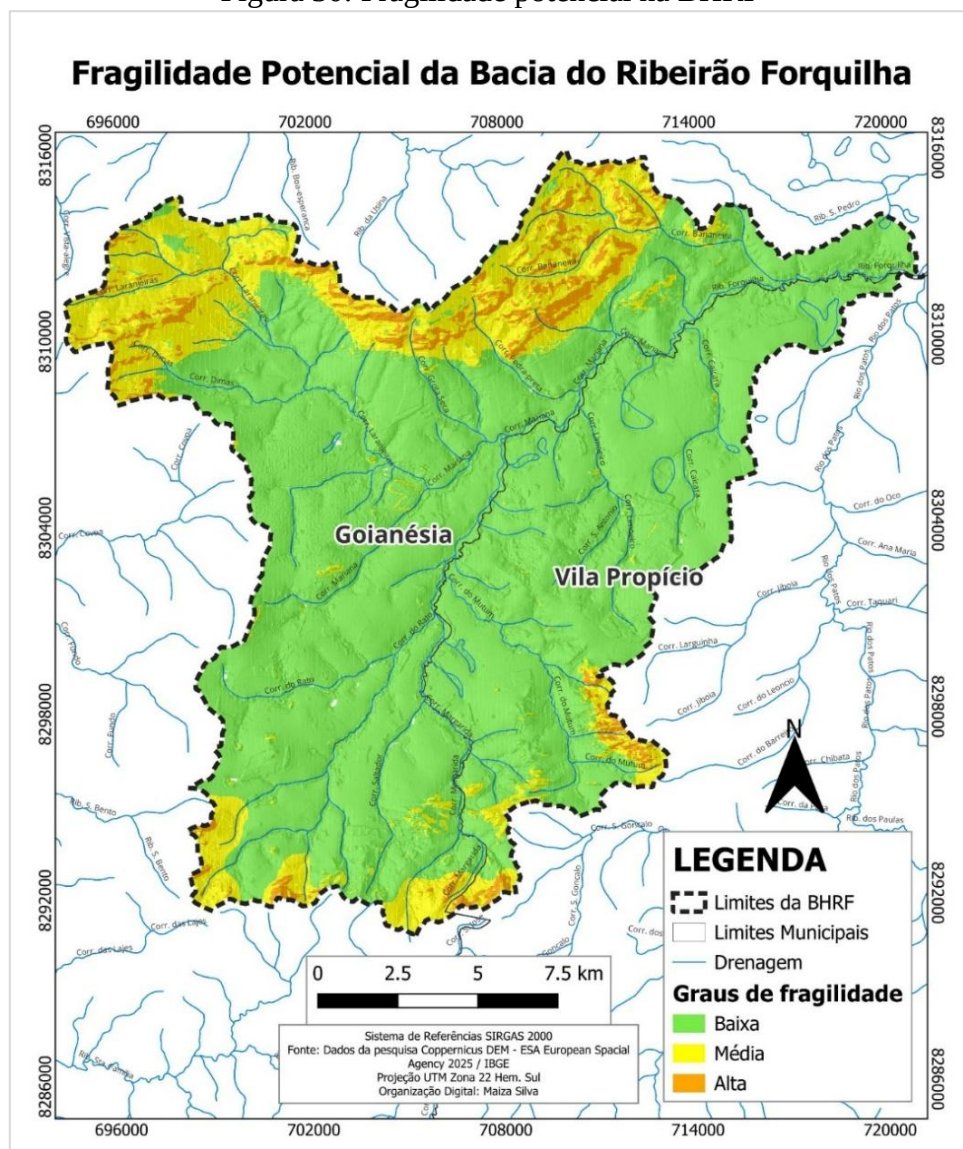
Por fim, as áreas classificadas como de muito alta fragilidade (valor 5) apresentaram diminuição tanto em extensão quanto em participação percentual, passando de 28,81 km² (4,15%) para 19,68 km² (2,83%). De modo geral, essas alterações refletem a dinâmica de transformação da paisagem na bacia, associada às mudanças no uso e ocupação da terra ao longo do período analisado.

5. FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO FORQUILHA

5.1. Fragilidade potencial

A distribuição da fragilidade potencial na área de estudo está diretamente relacionada às características intrínsecas do meio físico, especialmente à declividade, aos tipos de solo e à pluviosidade. O mapa da Figura 30 e a Tabela 12 apresentam a distribuição espacial da fragilidade potencial na área de estudo.

