



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Utilização de variáveis físico-químicas do solo para o mapeamento da fragilidade potencial e ambiental na bacia hidrográfica do rio Ivinhema

Cleidimar João Cassol¹, Eduardo José de Arruda², Alessandra Mayumi Tokura Alovise³, Cleiton Messias Rodrigues Abrão⁴, Robervaldo Soares da Silva⁵

¹ Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. Rod. Dourados-Itahum, Km 12 - Cidade Universitária, Dourados - MS, 79804-970. cleidimar_cassol@hotmail.com; ² Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. eduardoarruda@ufgd.edu.br; ³ Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. alessandraalovisi@ufgd.edu.br; ⁴ Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Faculdade de Ciências Humanas – FCH, Dourados-Itahum, Km 12 - Cidade Universitária, Dourados - MS, 79804-970. cleiton.geografo@yahoo.com.br (Autor correspondente); ⁵ Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. robervaldo.soares@yahoo.com.br

Artigo recebido em 09/11/2014 e aceito em 24/02/2015

RESUMO

Objetivou-se com este estudo adaptar a proposta metodológica de Ross (1994; 2012) para determinação da fragilidade potencial e ambiental da bacia hidrográfica do Rio Ivinhema. A área de estudo encontra-se integralmente dentro dos limites brasileiros, na região Centro Oeste, no Estado de Mato Grosso do Sul, fazendo fronteira com o Paraguai na sua porção Sudoeste. Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e os preceitos metodológicos propostos por Ross (1994 e 2012) da fragilidade potencial e ambiental, acrescentando-se novos atributos (teor de argila, matéria orgânica e grau de floculação do solo). Os resultados mostraram que cerca de 17.977 km² ou 47,7% da área é composta por fragilidade potencial baixa, associada a solos argilosos e baixa declividade (0 – 3%). Com a inserção do uso e cobertura da terra a fragilidade ambiental alta se destacou em 16.795 km² ou 44,6% da bacia, especialmente tendo a agricultura como maior abrangência encontrada na bacia. A inserção de novos atributos na metodologia de análise (argila, matéria orgânica e grau de floculação do solo) promoveram diferenciação significativa na elaboração do mapa final de fragilidade potencial/ambiental. Dos novos fatores inseridos o grau de floculação do solo foi a variável mais influente na configuração da fragilidade potencial média. Com o uso de tecnologias de geoprocessamento foi possível adaptar a metodologia conforme a realidade da área de estudo, permitindo o entendimento de diferentes realidades e, consequentemente, melhorar a gestão territorial.

Use of physico-chemical soil variables to mapping of potential and environmental fragility in the Ivinhema river basin

ABSTRACT

This study aimed to add three new factors the methodological proposal of Ross (1994; 2012) to determine the potential and environmental fragility in the Ivinhema River basin. The study area is entirely within the Brazilian limits, in the Midwest of Mato Grosso do Sul State, bordering Paraguay in its southwestern portion. Geoprocessing techniques and the methodological precepts proposed by Ross (1994 and 2012) of potential and environmental fragility were used, adding new attributes (clay content, organic matter, and degree of soil flocculation). The results showed that about 17,977 km² or 47.7% of the area is composed of low potential fragility, associated with clayey soils and low slopes (0 - 3%). With the insertion of land use and cover, high environmental fragility stood out in 16.795 km² or 44.6% of the basin area, especially with agriculture as the largest scope found in the basin. The inclusion of new attributes in the analysis method (clay, organic matter, and degree of soil flocculation) promoted significant differentiation in the final map of potential/environmental fragility. The use of geoprocessing technologies made it possible to add new factors associated with potential/environmental fragility, allowing the understanding of different realities and, consequently, improving territorial management.

Introdução

O crescimento populacional associado ao desenvolvimento econômico tem provocado transformações significativas nos ecossistemas (Cassol et al., 2020). As distintas formas de exploração dos recursos naturais nem sempre tem considerado as potencialidades e limitações do meio ambiente, o que tem acarretado em perda de serviços ecossistêmicos (Almeida et al., 2020).

As intervenções realizadas nos elementos que compõem a paisagem estimulam a desestabilização, temporária ou permanente da mesma, de forma funcional ou dinâmica (Souza et al., 2020). Frente a essas alterações os impactos variam conforme o grau de resistência a modificações que cada ambiente possui, assim, a fragilidade ambiental pode variar em função das características locais, tais como a geologia, solos, relevo, vegetação e clima (Guerra; Vieira, 2022).

