

# MODELAGEM DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA ALTA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE (GOIÁS)

Adriano César Furtado<sup>1</sup>

Janete Rego Silva<sup>2</sup>

José Carlos de Souza<sup>3</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma modelagem de fragilidade ambiental para a alta bacia hidrográfica do Rio Meio Ponte, que está localizada à montante da região metropolitana de Goiânia, no estado de Goiás. O seu território é composto por onze municípios e compreende uma área aproximada de 1674,07 Km<sup>2</sup>. Na modelagem foi gerada a fragilidade potencial com o cruzamento das variáveis declividades, tipos de solos, totais de chuva e geologia. A fragilidade emergente foi gerada por meio da fusão da fragilidade potencial com o uso e cobertura da terra. Os resultados indicaram que as características geológicas, geomorfológicas e pedológicas contribuem para a estabilidade ambiental da bacia. No entanto, os totais de chuva associados a dinâmica de uso da terra, elevam os níveis de fragilidade emergente para moderada a alta, em 80% da área, indicando a necessidade de implementar medidas conservacionistas nas pastagens e cultivos agrícolas, que são atividades dominantes na bacia, para mitigar os impactos nos solos e recursos hídricos.

**Palavras-Chaves:** Fragilidade potencial, Fragilidade emergente, Agropecuária, Cerrado.

## MODELING ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN THE UPPER BASIN OF THE MEIA PONTE RIVER (GOIÁS)

## ABSTRACT

The aim of this work was to develop environmental fragility modeling for the upper river basin of the Meia Ponte River, which is located upstream of the metropolitan region of Goiânia, in the state of Goiás. Its territory is made up of eleven municipalities and covers an area of approximately 1674.07 km<sup>2</sup>. In the modeling, potential fragility was generated by crossing the variables slopes, soil types, rainfall totals and geology. Emerging fragility was generated

<sup>1</sup>Mestre em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás - UEG, Secretaria Estadual de Educação de Goiás, Email: [adriano.geografia84@yahoo.com.br](mailto:adriano.geografia84@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Goiás - UFG, professora da Universidade Estadual de Goiás - UEG, Email: [janete.silva@ueg.br](mailto:janete.silva@ueg.br)

<sup>3</sup>Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista -ICT/Unesp, professor da Universidade Estadual de Goiás - UEG , Email: [jose.souza@ueg.br](mailto:jose.souza@ueg.br)

through the fusion of potential fragility with land use and land cover map. The results indicated that the geological, geomorphological and pedological characteristics contribute to the environmental stability of the basin. However, rainfall totals associated with land use dynamics raise emerging fragility levels to moderate to high, in 80% of the area, indicating the need to implementing conservation measures in pastures and agricultural, which are dominant activities in the basin, to mitigate impacts on soil and water resources.

**Keywords:** Potential fragility, Emerging fragility, Agriculture, Pasture, Cerrado.

## MODELACIÓN DE LA FRAGILIDAD AMBIENTAL EN LA ALTA CUENCA DEL RÍO MEIA PONTE (GOIÁS)

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelamiento de fragilidad ambiental para la cuenca hidrográfica alta del río Meia Ponte, que se encuentra arriba de la región metropolitana de Goiânia, en el estado de Goiás. Su territorio está compuesto por once municipios y comprende una superficie aproximada de 1674,07 km<sup>2</sup>. En el modelado, la fragilidad potencial se generó al cruzar las variables pendientes, tipos de suelo, precipitaciones totales y geología. La fragilidad emergente se generó a través de la combinación de fragilidad potencial con el uso y la cobertura del suelo. Los resultados indicaron que las características geológicas, geomorfológicas y edafológicas contribuyen a la estabilidad ambiental de la cuenca. Sin embargo, las precipitaciones totales asociadas con la dinámica del uso de la tierra aumentan los niveles de fragilidad emergente de moderados a altos, en el 80% del área, lo que indica la necesidad de implementar medidas de conservación en pastos y cultivos agrícolas, que son actividades dominantes en la cuenca, para mitigar los impactos en recursos suelo y agua.

**Palabra-clave:** Fragilidad potencial, Fragilidad emergente, Agricultura, Cerrado

### INTRODUÇÃO

Fragilidade ambiental tem se tornado um importante conceito na aplicação de modelagens ambientais, visando à elaboração de cenários da transformação da paisagem, provocadas pela dinâmica de uso da terra e produção do espaço geográfico. E as aplicações destas modelagens se voltam principalmente para ações mitigadoras nas áreas produtivas e a definição de áreas prioritárias para a conservação e/ou preservação ambiental, contribuindo para a manutenção da integridade e sustentabilidade dos geoambientes.

Geralmente, as modelagens de indicadores de fragilidade são aplicadas a sistemas ambientais, como bacias hidrográficas, com vistas à orientação de ações de intervenção e gestão ambiental de forma ambientalmente sistêmica. Dando assim, suporte a práticas de manejo que mitiguem os processos de degradação ambiental de áreas antropizadas (GUIMARAES; SOUZA, 2023).

Ross (1994, 2012), Amaral e Ross (2009) e Massa e Ross (2012) apresentam uma abordagem acerca da fragilidade ambiental do ponto vista conceitual e metodológico. Conceitualmente, estes autores entendem que a fragilidade ambiental pode ser potencial, quando se considera os aspectos físico-naturais do ambiente, e pode ser emergente, quando se considera o processo de antropização do espaço. Sendo assim, entende-se que a fragilidade pode ser genética e inerente ao equilíbrio dinâmico dos ambientes, mas pode ser potencializada pelas intervenções humanas, que são cada vez mais intensas e complexas, em função do desenvolvimento econômico e tecnológico.