Figura 30: Fragilidade potencial na BHRF



Fonte: Dados da pesquisa. Organização: autora (2026).

Tabela 13: Distribuição das classes de fragilidade ambiental potencial na BHRF

Valor	Grau de Fragilidade	Área (km ²)	(%)
-------	---------------------	-------------------------	-----

2	Baixa	264,14	78,23%
3	Média	59,77	17,70%
4	Alta	13,74	4,07%
Total		337,65	100,00%

Fonte: Dados da pesquisa. Organização: autora (2026).

Houve predomínio de áreas de baixa fragilidade potencial, correspondendo a 78,23% da área total. Esse resultado está diretamente relacionado à presença de relevo plano a suavemente ondulado, associado ao domínio de Latossolos, que apresentam maior estabilidade estrutural e favorecem a infiltração da água, reduzindo o potencial de escoamento superficial e erosão.

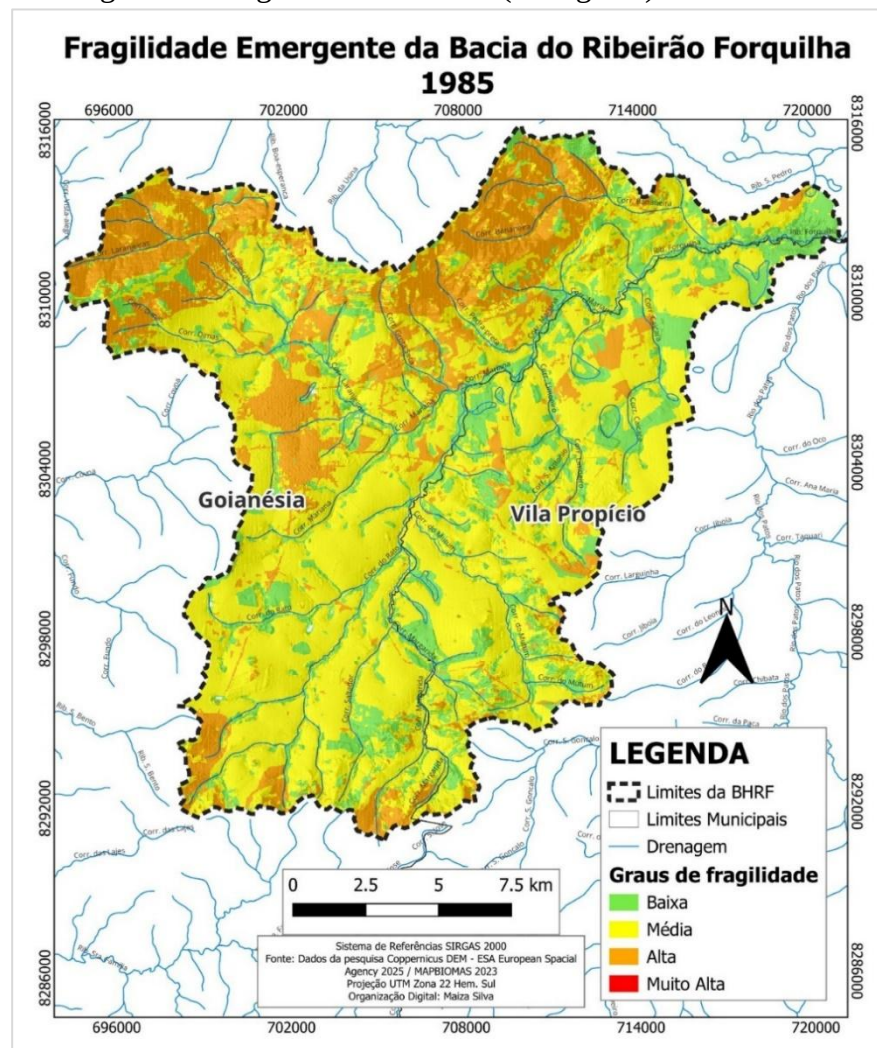
As áreas de fragilidade média (17,70%) e alta (4,07%) concentram-se, de modo geral, nas faixas onde há aumento da declividade associada à ocorrência de solos com maior suscetibilidade, coincidindo com as regiões das nascentes da bacia. Nessas áreas, destacam-se principalmente os Nitossolos, amplamente distribuídos nas porções de relevo mais acentuado, além dos Cambissolos, associados aos níveis mais elevados de fragilidade, devido à sua menor profundidade e maior vulnerabilidade à erosão.