Com o intuito de avaliar a fragilidade do ambiente, Ross (1994), baseado em Tricart (1977), propôs um método capaz de avaliar a fragilidade intrínseca dos elementos naturais da paisagem, denominada de fragilidade potencial. Neste método, a fragilidade potencial é correlacionada às condições naturais da paisagem como declividade do relevo, pedologia e erosividade das chuvas. A fim de considerar o fator antrópico, o método propõe integrar a fragilidade potencial aos tipos de uso da terra e cobertura vegetal, classificados de acordo com o grau de proteção ao solo.

A partir da criação do método de análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, mencionado no parágrafo anterior, diversas pesquisas têm sido realizadas utilizando e aprimorando essa metodologia de acordo com as características naturais e antrópicas de cada área de

estudo (Santos; Marchioro, 2020; (Cavalcante et al, 2022; Leite et al, 2022; Mira et al, 2022).

O aprimoramento do método de análise por meio da inserção de novas variáveis busca sempre melhorar os resultados e tornar o modelo o mais fiel possível à realidade. Gonçalves et al. (2011) enfatizam que quanto maior for a incorporação de novos fatores na metodologia de análise, desde que eles estejam relacionados com a determinação da fragilidade potencial/ambiental, mais condizentes com a realidade local serão os resultados obtidos.

Desse modo, o uso de atributos químicos e físicos de solos, ligados à sua estrutura e resistência a erosão como os teores de argila, matéria orgânica e grau de floculação podem contribuir com detalhamento da análise de fragilidade potencial/ambiental, especialmente no que diz respeito aos efeitos erosivos dos solos, pois, essas

Material e métodos

Área de Estudo

A B.H.I encontra-se integralmente dentro dos limites brasileiros na região Centro-Oeste, no Estado de Mato Grosso do Sul, fazendo fronteira com o Paraguai na sua porção Sudoeste (Figura 1). Forma um polígono irregular compreendido entre os paralelos 20°51' e 23°14' de latitude sul e os meridianos 52°21' e 55°57' de longitude Oeste de Greenwich. Hidrograficamente encontra-se inserida na bacia do rio Paraná, limita-se na margem Oeste pela Serra das Araras, Serra de Camapuã e parte da Serra de Maracaju e na sua margem Leste pela calha do rio Paraná. Também o limítrofe Oeste é divisa com a Bacia Hidrográfica do Rio Miranda, parte da Bacia Hidrográfica do rio Paraguai (IMASUL, 2015).

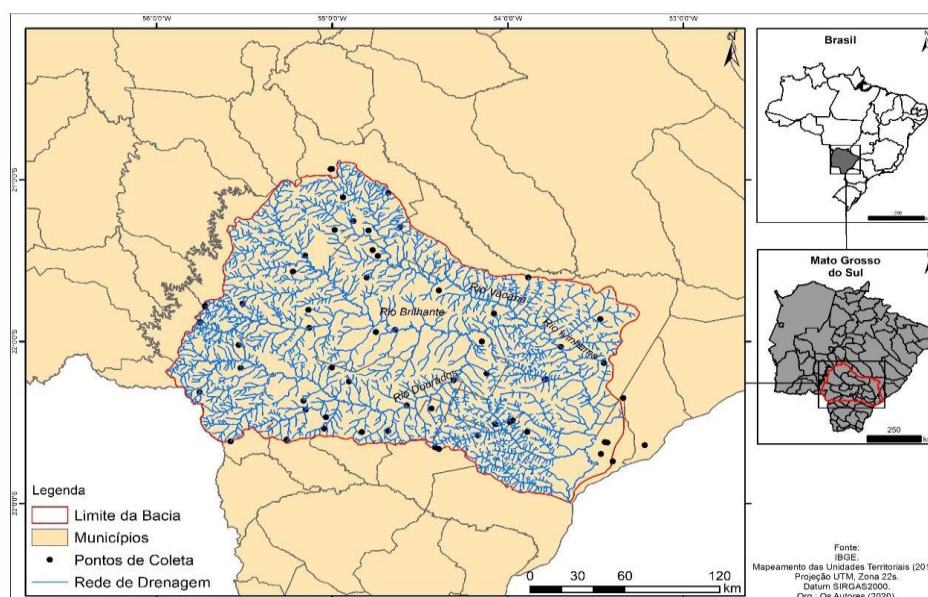


Figura 1. Localização da área de estudo e pontos de amostragem de solos da B.H.I. Adaptado do IBGE (2018).

Com aproximadamente 37.687 km² ou 3.768.700 hectares a B.H.I é a segunda maior B.H do Estado de Mato Grosso do Sul. Distribuída em 25 municípios, englobando integralmente os municípios de: Anaurilândia, Angélica, Bataiporã, Dourados, Deodápolis, Itaporã, Ivinhema, Jateí, Rio Brilhante, Novo Horizonte do Sul, Taquarussu e Vicentina e, parcialmente, os municípios de Antônio João, Caarapó, Juti, Laguna Caarapã, Maracaju, Nova Alvorada do Sul, Nova Andradina, Naviraí, Ponta Porã e Sidrolândia (Pott et al., 2014).