Baseadas na proposta de Ross (1994) e com a finalidade de aprimoramento do modelo, outras modelagens estão sendo elaboradas. Estas novas modelagens passaram a utilizar um número maior de variáveis, especialmente de caráter físico-natural, e também a aplicar métodos matemáticos ou geoestatísticos na manipulação e tratamento dos dados. Como exemplo destas novas abordagens podemos citar os trabalhos de Lira, Francisco e Feiden (2022) e Amorim et al., (2021) que ampliaram as variáveis e aplicaram lógica fuzzy e método multicritério AHP (método de análise hierárquica).

Segundo Kawakubo (2005), o estudo de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na gestão e planejamento de uma bacia hidrográfica. O mesmo autor reforça que o estudo de fragilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada. Para Franco et al. (2013), o mapeamento da fragilidade ambiental permite definir áreas mais frágeis e que merecem maior atenção. Os autores reforçam que o grau de um impacto sobre o equilíbrio de um sistema, dependendo do tipo de intervenção, pode ser maior ou menor em função das características intrínsecas do ambiente, ou seja, de sua fragilidade ambiental.

Assim, este artigo teve como objetivo desenvolver uma modelagem de fragilidade ambiental para a alta bacia hidrográfica do Rio Meio Ponte, a partir da elaboração de indicadores de fragilidade potencial, considerando o ambiente natural e fragilidade emergente, associando os aspectos físico-naturais à dinâmica de uso da terra.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

A Alta Bacia do Rio Meia Ponte está localizada na região central do estado de Goiás e seu território é composto por onze municípios: Brazabrantes, Caturaí, Damolândia, Goiânia, Goianira, Inhumas, Itauçu, Nerópolis, Nova Veneza, Ouro Verde de Goiás e Santo Antônio de Goiás, (Figura 1). A bacia possui 1.674,07 Km<sup>2</sup> e se posiciona entre coordenadas geográficas 16° 06' e 16° 36' Sul e 49° 42' e 49° 06' Oeste. A alta bacia compõe a cabeceira de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, que por sua vez faz parte da Região Hidrográfica do Rio Paraná. O rio Meia Ponte percorre 60 km até à capital Goiânia e segue no sentido sul até sua foz Rio Paranaíba, perfazendo um percurso de 471,6 km (GOIÁS, 2015).

Figura 1 – Localização da Alta Bacia do Rio Meia Ponte.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

### Aplicação da modelagem

A avaliação da fragilidade ambiental, consistiu em analisar as seguintes variáveis: precipitação, geologia, declividade, tipos de solos, uso e cobertura da terra. Foram atribuídos valores de 1 a 5, que correspondem às classes de fragilidade baixa, muito baixa, moderada, alta e muito alta, de acordo com a proposta metodológica de Ross (1994). Foi utilizado o processo de rasterização, que consiste em converter uma base vetorial em raster. Além disso, produziu-se um mapa de fragilidade ambiental a partir da integração das variáveis, com a ferramenta calculadora raster do software QGIS, versão 3.28.

Para a avaliação da fragilidade ambiental, em relação aos totais de chuva, foram utilizados dados da média histórica entre os anos de 1991 a 2019, da plataforma Hidroweb da

Agência Nacional das Águas (ANA, 2023) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023). Em função da ausência de alguns dados mensais, foi aplicada uma equação de interpolação proposta por Moore (2007).

$$\text{IDW local mean} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\text{value}_i}{(\text{dist}_i)^n}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(\text{dist}_i)^n}}$$

(Equação 1)

Na alta bacia, somente os municípios de Goiânia, Inhumas e Ouro Verde de Goiás possuem estações pluviométricas, assim foram levantados os dados destes municípios para geração do mapa de chuvas. Isso se deu por meio do método de interpolação IDW (Inverso da Distância Ponderada).

Na caracterização das unidades geológicas foi gerado o mapa a partir da base de dados vetorial, elaborada pela Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás e que está disponível na plataforma do Sistema Estadual de Geoinformação (<https://goias.gov.br/imb/sistema-estadual-de-geoinformacao>). As unidades geológicas foram classificadas em níveis de fragilidade de acordo com a estrutura de litológica superficial e com base na literatura.

O mapa de solos foi gerado a partir da base cartográfica elaborada pela Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária - EMATER-GO, disponível na plataforma do Sistema Estadual de Geoinformação. A caracterização dos solos mapeados foi feita com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (EMBRAPA, 2006) e Reatto et al., (2008).

As declividades foram mapeadas por meio do Modelo Digital de elevação Topodata/INPE (INPE, 2023). De acordo com a proposta de Ross (1994), as declividades foram classificadas por graus de fragilidade. No mapeamento do uso e cobertura da terra para 2021 foram utilizados dados da coleção 7 do Projeto MapBiomas. As bases foram adquiridas na plataforma *Google Earth Engine*, disponível em: <https://code.earthengine.google.com>.