Essa distribuição evidencia que a combinação entre declividades mais acentuadas e solos com limitações naturais constitui o principal fator responsável pela elevação dos níveis de fragilidade potencial na bacia. Tal configuração ressalta a importância do manejo conservacionista, principalmente na porção das nascentes, uma vez que a remoção da cobertura vegetal original pode acelerar processos erosivos em terrenos naturalmente vulneráveis.

5.2. Fragilidade ambiental (emergente)

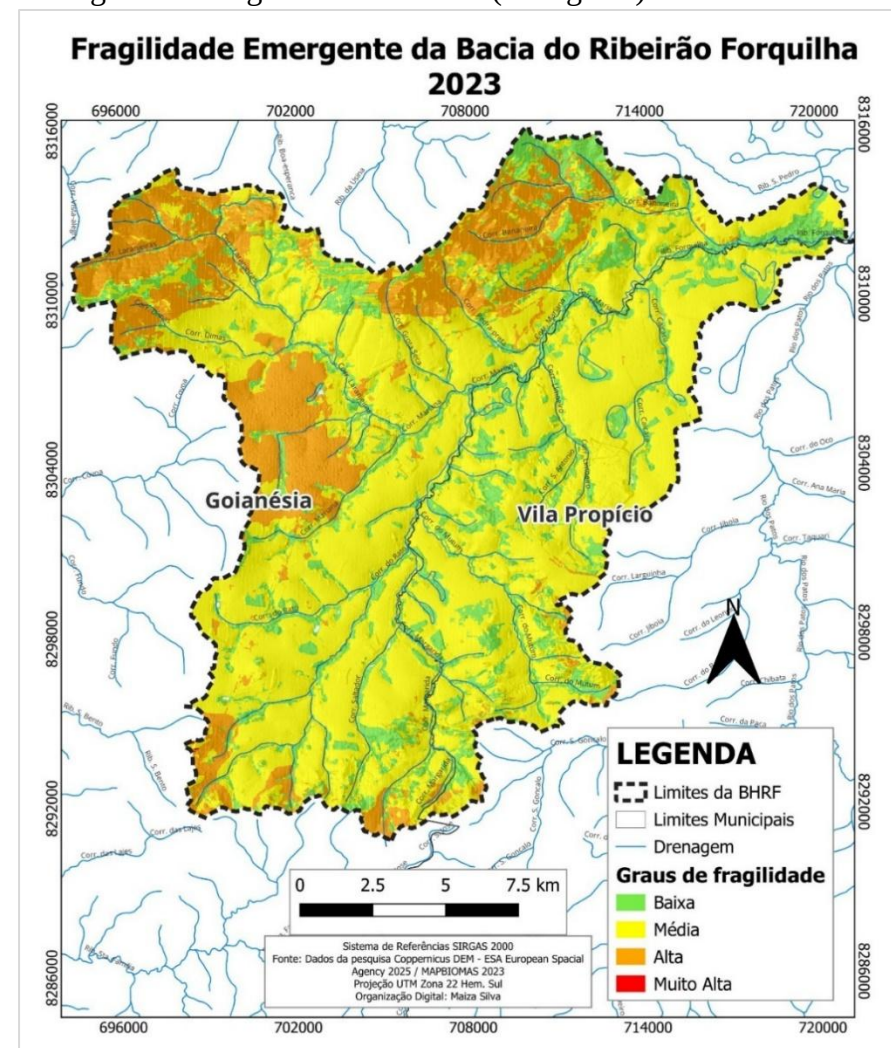
As Figuras 31 e 32 apresentam a distribuição da fragilidade ambiental (emergente) nos anos de 1985 e 2023, a qual se diferencia da fragilidade potencial devido à inclusão da variável uso e cobertura da terra. Essa abordagem permite observar como as atividades antrópicas alteram a susceptibilidade natural do meio, elevando ou não, o risco de degradação ambiental.

Figura 31: Fragilidade ambiental (emergente) na BHRF1985



Fonte: Dados da pesquisa. Organização: autora (2026).