Roteiro Metodológico

Para execução da pesquisa e determinação da fragilidade ambiental da B.H.I., foi organizado um banco de dados georreferenciados no software ArcGIS 10.6 contendo arquivos em formato vetorial e *raster*.

Dentre as 15 B.H presentes no Estado de Mato Grosso do Sul (Iguatemi, Amambai, Ivinhema, Pardo, Verde, Sucuriú, Quitéria, Santana, Aporé, Correntes, Taquari, Miranda, Negro, Nabileque e Apa), a B.H.I foi a que melhor correspondeu aos critérios estabelecidos para o desenvolvimento desta pesquisa: i) Ausência de estudos de referência para solos; ii) Aspectos geoquímicos; iii) Vulnerabilidade ambiental; iv) Aspectos geográficos e econômicos associados aos deslocamentos para realizações de coletas.

Logo em seguida, foram realizadas quatro etapas principais para elaboração dos mapas e obtenção dos resultados, conforme descritas no fluxograma abaixo (Figura 2).

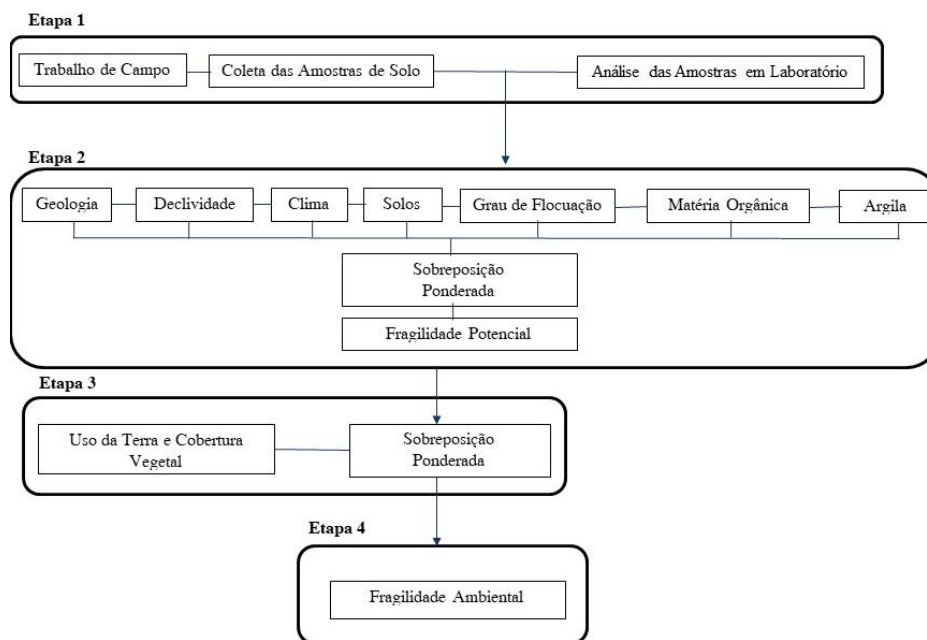


Figura 2. Fluxograma dos processos metodológicos seguidos.

Etapa 1: Coleta e Análise das Amostras de Solo

Para definição dos pontos de coleta procedeu-se inicialmente com uma consulta espacial por imagens de satélite fornecidas pelo *Google Earth Pro*, para identificação de fitofisionomias nativas e acessibilidade às áreas. Sequencialmente, foi realizada uma sobreposição dos mapas geológicos, pedológicos e de vegetação de Mato Grosso do Sul (CPRM, 2006). O intuito de cruzamento de informações geológicas, pedológicas e fitofisionômicas foi de abranger a maior diversidade de classes de solos possíveis em áreas preservadas no interior da B.H.I. Todo o trabalho de geoprocessamento foi realizado com o auxílio do programa ArcGIS 10.6.

A partir da exploração espacial da área, foi possível obter as coordenadas geográficas preliminares e realizar a marcação dos locais de coletas. Foram definidos 62 pontos amostrais representativos das unidades geológicas e pedológicas da B.H.I, em remanescentes de vegetação nativa. De posse das coordenadas geográficas, foram traçadas rotas por meio de um aplicativo de celular (*Google Maps*). Em campo, as coordenadas geográficas exatas dos pontos de amostragem (Figura 1), foram coletadas por meio de um aparelho de GPS (*Global Positioning System*), da marca Garmin eTrex Legend®.

Para cada ponto amostrado foram obtidas amostras compostas (cinco amostras simples

homogeneizadas) de aproximadamente 2 kg de solo, na profundidade de 0 a 20 cm. Características importantes para a caracterização dos solos como afloramentos rochosos, presença de cascalho, hidromorfismo e cor do solo foram registradas.