A Fragilidade Ambiental Potencial (FAP) foi determinada pelo tipo de solo, declividade, totais de chuva e geologia. Para a obtenção da fragilidade emergente (MFE) foram cruzadas a

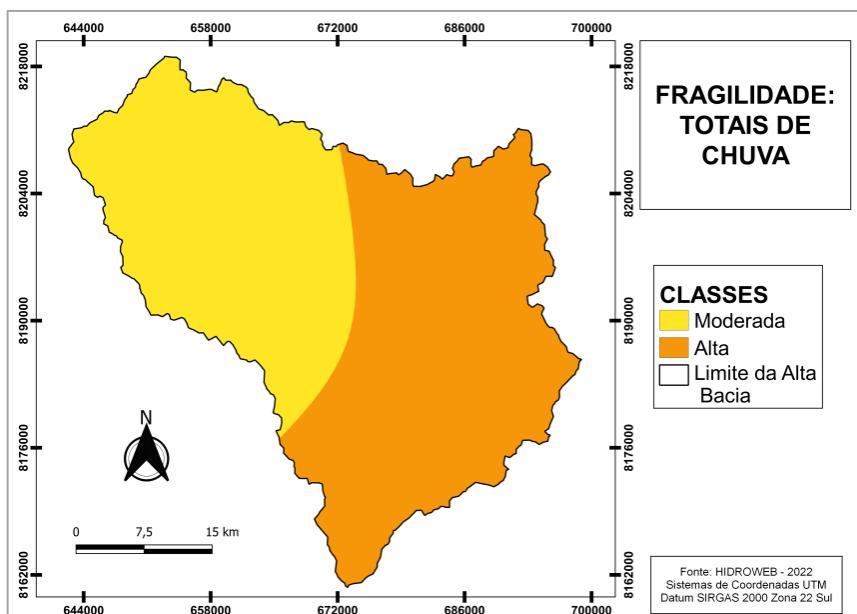
carta de fragilidade potencial com a carta de grau de proteção em relação ao uso e ocupação da terra.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Fragilidade em relação à precipitação pluviométrica

De acordo com os dados da ANA (2023) e INMET (2023), as médias anuais de precipitação considerando o período de 1991 a 2019, para a estações pluviométricas de Goiânia, Inhumas e Ouro Verde de Goiás, foram respectivamente, 1527,61mm, 1057,30 mm e 1520,30 mm. Esses dados foram interpolados e estão especializados no mapa da figura 2 e descritos na tabela 1, de acordo com os níveis de fragilidade propostos por Ross (2012). Os resultados indicam que a fragilidade da bacia em relação às precipitações, apresenta-se como moderada na porção oeste, com volumes entre 1052 a 1300 mm/ano. Isso compreende uma área de 750,36 Km<sup>2</sup> e, em percentual, corresponde a 48,8% da área. A alta fragilidade ocorre na porção leste da bacia, com concentração de chuvas acima de 1500 mm/ano, abrangendo uma área de 923,71 Km<sup>2</sup>, 51,2%.

**Figura 2 – Mapa de fragilidade em relação aos totais de chuva.**



Fonte: Hidroweb, 2023.

**Tabela 1 – Classes de Fragilidade Pluviométrica**

Atributos	Classes de Fragilidades	Características	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)
3	Moderada	Precipitação anual distribuída de forma desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno. No verão com maiores intensidades de dezembro a março, com volumes de 1300 a 1800 mm/ano.	750,36	48,8
4	Alta	Distribuição pluviométrica anual desigual, com período seco, entre 3 e 6 meses, grande concentração de chuvas no verão, entre novembro e abril, ocorre 70% a 80% do total pluviométrico, com volumes de 1600 a 1800 mm/ano.	923,71	51,2
TOTAL			1.674,07	100

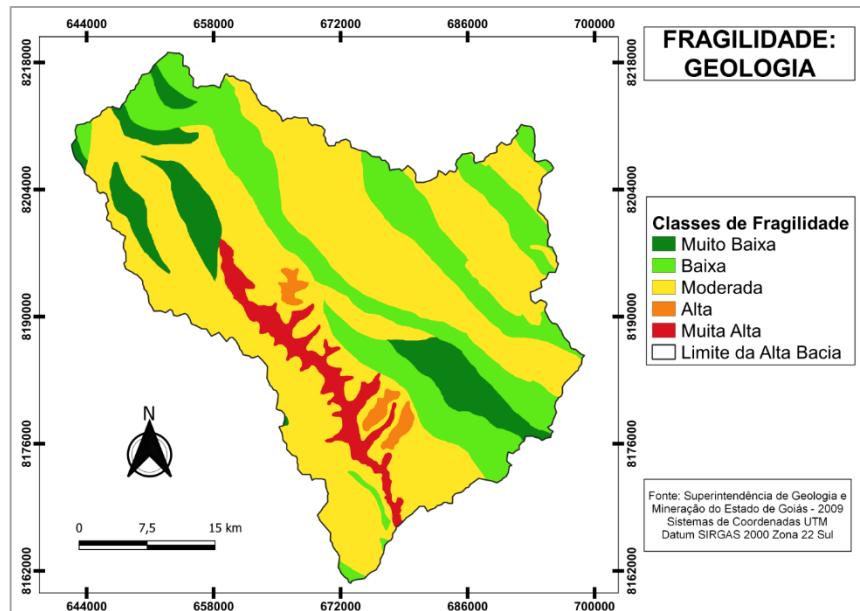
Fonte: Ross (2012). Organizado pelos autores, 2024.

É importante observar que a classificação dos totais de chuva e sua relação com a fragilidade ambiental está diretamente relacionada ao potencial que a chuva tem em provocar alterações nos solos e recursos hídricos, especialmente em áreas antropizadas. Assim, Ross (2012) propôs cinco classes que variam de muito baixa a muito alta, sendo que na bacia, em função da sazonalidade e totais de chuva, se enquadrou entre moderada a alta.