Figura 32: Fragilidade ambiental (emergente) na BHRF 2023



Fonte: Dados da pesquisa. Organização: autora (2026).

A análise comparativa da fragilidade ambiental (emergente) entre os anos de 1985 e 2023 eleva alterações significativas na distribuição das classes de fragilidade na bacia. Observa-se uma redução das áreas de alta fragilidade, que declinam de 23% para 18%, enquanto ocorre um aumento das áreas de fragilidade média, de 56% para 62%. As áreas de baixa fragilidade apresentam uma leve redução, passando de 20% para 18%. A Tabela 14 detlha as classes com suas respectivas áreas e percentuais.

Tabela 14: Variação espaço-temporal da fragilidade ambiental (emergente) na BHRF (1985 e 2023)

Valor	Grau de Fragilidade	1985 (km²)	1985 (%)	2023 (km²)	2023 (%)
2	Baixa	68,36	20,25%	62,68	18,56%
3	Média	191,08	56,59%	212,07	62,81%
4	Alta	78,20	23,16%	62,89	18,62%
5	Muito Alta	0,02	0,01%	0,02	0,01%
Total		337,66	100%	337,66	100%

Fonte: Dados da pesquisa. Organização: autora (2026).

A presença da classe ‘outras áreas não vegetadas’ no mapeamento de uso e cobertura do ano de 1985 (Figura 15) pode ter contribuído para uma superestimação dos níveis de fragilidade em determinadas áreas da bacia. Isso ocorre porque tal categoria é tecnicamente associada a uma proteção nula ou reduzida do solo, o que eleva o grau de fragilidade ambiental. No entanto, essa classificação pode refletir especificamente as variações sazonais das épocas de plantio e colheita (Ross, 1994; Crepani et al., 2001).

Ao analisar o cenário mais recente (2023), observa-se que parte dessas áreas foi incorporada a novos usos, relacionados principalmente à agricultura e à pastagem. Essa mudança, embora altere a classificação da fragilidade em alguns casos, não representa necessariamente uma melhoria das condições ambientais, uma vez que tais usos continuam exercendo pressão sobre o solo e o meio físico.

Ademais, conforme Crepani et al. (2008), a vulnerabilidade ambiental está intrinsecamente ligada à capacidade de proteção do solo; portanto, a substituição de uma área ‘não vegetada’ por uma cultura cíclica mantém a área em um estado de equilíbrio instável, sujeita a variações sazonais de fragilidade durante os períodos de manejo e colheita.

Dessa forma, verifica-se que essas áreas tendem a manter níveis intermediários a elevados de fragilidade, indicando que a dinâmica de uso da terra promoveu, em alguns casos,

as áreas de baixa fragilidade permanecem associadas, em sua maioria, à presença de cobertura vegetal remanescente, especialmente ao longo dos cursos d'água. Tal cenário, evidencia a importância dessas formações na proteção do solo e na manutenção da estabilidade ambiental da bacia.

Nos dois recortes temporais, é possível perceber o impacto da classe 'área urbana' na elevação dos níveis de fragilidade ambiental. Áreas anteriormente associadas a baixos níveis de fragilidade, especialmente aquelas com cobertura vegetal original, passam a apresentar alta fragilidade quando ocupadas por uso urbano, independentemente das condições de relevo. Esse comportamento está relacionado à impermeabilização do solo e à consequente redução da infiltração da água, fatores que intensificam o escoamento superficial e a suscetibilidade tanto a processos erosivos quanto a eventos hidrológicos extremos.

Além disso, a expansão urbana traz demandas que interferem diretamente na dinâmica ambiental da bacia como um todo, como o gerenciamento de resíduos sólidos, o licenciamento e o controle de empreendimentos econômicos, bem como, a instalação de infraestrutura, a exemplo das redes de transmissão de energia (Figuras 33; 34 e 35). Essas diferentes formas de intervenção estão associadas ao processo de ocupação do território e resultam em uma maior pressão sobre os recursos naturais, exigindo estratégias de planejamento urbano que considerem a capacidade de suporte do meio físico com as necessidades de expansão econômica dos municípios em que a BHRF está inserida.