As amostras de solo foram secas ao ar, protegidas de luz solar, destorroadas manualmente e passadas em peneira de aço inoxidável com abertura de 2 mm para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Para a determinação da granulometria (areia, silte e argila) utilizou-se solução de hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica rápida (14.000 rpm por 5 minutos para solos arenosos e 15 minutos para solos argilosos e francos) em agitador do tipo coqueteleira. A alíquota coletada para quantificação da fração argila foi feita com o auxílio de uma pipeta volumétrica (método da pipeta) (Claessen, 1997; Teixeira et al., 2017). A argila dispersa em água foi determinada pelo mesmo procedimento, excetuando-se a utilização do hidróxido de sódio (Barreto et al., 2019). Por meio da argila dispersa em água, pode-se calcular o Grau de Floculação (GF), pela seguinte expressão: $G.F\% = 100 \times \frac{\text{argila total} - \text{ADA}}{\text{argila total}}$ (Claessen, 1997; Teixeira et al., 2017). O teor de Carbono Orgânico (C.O) foi determinado por oxidação com K₂Cr₂O₇ em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor

desprendido do H_2SO_4 e o aquecimento, método conhecido como Walkley-Black. O excesso de dicromato após a oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal e o teor de C.O

foi calculado pela quantidade de $Cr_2O_7^{2-}$ reduzido. Para a conversão de dados de C.O em matéria orgânica foi usado o fator universal de Van Bemmelen de 1,724.

Etapa 2: Fragilidade Potencial

Para elaboração da fragilidade potencial foram utilizadas sete variáveis que representam os principais aspectos físicos da B.H.I, que estão descritas na sequência. Primeiramente os dados foram convertidos de vetorial (*shapefile*) para (matricial) e, em seguida, foram reclassificados de

acordo com os pesos de fragilidade atribuídos por Ross (1994 e 2012). Após essa etapa, foi realizada a sobreposição ponderada (álgebra de mapas) no *software* ArcGIS 10.6 de todos os temas, cuja soma resultou na fragilidade potencial.

Geologia

Conforme levantamento geológico realizado para o estado de Mato Grosso do Sul em escala de 1:250.000 da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2006), encontram-se no interior da BHI quatro tipos geológicos:

Formação Serra Geral, Caiuá, Ponta Porã e Depósitos Aluvionares, os percentis que cada tipo geológico ocupa na bacia e suas características são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Classes geológicas, grau de fragilidade, características e área abrangente

Geologia*		Grau de Fragilidade	Características**	Área km ²	%
Q2a	Depósitos Aluvionares	Alta	Localizado no baixo curso da BHI, composto por areia, areia quartzosa, cascalho, silte, argila e localmente turfa. Ambiente continental fluvial.	1.686,2	4,47
Qpp	Formação Ponta Porã	Alta	Localizada no Sudoeste da BHI, constituída por depósitos conglomeráticos com matriz arenosa e cimento ferruginoso, contendo fragmentos de tamanhos desde seixos a matacões.	2.198	5,83
K2c	Grupo Caiuá	Média	Localizado na porção de médio e baixo curso da BHI, composto por arenito quartzoso a subarcoseano, fino a médio, arenito quartzoso a subarcoseano, fino a médio.	12.150,4	32,24
K1βsg	Formação Serra Geral	Baixa	Localizada na região de médio e alto curso da BHI, composta por basalto e basalto andesito de filiação toléítica, intercalam camadas de arenito, litoarenito.	21.652,5	57,45

* CPRM (2006); ** Fortes et al. (2007).

A geologia possui relação direta com a instabilidade/estabilidade do ambiente. Assim, a depender do grau de instabilidade/estabilidade é possível atribuir pesos para cada tipo geológico, com fins de classificá-los em graus de fragilidade.

Declividade

As características do relevo imprimem condições de baixa declividade em toda a extensão da bacia, portanto, para ressaltar as áreas com maior declive, foram estabelecidos intervalos de classes específicos para a bacia em estudo (Quadro 2). Os pesos atribuídos na análise estão de acordo com Gonçalves et al. (2011), que determinaram a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Dourados, sub-bacia do rio Ivinhema. A

Os pesos utilizados no presente estudo se baseiam em estudos anteriores que foram desenvolvidos nas mesmas geologias e no mesmo Estado (Gonçalves et al., 2011; Miguel et al., 2013).

declividade foi elaborada a partir da imagem de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) extraída do banco de imagens do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), com resolução espacial de 30 metros. Foram utilizadas 4 cenas para abarcar toda área de estudo: s22_w54, s21_w55, s21_w56 e s21_w57. As imagens foram mosaicas no *software* ArcGIS 10.6 e gerada a declividade através da ferramenta *Slope*.