### **Fragilidade ambiental em relação às unidades geológicas**

Na figura 3 é apresentada as classes de fragilidade das unidades geológicas da bacia e na Tabela 2 a descrição das classes. A classificação e caracterização das unidades geológicas levou em consideração as litologias de superfície.

**Figura 3 – Mapa de fragilidade das unidades geológicas.**



Fonte: (GOIÁS, 2006).

**Tabela 2 – Caracterização das classes de fragilidade das unidades geológicas.**

Atributos	Classes de Fragilidade	Unidade geológica	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	Muito Baixa	Suite Jurubatuba	153,49	9,16
		Suite Granito Tipo Rio Piracanjuba		
2	Baixa	Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu Associação supracrustais	435,79	26,03
		Suite Anicuns-Santa Bárbara		
3	Moderada	Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu Associação Ortogranulitos	978,95	58,49
4	Alta	Cobertura detrito-laterítica ferruginosa	22,63	1,35
5	Muita Alta	Depósitos Aluvionares	83,21	4,97
TOTAL			1.674,07	100

Fonte: (GOIÁS, 2006). Organizado pelos autores, 2023.

A Suíte Jurubatuba e Suíte Granito do Tipo Rio Piracanjuba se enquadram na classe de fragilidade muito baixa pela ocorrência de granitos com variação para granodiorito e tonalito, além da presença de rochas básicas e metassedimentares como gnaisses, migmatito, metagranitos, metagranodioritos e metatonalitos porfiríticos (LACERDA FILHO, 1999; MOREIRA et al., 2008).

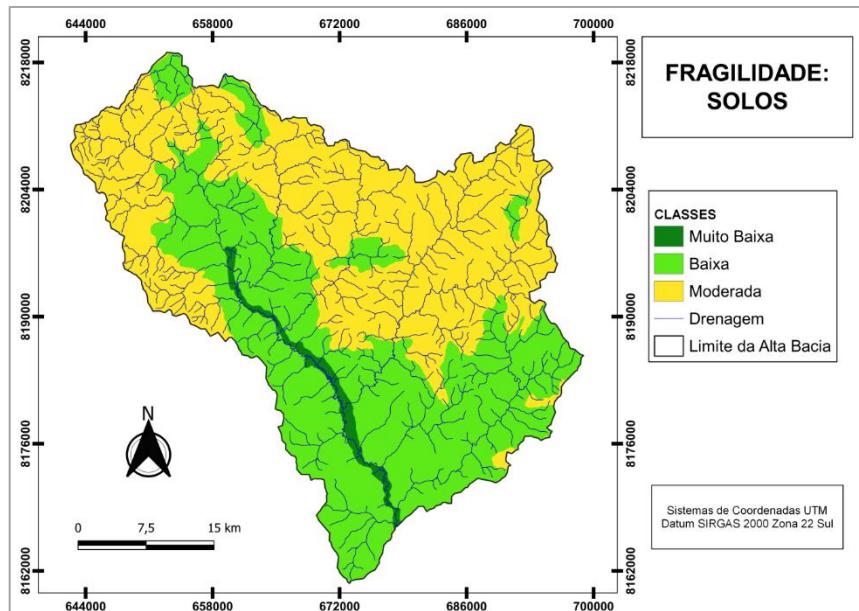
O Complexo Anápolis-Itauçu Associação Ortogranulitos e Supracrustais são onde ocorrem predominantemente rochas metamórficas, como granulitos paraderivados representados por gnaisses e quartzo-feldspáticos e granada gnaisses, apresentando, respectivamente, fragilidade moderada e baixa. A Suíte Anicuns Santa-Bárbara é formada por um conjunto de plútons diferenciados, formada por um conjunto de rochas ígneas intrusivas de gabrodioritos com piroxenitos, apresentando fragilidade baixa (LACERDA FILHO, 1999; MOREIRA et al., 2008).

As Coberturas Detrito-Lateríticas apresentam fragilidade alta, associada a presença de lateritos autóctones com carapaça ferruginosa, com predomínio de goethita e de sedimentos mais argilosos. Os Depósitos Aluvionares são formados por compostos de sedimentos argilo-siltosos e arenosos flúvio-lacustres, sendo classificados com fragilidade muito alta (LACERDA FILHO, 1999; MOREIRA et al., 2008).

### **Fragilidade ambiental em relação aos tipos de solos**

No mapa da figura 4 são apresentadas as classes de fragilidade dos solos da bacia e na tabela 3 os dados quantitativos em área para cada classe. Foram mapeados os seguintes tipos: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, Gleissolo Háplico eutrófico, Latossolo Vermelho ácrico e distrófico.

Figura 4 – Mapa de fragilidade dos solos.



Fonte: (Emater-Goiás, 2017).

Tabela 3 – Classes de fragilidades – Tipos de Solos.

Atributos	Classe de Fragilidade	Tipos de solos	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	Muito Baixa	Gleissolo Háplico eutrófico	34,62	2,06
2	Baixa	Latossolo Vermelho acrício distrófico	805,55	48,11
3	Moderada	Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico	833,9	49,83
TOTAL			1.674,07	100

Fonte: Ross (1994). Organizado pelos autores, 2023.