Figura 33: Deposição irregular de resíduos da construção civil nas proximidades do córrego Laranjeiras, na BHRF



Fonte: Autora (2024)

Figura 34: Linha de transmissão de energia elétrica na BHRF, em área de uso agropecuário



Fonte: Autora (2024)

Figura 35: Implantação de unidade industrial (Frico) na BHRF: (A) fase inicial de construção; (B) estágio avançado de instalação



Fonte: Autora (2024).

Na porção sudeste, destaca-se a ocorrência de áreas que, embora apresentem fragilidade potencial alta, apresentam comportamento atenuado em função da presença de fitofisionomias savânicas, cuja cobertura vegetal integra a dinâmica natural do Cerrado, contribuindo para a estabilidade ambiental e conservação dos solos (Ab'Sáber, 2003).

Outro aspecto que merece atenção refere-se à conversão de áreas e à supressão da vegetação nativa, observada em setores da bacia naturalmente mais vulneráveis. Conforme ilustrado na Figura 36, nota-se essa substituição da cobertura vegetal remanescente por usos agropecuários, caracterizada pela fragmentação dos remanescentes vegetais e pelo desmatamento em áreas de encostas.

Tal processo é preocupante, uma vez que a cobertura vegetal desempenha papel fundamental na proteção do solo, atuando na interceptação das precipitações, na redução do escoamento superficial e na manutenção do equilíbrio ambiental, sendo sua remoção um fator que intensifica a suscetibilidade à degradação.

Figura 36: Supressão de vegetação nativa associada à expansão agropecuária na BHRF



Fonte: Autora (2024).

Embora essa área já se insira em um setor de alta fragilidade ambiental, a continuidade desse processo tende a intensificar ainda mais os níveis de degradação, uma vez que a supressão vegetal contínua reduz a proteção do solo e potencializa a ocorrência de processos erosivos.

No que se refere aos recursos hídricos, destaca-se o uso intensivo da água nas atividades agrícolas, especialmente por meio de sistemas de irrigação por pivô central (Figura 37). Essa prática de uso evidencia a dependência da produção local em relação à disponibilidade hídrica da bacia, o que pode gerar escassez durante períodos de seca extrema.

Figura 37: Área agrícola com sistema de irrigação na BHRF



Fonte: Autora (2024).

A redução da cobertura vegetal também contribui diretamente para a degradação dos recursos hídricos, ao diminuir a infiltração da água e aumentar o escoamento superficial. Assim, tanto o uso intensivo quanto a perda de vegetação intensificam a pressão sobre os recursos hídricos. Tal cenário reflete a necessidade premente de conservação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) para garantir a recarga dos aquíferos e a perenidade dos cursos d'água na bacia.

Apesar das especificidades entre as áreas analisadas, os resultados obtidos nesta pesquisa apresentam convergência com os observados por Silva (2023), especialmente quanto à preeminência do relevo na definição dos níveis de fragilidade. Essa consonância reforça a consistência dos procedimentos metodológicos adotados e a confiabilidade dos mapeamentos gerados, para a análise proposta em escala regional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do Ribeirão Forquilha apresenta condições naturais favoráveis ao desenvolvimento das atividades agropecuárias, especialmente em função do relevo predominantemente plano a suavemente ondulado e da presença de Latossolos, que, quando manejados adequadamente, apresentam elevada aptidão agrícola. A disponibilidade hídrica também contribui para essa dinâmica produtiva. No entanto, a intensificação do uso do solo, associada à retirada da vegetação nativa, tem aumentado a pressão sobre os recursos naturais, podendo comprometer a qualidade dos solos e dos corpos hídricos, além de favorecer a ocorrência de processos erosivos.

A análise da dinâmica de uso e cobertura da terra evidenciou a consolidação das atividades agropecuárias ao longo do período de 1985 a 2023, com destaque para o município de Goianésia (GO), impulsionado principalmente pelo setor sucroenergético e pela diversificação produtiva, como a expansão da cana-de-açúcar, da soja e da seringueira. Esse processo promoveu uma reorganização da paisagem, marcada pela intensificação e maior distribuição espacial das atividades antrópicas na bacia.

Em relação à fragilidade ambiental, a fragilidade potencial apresentou predominância de níveis intermediários, refletindo principalmente as características naturais da bacia, com destaque para a influência da declividade e dos solos. Já a fragilidade ambiental (emergente) evidenciou de forma mais clara a influência do uso e cobertura da terra, representando a condição atual da bacia.