Quadro 2. Classes de declividade, grau de fragilidade, características e área abrangente

Declividade*		Grau de fragilidade**	Características***	Área km ²	%
Plano	< 2%	Muito baixo	Constitui-se de áreas planas ou quase planas, com escoamento superficial lento. Presente de maneira mais expressiva no domínio da Formação Serra Geral e na Planície de inundação do rio Paraná. Ocorre também junto aos principais canais de drenagem.	21.785	57,81
Plano/Suave-ondulado	2 - 4%	Baixo	Constituído por áreas planas ou levemente onduladas e escoamento superficial predominantemente lento. Presente em toda bacia, associado a áreas planas e onduladas. De modo geral, não oferece impedimentos para usos antrópicos.	7.563,70	20,07
Suave-ondulado	4 - 6%	Médio	Formado por áreas com leve inclinação, entretanto, suscetíveis aos processos erosivos, especialmente por ocorrer em regiões de solos arenosos. Estas áreas necessitam de adoção de práticas conservacionistas, a fim de evitar o comprometimento do quadro ambiental.	8.303	22,03
Suave-ondulado /Ondulado	6 - 12%	Alto	Compreende áreas com escoamento superficial de médio a rápido, alta suscetibilidade aos processos erosivos na ausência de cobertura do solo. A adoção de manejos conservacionistas é recomendada com fins de evitar perdas de solo e a degradação do ambiente.	27,9	0,074
Ondulado	> 12%	Muito Alto	Abrange as áreas mais declivosas da bacia, onde o escoamento superficial é caracterizado como rápido. O risco de erosão pode ser considerado alto na ausência de cobertura do solo. Estas áreas estão associadas aos solos RL e RR, os quais demandam de manejos específicos ou mesmo serem mantidos como áreas de preservação ambiental.	7,28	0,019

* Embrapa (Ano); ** Gonçalves et al. (2011); *** Ferreira; Silva (2019).

Clima

Encontram-se dois tipos climáticos predominantes na área de estudo, o clima Aw - Clima tropical de savana e o clima Cwa – Clima temperado de inverno seco e verão quente e chuvoso. Segundo a classificação de Köppen, o clima Cwa é caracterizado por apresentar inverno

seco e verão chuvoso com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C. O clima Aw, por sua vez, apresenta estação chuvosa no verão (novembro a abril) e estação seca no inverno (maio a outubro), com temperatura média do mês mais frio superior

a 18°C e precipitação do mês mais seco menor que 60 mm (Arai, 2010; Ivasko Júnior et al., 2020).

Informações sobre o clima são necessárias para definir a intensidade pluviométrica, variável diretamente associada a erosividade das chuvas. O valor da intensidade pluviométrica foi calculado de acordo com Crepani et al. (2001), no qual divide-se o valor da pluviosidade média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses), obtendo-se então a intensidade pluviométrica utilizada na análise.

Para espacializar a intensidade pluviométrica, foi utilizada a média anual de 23 estações próximas à área de estudo. A média anual de cada estação foi adicionada nos arquivos *shapefile* que representam as estações pluviométricas (pontos). Em seguida, utilizou-se o método de interpolação por *Krigagem* ordinária para espacializar os valores de precipitação por toda BHI. No Quadro 3 são apresentadas as características dos tipos climáticos presentes na BHI, bem como seu grau de fragilidade.

Quadro 3. Classes climáticas, grau de fragilidade e características

Classe	Grau de fragilidade*	Características**
Aw – Clima Tropical de Savana***	Baixo	Localizado a Leste da B.H.I (Taquarussu, Batayporã, Jateí, Novo Horizonte, Ivinhema e Nova Andradina) o Clima Tropical de Savana (Aw), apresenta estação chuvosa no verão (novembro a abril) e estação seca no inverno (maio a outubro), com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C e precipitação do mês mais seco menor que 60 mm.
Cwa – Clima temperado de inverno seco e verão quente e chuvoso**	Muito baixo	Da porção Central em direção ao divisor topográfico (Deodápolis, Dourados, Rio Brilhante e Sidrolândia) ocorre o clima Cwa, caracterizado por apresentar inverno seco e verão chuvoso com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C.

* Adaptado de Crepani et al. (2001); **Arai (2010); *** Ivasko Júnior et al. (2020).

Solos

A área de estudo é recoberta por dez classes de solos, entretanto, duas classes (LV e PV), abrangem mais de 80% da área de estudo (Quadro 4). As classes de solo FT, FF, NV e RL representam cerca de 0,5% da área total da bacia.