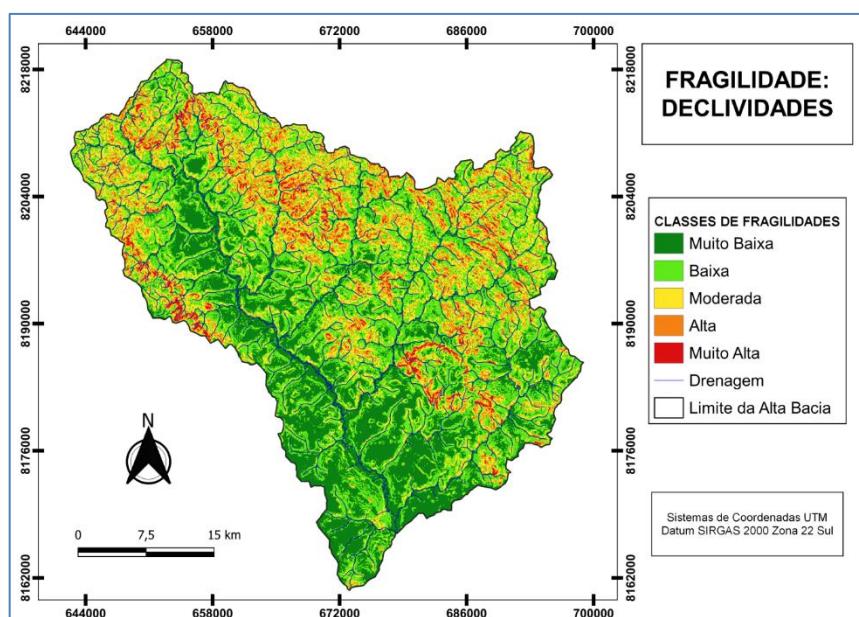
O Gleissolo Háplico apresenta fragilidade muito baixa por ocorrerem geralmente em fundo de vale ou veredas e áreas e acumulação de sedimentos. São solos pouco desenvolvidos e se formam a partir de sedimentos aluviais, caracterizando um ambiente de acúmulo de matéria orgânica e de oxirredução. Os Latossolos Vermelho são solos que apresentam baixa fragilidade por ocorrência em superfícies aplaniadas, são solos profundos, bem estruturados e bem drenados (REATTO et al., 2008). Os Argissolos apresentam fragilidade moderada por ocorrerem em relevos mais ondulados, potencializando maior velocidade no escoamento superficial (EMBRAPA, 2006).

## Fragilidade ambiental em relação à Declividade

Em relação à ação antrópica, as declividades do relevo são elementos essenciais na análise de fragilidade ambiental. Quanto mais intensa é a ação antrópica mais a superfície se torna suscetível aos processos erosivos. Para Cruz, Pineiro Júnior e Rodrigues (2010), esses processos erosivos podem provocar perdas de solo e ao mesmo tempo a degradação dos recursos hídricos. Para Kawakubo et al. (2005), as declividades também se constituem variáveis determinantes para influenciar na indicação de áreas com aptidão agrícola.

As classes de declividades foram convertidas em fragilidades e são apresentadas na figura 5, enquanto os dados quantitativos em área para cada classe são apresentados na tabela 4. Os dados indicam que há predominância de relevos com fragilidades muito baixa, baixa e moderada, que, juntas, ocupam uma totalidade de 1.495,04 Km<sup>2</sup> da área de estudo, em percentual corresponde a 89,31%. Já as classes de fragilidade de declividades alta e muito alta, possuem uma área de 179,03 Km<sup>2</sup>, abrangendo juntas 10,69% da área de estudo.

**Figura 5 – Mapa de fragilidade das declividades.**



Fonte: Topodata – INPE, 2023.

**Tabela 4 - Áreas das Classes de Fragilidades das Declividades.**

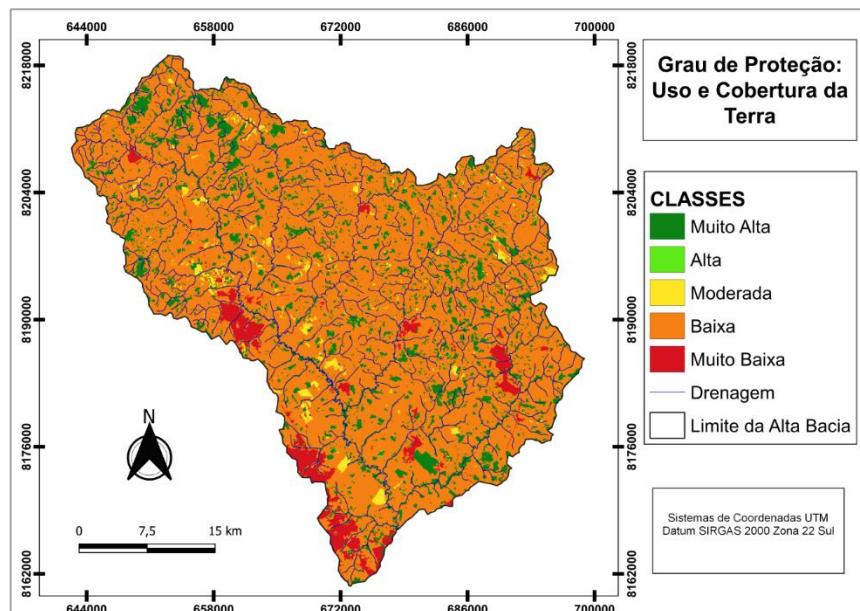
Atributo	Declividade (%)	Classe	Km <sup>2</sup>	%
1	0 - 6	Muito Baixa	452,00	27,00
2	6 – 12	Baixa	646,06	38,60
3	12 – 20	Moderada	396,98	23,71
4	20 – 30	Alta	143,03	8,54
5	> 30	Muito Alta	36,00	2,15
TOTAL			1.674,07	100

Fonte: Organizado pelos autores, 2023.