A comparação entre os anos de 1985 e 2023 demonstrou mudanças na configuração da fragilidade ambiental, com aumento das áreas de fragilidade média e redução das classes extremas. Esse comportamento indica uma tendência de homogeneização da fragilidade, relacionada à expansão e à distribuição mais uniforme das atividades antrópicas, que passaram a exercer papel decisivo na definição da fragilidade ambiental.

Além disso, os resultados evidenciam que a conversão da vegetação nativa para áreas agrícolas não implica, necessariamente, redução da fragilidade ambiental. Conforme Crepani et al. (2008), a vulnerabilidade ambiental está diretamente relacionada à capacidade de proteção do solo. Assim, a substituição de áreas naturais por culturas cíclicas mantém o ambiente em um estado de equilíbrio instável, sujeito a variações sazonais de fragilidade decorrentes das etapas de preparo do solo, cultivo e colheita. Dessa forma, verifica-se que essas áreas tendem a permanecer enquadradas em níveis intermediários a elevados de fragilidade ambiental. Em contrapartida, as áreas classificadas com baixa fragilidade permanecem associadas, em sua

maioria, aos remanescentes de vegetação nativa, especialmente ao longo dos cursos d'água, evidenciando a importância dessas formações na proteção do solo, na conservação dos recursos hídricos e na manutenção da estabilidade ambiental da bacia.

Dessa forma, observa-se que, embora a bacia apresente condições naturais favoráveis ao desenvolvimento das atividades agropecuárias, o uso intensivo do solo tem potencial para intensificar processos de degradação, especialmente nas áreas mais suscetíveis. A continuidade da expansão agropecuária e o crescimento urbano tendem a ampliar essa pressão, tornando essencial a adoção de práticas de manejo e conservação, como o controle da erosão, a manutenção da cobertura vegetal e o planejamento adequado do uso da terra.

A fragilidade ambiental (emergente), portanto, representa a condição atual da bacia, expressando a integração entre os fatores naturais e a ação humana. Nesse sentido, os níveis de fragilidade identificados refletem não apenas uma suscetibilidade potencial, mas a realidade ambiental da área no período analisado.

Por fim, a metodologia adotada mostrou-se adequada para a análise da fragilidade ambiental na bacia, permitindo identificar padrões coerentes com a dinâmica observada. No entanto, por se tratar de uma aplicação ainda não realizada anteriormente na área de estudo, os resultados devem ser entendidos como um primeiro esforço de interpretação.

Nesse contexto, destaca-se a importância da realização de trabalhos de campo voltados à verificação de processos erosivos, das condições de uso do solo e do estado de conservação da cobertura vegetal, de modo a validar e, se necessário, ajustar a aplicação da metodologia. Assim, os resultados apresentados não encerram a análise da fragilidade ambiental da bacia, mas constituem uma base para estudos futuros e para o aprimoramento das avaliações da fragilidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALMEIDA, M. G. de. A captura do cerrado e a precarização de territórios: um olhar sobre sujeitos excluídos. In: ALMEIDA, M. G. de (Org.). **Tantos cerrados**: múltiplas abordagens sobre a biogeodiversidade e singularidade cultural. Goiânia: Vieira, 2005. p. 321-347.

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, M. J. C. Degradação ambiental e transformação da paisagem: uma análise do processo de desmatamento no sítio Água Doce, Olivedos/PB.. 2020. 56 f. **trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia)**.- Universidade Estadual da Paraíba, Campina grande, 2020.

ÁVILA, Silvia Regina Starling Assad de. Efeitos sócio-econômicos da expansão da cana-de-açúcar no Vale do São Patrício. 2009. 119 f. **Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade de Brasília**, Brasília, 2009.

BERTRAND, Georges et al. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. São Paulo: USP, 1972.

BORGES, Wesley Vieira. Expansão canavieira e os reflexos socioeconômicos no município de Goianésia (GO), 1970-2010. 2015.

CAMPOS, Washington Pereira; CALIARI, Márcio; SILVEIRA, Marina Aparecida da. Implicações da expansão do cultivo da cana-de-açúcar sobre o município de Goiatuba. 2014.

CREMON, Édipo Henrique et al. Avaliação da altimetria do MDE COP-30 no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 3, p. 536-546, 2022.