A identificação das unidades pedológicas teve como base o levantamento de solos elaborado pelo macrozoneamento, produzido na escala de 1:250.000, extraído do banco de dados Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental

(SISLA). A padronização da nomenclatura foi realizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). Quanto ao grau de fragilidade as classes de solo tiveram como base Ross (1994; 2012) com algumas modificações. As modificações foram realizadas para área específica do estudo com base em dados laboratoriais de textura, matéria orgânica e grau de floculação.

Quadro 4. Classes de solo, grau de fragilidade, características e área abrangente

Classes*		GF	Características*	Área km ²	%
FT	Plintossolo Argilúvico	Muito alta	São solos com horizonte ou camada de acumulação de argila abaixo do horizonte A superficial. Apresentam drenagem variável, podendo ocorrer excesso de água temporário até excesso prolongado de água durante o ano.	2,34	0,006
FF	Plintossolo Pétrico	Muito alta	São solos com horizonte ou camada concrecionário ou litoplântico, com sérias restrições ao uso agrícola devido ao enraizamento das plantas, entrave ao uso de equipamentos agrícolas e pouco volume de solo disponível para as plantas.	1,08	0,003
GX	Gleissolo Háplico	Muito alta	São solos minerais formados em condições de saturação com água, presentes principalmente em planícies ou várzeas inundáveis. As limitações mais comuns dos GX são sua elevada frequência de inundação e o longo período de solo saturado por água, consequência de cheias dos cursos d'água ou da elevação do lençol freático.	1.056	2,8
LV	Latossolo Vermelho	Baixa	São solos minerais, homogêneos, com pouca diferenciação entre os horizontes ou camadas, reconhecido facilmente pela cor quase homogênea do solo com a profundidade. São profundos, bem drenados e com fertilidade variável.	19.489	51,7
NV	Nitossolo Vermelho	Média	São solos minerais homogêneos, com diferenciação de horizontes pouco notável. São argilosos, com estrutura que favorece a retenção de água, mas que mantêm boa drenagem, propriedades físicas extremamente desejáveis em condições de sazonalidade climática e estação seca prolongada.	147	0,4
PV	Argissolo Vermelho	Alta	São solos minerais com nítida diferenciação entre as camadas ou horizontes. Maior coesão, plasticidade e pegajosidade em profundidade, devido a acumulação de argila em horizonte subsuperficial.	12.343	32,8
RQ	Neossolo Quartzarênico	Muito alta	São solos com textura arenosa, estrutura fraca, grande friabilidade e altamente susceptíveis à erosão, em razão da baixa coesão entre os grãos e da baixa estabilidade de agregados. Práticas de manejo que mantenham ou aumentem os teores de matéria orgânica podem reduzir esse problema.	983,3	2,6
RL	Neossolo Litólico	Muito alta	Compreendem solos rasos, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, estando associados normalmente a relevos mais declivosos. Estes fatores limitam o crescimento radicular, o uso de máquinas e elevam o risco de erosão.	14,3	0,04
RR	Neossolo Regolítico	Muito alta	Solos sem contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície, apresentando horizonte A ou hístico sobrejacente ao horizonte C ou Cr. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a nenhum tipo de horizonte B diagnóstico.	2.762	7,3
SX	Planossolo Háplico	Muito alta	São solos constituídos por material mineral com horizonte A ou E seguido de horizonte B plânico. Ocorrem tipicamente em áreas de cotas baixas, planas a suave onduladas. São imperfeitamente drenados, de baixa permeabilidade e muito susceptíveis à erosão.	887,8	2,35

GF = Grau de Fragilidade; * Santos et al. (2018).

Atribuiu-se grau de fragilidade baixa para a classe de solo LV enquanto diversos estudos têm adotado grau de fragilidade muito baixa (Ross, 1994; 2012; Cunha; Bacani, 2016; Abrão; Bacani, 2018; Bueno et al., 2018). A justificativa é pautada especialmente em dados laboratoriais de grau de floculação, cujos valores médios encontrados para

o solo LV foi menor que 50%. De modo geral, quanto menor for o grau de floculação do solo, maior será a argila dispersa em água e consequentemente menor estabilidade de agregados e a resistência do solo aos processos de degradação/erosão.

Grau de Floculação

O grau de floculação é obtido a partir da relação entre a argila dispersa em água e a argila dispersa em hidróxido de sódio. Está relacionado ao fenômeno da dispersão/floculação dos colóides do solo, que por sua vez, está associado ao balanceamento entre as cargas negativas e positivas. Segundo Teixeira et al. (2017) o grau de floculação pode ser considerado um indicador de qualidade do solo, visto que, está relacionado à agregação e à erosão do solo.