### **Fragilidade ambiental em relação ao uso e ocupação da terra**

O conhecimento sobre os tipos de uso do solo e a cobertura vegetal constituem variáveis importantes para a análise da fragilidade ambiental. Para Nakashima (2001), é uma variável que indica um grau de proteção do solo e do relevo frente às dinâmicas ambientais e processos antrópicos. Para Crepani et al. (2001) e Kawakubo et al. (2005), as áreas com coberturas naturais mais densas apresentam níveis maiores de proteção e em áreas com intensa atividade humana, como agricultura e expansão urbana, apresentam-se níveis de proteção baixa. Logo, os autores explicam que realmente a área com coberturas naturais mais densas além de proteger o solo contra a perda de material, protege direta e indiretamente contra os efeitos modificadores das formas do relevo.

Na figura 6 são apresentada as classes de fragilidade em relação ao uso e cobertura da terra. Vale ressaltar que diferente das demais variáveis utilizadas na modelagem, esta classificação é inversa, sendo que, quanto maior a proteção, mais baixa será a fragilidade daquele ambiente. Na tabela 5 está a descrição das classes de grau de proteção, com os dados quantitativos e a distribuição dos tipos de uso da terra e coberturas naturais.

**Figura 6 – Mapa do grau de proteção em relação ao uso e cobertura da terra.**

Fonte: Projeto MapBiomas, 2023.

**Tabela 5 – Caracterização das classes de grau de proteção.**

Atributo	Grau de Proteção – Uso e Ocupação da Terra	Classe de Ocupação	Área – Km <sup>2</sup>	Área - %
1	Muito Alta	Formação Florestal – Áreas Úmidas – Hidrografia	225,14	13,44
2	Alta	Formação Savânica	1,11	0,07
3	Moderada	Silvicultura – Formação Campestre – Cana – Outras lavouras Perenes.	34,42	2,05
4	Baixa	Pastagem – Mosaicos de Usos – Soja – Outras Lavouras Perenes	1.346,05	80,39
5	Muito Baixa	Área Urbanizada – Outras Áreas não Vegetadas	67,35	4,05
Total			<b>1.674,07</b>	<b>100</b>

Fonte: Organizado pelos autores, 2023.

Os dados evidenciam a predominância da classe baixa de proteção do solo, sendo as atividades ligadas à agropecuária predominantes nas paisagens da bacia, ocupando mais de 80% da área. As atividades agropecuárias provocam alterações importantes nas paisagens que tendem a aumentar a fragilidade dos ambientes, seja pelas práticas agrícolas de revolvimento do solo por aragem, que pode ocorrer até mais de uma vez ao ano, ou pela compactação e degradação dos solos em área de pastagem, pelo pisoteio animal (FARIA; VECCHIATO; SALOMÃO, 2013; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

A silvicultura e as lavouras perenes são áreas de cultivos com arbustos, como eucaliptos e citrus (laranja e limão), que promovem uma proteção moderada do ambiente, assim como as áreas de campo, que são coberturas naturais de Cerrado, mas com predomínio de vegetação herbácea.

As formações vegetais florestais e savânicas são coberturas naturais que apresentam o grau de proteção alto a muito alto, elas estão representadas como manchas ou áreas de preservação permanente na área de estudo. Amaral e Ross (2009) afirmam que nas áreas cobertas por matas naturais o grau de proteção é muito alto em razão da densidade da vegetação e pela presença de serrapilheiras, que impedem que o solo seja atingido diretamente pelas águas pluviais, evitando a ação do salpicamento, além de dissipar a energia do escoamento superficial.

As áreas urbanizadas e outras áreas não vegetadas constituem espaços com muito baixa proteção ambiental, por apresentar alto grau de intervenção humana. Estas áreas estão sujeitas a processos erosivos e/ou movimentos de massa; ocorrência de inundações e alagamentos em áreas impermeabilizadas e processos de contaminação do solo e água (AMARAL; ROSS, 2009).

### **Fragilidade Potencial e Emergente**

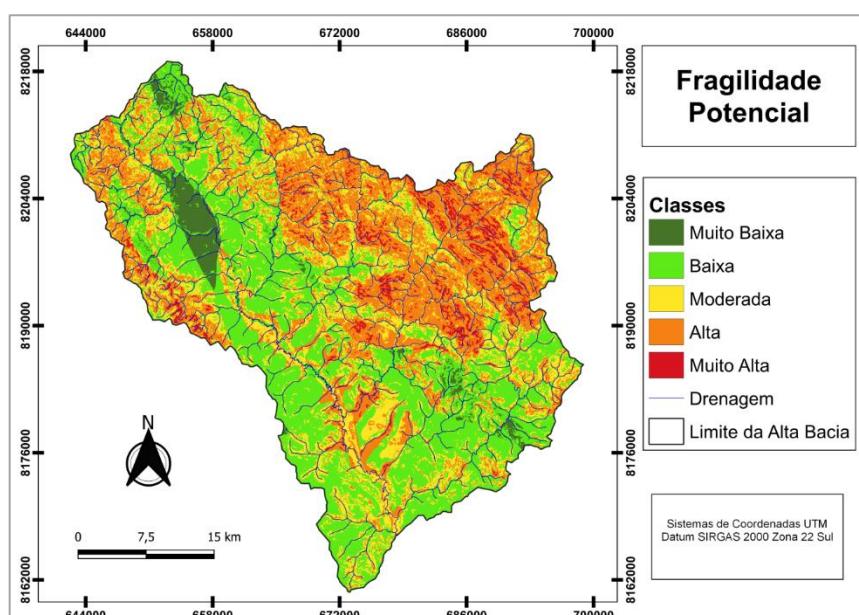
Em bacias hidrográficas o estudo e o conhecimento sobre a fragilidade potencial e emergente são importantes instrumentos do diagnóstico e do planejamento ambiental. A Fragilidade Potencial e a Fragilidade Emergente são formas de analisar as ações antrópicas e