CREPANI, E. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em; < <http://www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/CrepaneEtAl.pdf>> Acesso: 07 abr. 2026.

CREPANI, E. et al. Zonzamente ecológico-econômico. In: FLOREZANO, T. G. (org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2008. p. 285 - 318.

DA FONSECA, Camilla Siqueira; DO AMARAL, Viviane Souza; NAVONI, Julio Alejandro. Impacto antrópico nos recursos hídricos do estado do rio grande do norte: uma análise geoespacial de vulnerabilidade ambiental. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 46, p. 49-67, 2024.

DE CARVALHO, Guilherme Oliveira Teixeira; SALVIO, Geraldo Majela Moraes; DO AMARAL FIGUEIREDO, Múcio. Vulnerabilidade e fragilidade ambiental em unidades de conservação: uma revisão sistemática. **Caderno de Geografia**, v. 35, n. 81, p. 611-611, 2025.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília, (DF): Embrapa, 2013, 353 p. <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: maio de 2022.

ESTEVAM, Luis Antonio. O tempo da transformação: estrutura e dinâmica na formação econômica de Goiás. 1997. **Tese de Doutorado**. [sn].

FURTADO, Adriano César. Fragilidade ambiental da alta bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte (Goiás) e conflitos pelo uso da água. 2023. Dissertação de Mestrado. **Universidade Estadual de Goiás** (Brazil).

GIMENES, Filipe BQ; AUGUSTO FILHO, Oswaldo. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 16, p. 6564-6571, 2013.

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.

GUIMARÃES, Felipe Silva et al. Uma proposta para automatização do Índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2017.

HERCULANO, Rosana Márcia da Costa Silva. Unidades de paisagem e fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Uru (Goiás). 2021. Dissertação de Mestrado. **Universidade Estadual de Goiás** (Brazil).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/> Acesso em: Maio/2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/> Acesso em: Set/2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 05/2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Introdução ao Geoprocessamento. São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: 29 de março de 2026.

J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74. 1994.

KAWAKUBO F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHUARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização Empírica da Fragilidade Ambiental Utilizando Geoprocessamento. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, jun. 2005

LIMA, J. E. F. W. **Situação e perspectivas sobre as águas do Cerrado. Ciência e Cultura**,

São Paulo, v. 63, n. 3, p. 27-29, jul. 2011.

LORANDI, Reinaldo; CANÇADO, Cláudio Jorge. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus, BA: **Editus**, p. 37-65, 2002.

LUCENA, Igor Brandão de. Análise comparativa entre o modelo de fragilidade ambiental urbana e o modelo de vulnerabilidade natural à perda de solo na bacia do Ribeirão Anicuns, Goiânia-GO. 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – **Universidade Federal de Goiás**, Goiânia, 2020.

Manual técnico de pedologia. In: **Manuais técnicos em Geociências**. 2ª ed. 2007.

MAPBIOMAS. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: maio de 2023.

MARQUES, Karina Mondini et al. A logística de transporte da cana- de-açúcar como uma especificidade da logística geral aplicada ao setor sucro alcooleiro. **Intertem@** s ISSN 1677-1281, v. 13, n. 13, 2007.

MARQUES, Karina Mondini et al. A logística de transporte da cana-de-açúcar como uma especificidade da logística geral aplicada ao setor sucroalcooleiro. **Intertem@s**, Presidente Prudente, v. 13, n. 13, 2007.

MÁRQUEZ, Laura Andreina Matos. Dinâmica de uso e cobertura dos solos do município Silvânia (1985–2020). **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 8, n. 24, p. 113–120, 2021.

MORAES, Juliana Maceira. Geodiversidade do estado de Goiás e do Distrito Federal. CPRM 2014

MORAIS, F. D. **Infiltração – uma variável geomorfológica**. Caderno de Geografia, Belo Horizonte, v. 22, n. 38, p. 73-87, 2012.

município de planaltina de goiás. **Geotemas**, v.3, n.1, p. 111 – 123, 2013.

NEVES, Alana Kasahara et al. Assessment of TerraClass and MapBiomas data on legend and map agreement for the Brazilian Amazon biome. **Acta Amazonica**, v. 50, n. 2, p. 170-182, 2020.