Nesse sentido, o grau de floculação pode complementar a análise de fragilidade potencial/emergente tornando-a mais fidedigna as características da área analisada, visto que, quanto maior for a incorporação de novos fatores na metodologia de análise, desde que eles estejam

relacionados com a determinação da fragilidade ambiental, mais condizentes com a realidade local serão os resultados obtidos (Gonçalves et al., 2011).

Com relação aos pesos atribuídos ao grau de floculação, partiu-se do princípio que quanto maior seu valor, maior a estabilidade dos agregados, refletindo na união entre as partículas e na resistência contra à ação dos agentes erosivos (Dantsova et al., 2009; Barreto et al., 2019). Portanto, os solos com maiores valores de grau de floculação receberam os pesos mais baixos de fragilidade, ao passo que, os solos com menores valores de grau de floculação receberam pesos mais altos de fragilidade (Quadro 5).

Quadro 5. Grau de floculação, grau de fragilidade e área abrangente.

Grau de Floculação	Grau de Fragilidade	Área km ²	%
100 – 80%	Muito Baixa	80,6	0,21
80 – 60%	Baixa	5.091	13,5
60 – 50%	Média	15.540,5	41,2
50 – 40%	Alta	9.639,6	25,5
< 40%	Muito Alta	7.335	19,4

Matéria Orgânica

O conteúdo de matéria orgânica do solo pode ser um indicativo de sua qualidade, bem como de sua estabilidade. Liu et al. (2010) observaram que a erodibilidade do solo diminui linearmente com o aumento no conteúdo de carbono orgânico. Soares et al. (2018) relataram que à medida que o teor de matéria orgânica diminui, há decréscimo na estabilidade dos agregados do solo, tornando-o mais suscetível aos processos erosivos.

Nesse sentido, integrou-se os teores de matéria orgânica na análise de fragilidade potencial para área de estudo. Os critérios relacionados aos graus de fragilidade seguiram o disposto na literatura já apresentada, atribuindo-se maior fragilidade para áreas com menores teores orgânicos e menor fragilidade para áreas com maiores teores orgânicos. No Quadro 6 são apresentados os intervalos adotados para o grau de fragilidade e área abrangente.

Quadro 6. Matéria orgânica, grau de fragilidade e área abrangente.

Matéria Orgânica	Grau de Fragilidade	Área km ²	%
> 40 g kg ⁻¹	Muito Baixa	18.874,2	50,1
30 – 40 g kg ⁻¹	Baixa	11.147,8	29,5
20 - 30 g kg ⁻¹	Média	7.001,1	18,6
10 – 20 g kg ⁻¹	Alta	663,27	1,8
< 10 g kg ⁻¹	Muito Alta	0,65	0,002

Argila

Os teores de argila juntamente com a matéria orgânica são elementos importantes no processo de agregação do solo. Os constituintes granulométricos do solo influenciam na formação e na estabilidade de agregados, de modo que, solos com maiores teores de argila contribuem para a agregação e solos mais estáveis (Silva et al., 2014).

Devido ao seu poder de agregação (Nunes et al., 2020), a fração granulométrica argila foi

escolhida para integrar a análise. Os critérios relacionados aos graus de fragilidade seguiram o disposto na literatura já apresentada, atribuindo-se maior fragilidade para áreas com menores teores de argila e menor fragilidade para áreas com maiores teores de argila. No Quadro 7 são apresentados os intervalos adotados para o teor de argila, grau de fragilidade e área abrangente.

Quadro 7. Argila, grau de fragilidade e área abrangente.

Argila	Grau de Fragilidade	Área km ²	%
> 600 g kg ⁻¹	Muito Baixa	80,52	0,21
600 – 400 g kg ⁻¹	Baixa	6.165,5	16,3
400 – 250 g kg ⁻¹	Média	16.738,6	44,4
250 – 150 g kg ⁻¹	Alta	10.503	27,9
< 150 g kg ⁻¹	Muito Alta	4.199,4	11,1

Com os valores obtidos do Grau de Floculação, Matéria Orgânica e Argila dos solos amostrados na B.H.I, foi realizada a espacialização desses dados a partir dos pontos de coleta

realizados em trabalho de campo (62 pontos). Com os valores adicionados para cada atributo físico e químico, foi usado o método de interpolação por

Krigagem Ordinária para representar em formato *raster* a abrangência de cada atributo.

Etapas 3: Uso da Terra e Cobertura Vegetal

A análise de uso da terra e cobertura vegetal constitui-se uma excelente ferramenta para o planejamento da utilização racional dos recursos naturais, a qual pode contribuir na geração de informações para a avaliação da sustentabilidade ambiental (Lopes et al., 2016). O conhecimento do uso da terra e cobertura vegetal é de fundamental importância em estudos de fragilidade ambiental. Essa tese se justifica pela capacidade que alguns usos têm de alterar em maior ou menor grau os sistemas naturais. Portanto, a fragilidade ambiental é diretamente correlacionada aos usos da terra.