sua relação com o uso e a cobertura da terra. Por meio do cruzamento entre essas variáveis foi possível identificar e mensurar a suscetibilidade da área de estudo.

O primeiro produto da modelagem é o cruzamento das variáveis que representam os elementos ambientais da bacia, considerando os graus de fragilidade em relação à estrutura geológica superficial, os tipos de solos, a inclinação do terreno e os totais de chuva. Cada uma destas variáveis, independente da ação humana, apresentam potencial de serem alteradas, ou provocar processos de intemperismo, erosão acelerada, movimentos de massa e inundações.

No mapa da figura 7 estão espacializadas as classes de fragilidade potencial da bacia e na tabela 6 os aspectos quantitativos de cada classe.

**Figura 7 – Classes de fragilidade Potencial.**



Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

**Tabela 6 – Caracterização das classes de fragilidade potencial**

Atributos	Classes	Km <sup>2</sup>	%
1	Muito Baixa	58,28	3,48

2	Baixa	622,68	37,22
3	Moderada	443,23	26,47
4	Alta	491,30	29,34
5	Muito Alta	58,58	3,49
Total		1.674,07	100

Fonte: Organizado pelos autores, 2023.

As áreas da bacia que foram definidas com fragilidade potencial muito baixa e baixa são onde ocorrem os Latossolos Vermelhos. Estas áreas estão em relevos mais planos e suaves ondulados, com declividades inferiores a 12%, em unidades geológicas com litologias variadas e mais resistentes, como os complexos granulíticos Anápolis-Itauçu e com fragilidade moderada em relação aos totais de chuva.

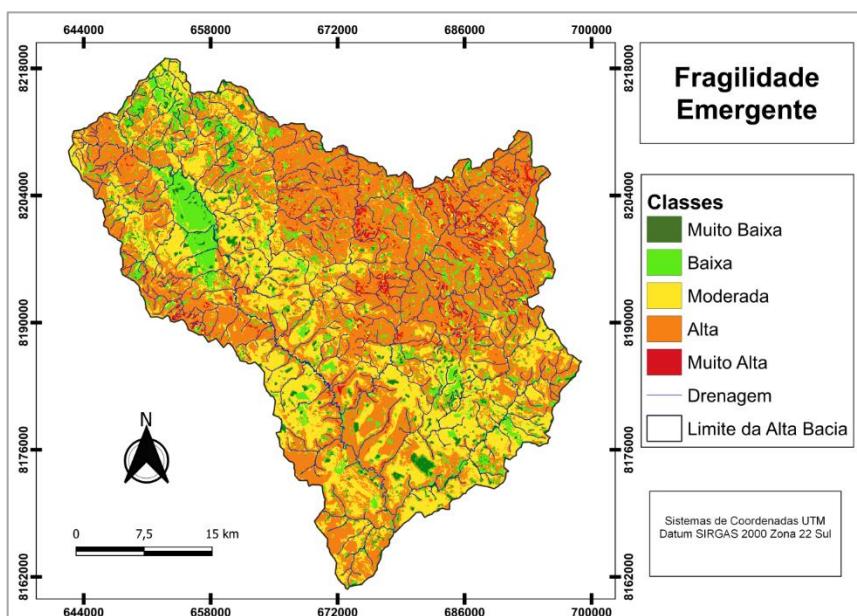
Na fragilidade potencial moderada ocorre predominantemente nos Argissolos Vermelho-Amarelo. Nessas áreas, estão os relevos suaves ondulados, com declividades inferiores a 30%, associadas às unidades geológicas do tipo Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu que compreende uma associação de rochas de alto grau metamórfico. Em relação à precipitação pluviométrica, a fragilidade caracteriza-se por ser moderada.

Nas áreas definidas como fragilidade potencial alta e muito alta, observa-se que há ocorrências de declividades fortes onduladas, com relevos de até 30% e superiores a este valor, associadas às unidades geológicas do tipo Cobertura Detrito Laterítica Ferruginosa, que constitui material proveniente da alteração das rochas subjacentes e vulneráveis a processos erosivos naturais ou geológicos. Associado a estes fatores do meio físico, temos a ocorrência de maiores totais de chuva.

A determinação da fragilidade ambiental emergente, considera os parâmetros da fragilidade potencial, somados aos dados de uso e ocupação da terra. O mapa da fragilidade emergente sintetiza e representa as áreas em que o uso da terra potencializa ou não a fragilidade natural do ambiente, face às condições físico-naturais do ambiente. No mapa da figura 8, temos

o produto final da fragilidade emergente para a bacia, enquanto na tabela 7 os dados de área por classe.