OLIVEIRA JÚNIOR, José Galdino de et al. Validação espaço-temporal do CHIRPS para detecção de eventos extremos de precipitação no semiárido nordestino brasileiro. In: **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2023.

OLIVEIRA, Antônia Vilaneide Lopes Costa de. Análise da fragilidade ambiental de paisagens semiáridas do Rio Grande do Norte, Brasil. 2020.

OLIVEIRA, Daniela Almeida; PIETRAFESA, José Paulo; DA SILVA BARBALHO, Maria Gonçalves. Manutenção da biodiversidade e o hotspots cerrado. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 26, p. 101-114, 2008.

OLIVEIRA, E. S. Estudo preliminar sobre a evolução do uso e ocupação do solo no

PACHECO, Fellipe Fazionato; CASTRO, José Flávio Moraes. Fragilidade ambiental como instrumento de planejamento ambiental em Unidades de Conservação: o caso da APA Serra da Piedade–MG. **Entre-Lugar**, v. 13, n. 25, p. 117-152, 2022.

Patrício, estado de Goiás: ocupação, aspectos históricos e ambientais. *Anais SNCMA*, 5. 2014.

PEREIRA NETO, Manoel Cirício. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB Brasil). 2013.

PEREIRA, Marcelo; CRISTO, Sandro. Aplicação de técnicas de geoprocessamento na análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçuzinho, Palmas (TO). **Geoambiente On-line**, n. 40, 2021.

PIRES, José Salatiel Rodrigues; SANTOS, JE dos; DEL PRETTE, Marcos Estevan. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus: **Editus**, p. 17-35, 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIANÉSIA. Disponível em <https://goianesia.go.gov.br> Acesso em: Maio de 2022.

RIBEIRO, José Felipe et al. *Ecologia e flora*. 2008.

RODRÍGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente; LEAL, Antonio Cezar. Planejamento ambiental em bacias hidrográficas. *Planejamento ambiental e bacias hidrográficas*, v. 1, p. 29-47, 2011.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ecossistemas naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, USP, S. Paulo, n. 8, 1994.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. *Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, B. V. Mapeamento do uso e ocupação do solo entre 1995 e 2015. 2018. **Repositório Digital Institucional da Associação Educativa Evangélica RDI-AEE**, 22 p., 2018.

SANTOS, Milton. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. **Edusp**, 2002.

SIDRA/IBGE – Banco de Tabelas Estatísticas. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 13/09/2023.

SILVA, A. B.; SANTOS, C. D. Dinâmicas econômicas e transformações territoriais no Vale do São Patrício. Goiânia: **Editora UFG**, 2021.

SILVA, Samara Gonçalves. *Dinâmica do uso e ocupação do solo na bacia do rio dos patos-Go*. 2020.

SILVA, V. P. R.; SANTOS, C. A. C.; ALVES, J. M. B. Tendência de chuvas em Goiás. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 6, n. 12, p. 123–135, 2012.

SILVA, E. M. Análise da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jatobá, MS. 67 p.

SILVEIRA, Ramon da Conceição. Qualidade Físico-Química da Água do Ribeirão Forquilha. 2019.

SOUZA JR, Carlos M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020.

SOUZA, A. P. et al. Avaliação do desempenho do CHIRPS na estimativa de precipitação no Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2020.

SOUZA, Jorge Batista de. Proposta metodológica para mapeamento de fragilidade ambiental: estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, MG. 2021. 217 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

SOUZA, ZM de; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 133-139, 2003.

SPRÖL, Christiane; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Comparative analysis of environmental fragility by applying three models. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 8, n. 1, p. 39-49, 2004.

STEFFEN, Carlos Alberto. Introdução ao sensoriamento remoto. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2006. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br>. Acesso em 29 de março de 2026.

TRICART, Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN), 1977.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais São José dos Campos: INPE**, 2005. p. 3595–3602.

VALLE, L.; SILVA, S. B. P.; FERREIRA, R. M.; CASTRO PEIXOTO, J. Vale do São

VESPUCCI, Ariel Godinho et al. Análise da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio das Almas, GO. 2020. Dissertação de Mestrado – **Repositório Universidade Federal de Goiás**. p. 46

VILAÇA, Marina Freitas et al. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: O estudo de caso do ribeirão conquista no município de Itaguara/MG. **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, v. 13, 2009.