**Figura 8 – Fragilidade Emergente.**



Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

**Tabela 7 – Caracterização das classes de fragilidade emergente.**

Atributos	Classes	Km <sup>2</sup>	%
1	Muito Baixa	68,33	4,08
2	Baixa	208,52	12,45
3	Moderada	516,33	30,86
4	Alta	837,04	50,00
5	Muito Alta	43,85	2,61
<b>Total</b>		1.674,07	100

Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

Na análise dos dados da fragilidade emergente é possível notar que há uma predominância das classes moderada e alta, que ocupam mais de 80% da área. Estes níveis de fragilidade estão associados às atividades agropecuárias, pois as áreas com fragilidade moderada são onde ocorrem as culturas temporárias diversas e também os plantios de soja e cana de açúcar. Mesmo sendo culturas que exigem certo grau de intervenção antrópica, como aragem anual do solo, as condições ambientais contribuem para a estabilidade natural dessas áreas, onde ocorrem solos mais planos, como os Latossolos. Já a classe alta predomina as pastagens plantadas em áreas naturalmente frágeis, com solos mais declivosos, como Argissolos.

A alta bacia do rio Meia Ponte apresenta um alto grau de fragmentação da paisagem, provocada principalmente pelas atividades agropecuárias. Segundo o mapeamento de uso e cobertura da terra do Projeto Mapbiomas (PROJETO MAPBIOMAS, 2023), em 2021 somente 13% de toda extensão da bacia possuía coberturas naturais de Cerrado e no mesmo ano, as pastagens e as atividades agrícolas ocupavam respectivamente, 50,5% e 30,6%. Estes dados corroboram com o entendimento de que os recursos naturais da bacia estão sendo intensamente explorados, com destaque para o uso do solo e da água.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alta bacia do Rio Meia Ponte apresenta certa estabilidade quanto aos aspectos geológicos, morfométricos e pedológicos. No entanto, os totais de chuva e a dinâmica de uso da terra, elevam os graus de fragilidade a níveis elevados, indicando que 50% da área tem alta fragilidade emergente. Assim, os resultados da modelagem evidenciam que são necessárias medidas conservacionistas para o uso da terra, em especial para as áreas de pastagens plantadas e culturas temporárias. Estas práticas podem mitigar os problemas de recarga do lençol freático, processos erosivos, assoreamento e contaminação dos cursos d’água.

Estudos como este podem subsidiar ações de manejo e conservação, indicando áreas prioritárias para intervenção, pois a bacia se apresenta extremamente alterada com ambientes bem fragmentados e fragilizados. As atenções precisam se voltar, em especial, às áreas próximas às principais drenagens, pois a alta bacia é uma importante área de captação de água

para abastecimento da região metropolitana de Goiânia, que atende a mais de um milhão e meio de pessoas.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, R. do; ROSS, Jurandir Luciano Sanches. As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e Entorno Teodoro Sampaio/SP. **GEOUSP Espaço e Tempo**, v. 13, n. 2, p. 59-78, 2009.

AMORIM, A. T. et al. Geomorphometric environmental fragility of a watershed: a multicriteria spatial approach. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 193, n. 12, nov. 2021.

ANA. (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). Plataforma HidroWeb, disponivel em: (<http://hidroweb.ana.gov.br/>). Acesso em: agosto de 2023.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9<sup>a</sup> d. São Paulo: Ícone, 2014.

CREPANI, E. et al.; **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CRUZ, L. M.; PINSE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. Abordagem Cartográfica da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62/03, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

FARIA, T. de O.; VECCHIATO, A. B.; SALOMÃO, F. X. de T. Abordagem morfopedológica para diagnóstico e controle de processos erosivos. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 2, 2013.

GUIMARAES, E. E. S; SOUZA, J. C. Indicador de fragilidade ambiental para a bacia hidrogrfiaca do Ribeirão João Leite (Goiás, Brasil). **Revista Mirante**, Anápolis (Goiás, Brasil), v. 16, n. 3, p. 18-33, 2023.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **TOPODATA – Banco de Dados geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: agosto de 2023.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Normais Climatológicas**. Disponivel em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: agosto de 2023.

KAWAKUBO, F. S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, abril 2005, Goiânia. Anais. São José dos Campos: INPE, 2005.

LACERDA FILHO, J. V. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal. 1:500.000. Goiânia: CPRM, 1999.

LIRA, K. C. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, MG, v.34, 2022.

MASSA, E. M., ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia – USP** 24, 57-79, 2012.

**MAPBIOMAS – Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil**, 2022.

MOORE, D. S. **The Basic Practice of Statistics**. New York: Freeman. 2007.

MOREIRA, M. L. O. et al. (Orgs.) **Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil e Geologia e Mineração. Goiânia: CPRM/SIC - FUNMINERAL, 2008.

NAKASHIMA, M. S. R. Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos. **Acta Scientiarum**, Maringá, n. 23, p. 1547-1560, 2001.

PROJETO MAPBIOMAS - Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2022. Disponível em: [https://code.earthengine.google.com/?accept\\_repo=users%2Fmapbiomas%2Fuser toolkit&scriptPath=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit%3Amapbiomas-user-toolkitlulc.js](https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users%2Fmapbiomas%2Fuser toolkit&scriptPath=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit%3Amapbiomas-user-toolkitlulc.js). Acesso em: nov, 2023.

REATTO, A. et al. Solos do Bioma Cerrado: Aspectos Pedológicos. In: SANO, Sueli Matiko et al. **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

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

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para Planejamento Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

GOIÁS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Goiás**, 288 p., 2015.