Para elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal da B.H.I, foram utilizadas imagens do satélite *Landsat 8/OLI* com resolução espacial de 30 metros. As imagens foram extraídas do banco de imagens do *United States Geological Survey* (USGS, 2019), sendo necessárias 4 cenas de diferentes órbita/ponto para cobrir toda área de estudo: 224/75, 224/76, 225/75 e 225/76. As imagens são datadas do dia 11 e 20 de agosto de 2019.

As imagens foram mosaicas, no qual formou apenas uma imagem com mesmo contraste. Logo em seguida, optou-se por realizar a classificação supervisionada, no qual deve-se coletar amostras de pixels em regiões de interesse na imagem para treinar o algoritmo de classificação (Moreira, 2007). Foram definidas as classes de uso da terra existentes para B.H.I, conforme os trabalhos de campo realizados para coleta de amostra de solo. Com as amostras coletadas, utilizou-se o algoritmo de classificação *Maximum Likelihood Classification*, que apresentou melhores resultados em relação aos demais em testes feitos anteriormente.

Para classificação dos tipos de cobertura vegetal, utilizou-se dados do mapeamento realizado pelo projeto GeoMS (Silva et al. 2011) na escala de 1:100.000 para todo estado de Mato Grosso do Sul - MS, desenvolvido pela Embrapa Informática. Foi extraída, desse mapeamento, informações sobre a fitofisionomia da cobertura vegetal identificada pelo projeto, sendo corroborada com os dados de campo realizados na área de estudo.

O padrão de cores das classes de uso da terra e cobertura vegetal foram definidos conforme descrito nos manuais técnicos do Instituto Brasileiro Geografia e Estatística (IBGE) de uso da terra (IBGE, 2013) e vegetação brasileira (IBGE, 2012).

Na B.H.I os usos da terra mais expressivos em termos quantitativos de área geográfica são: agricultura e pastagem. Em torno de 37% da área total da bacia contempla usos agrícolas (soja e milho) e 34% pastagem (Quadro 8).

Uso da terra por canais está presente ao longo de toda bacia, associado quase sempre a solos de textura franca ou arenosa, especialmente na região de baixo curso da bacia. Segundo Ferreira e Silva (2019) o setor sucroenergético está em expansão na região do presente estudo, fato que justifica a ocorrência de quase 8% do uso da terra pela cultura da cana-de-açúcar.

Em torno de 6% da área de estudo apresentava solo exposto no momento da amostragem. Este valor está associado ao período de entressafra da região (mês de agosto), coincidindo com a retirada do milho e preparo do solo para o plantio de soja. Neste intervalo entre uma safra e outra é fundamental que se mantenha o solo com cobertura a fim de reduzir perdas de água, solo e nutrientes e favorecer a manutenção da microbiota do solo.

Os remanescentes vegetais presentes na BHI são compostos predominantemente por fitofisionomias de Cerrado, Floresta Aluvial, Floresta Estacional e Áreas de transição (Ecótonos). Na planície dos rios Paraná e Ivinhema (áreas úmidas; solos mal drenados) ocorrem Formações Pioneiras de vegetação herbáceo-arbustiva a arbórea e vegetação aquática (POTT et al., 2014). Atualmente os remanescentes de vegetação nativa somam 14,7% da área total da bacia, dos quais 9,8% são remanescentes florestais e 4,9% são formações pioneiras. Ainda com relação a ocupação florestal cerca de 0,26% da área contempla floresta plantada ou silvicultura.

Quadro 8. Uso da terra e cobertura vegetal, grau de fragilidade, características e área abrangente

Uso da terra e cobertura vegetal	Grau de fragilidade	Características	Área km ²	%
Cerrado	Muito baixo	Vegetação natural: são remanescentes de vegetação nativa, compostos por fitofisionomias diversas como Cerrado, Floresta Estacional e Aluvial. Geralmente em pequenos fragmentos.	1.584,2	4,2
Floresta Estacional			597,8	1,58
Floresta Aluvial			1.399	3,7
Ecótono			121	0,32
Pastagem	Médio	Pastagem: campos naturais ou plantados, atribuídos a criação de gado de corte ou leiteiro. Silvicultura: áreas de reflorestamento (eucalipto ou pinus) para exploração econômica madeireira. Cana-de-açúcar: áreas destinadas ao plantio da cultura cana-de-açúcar.	12.752,6	33,8
Silvicultura			98,2	0,26
Cana-de-açúcar			2.930,3	7,8
Agricultura de ciclo curto (soja e milho)	Alto	Agricultura: áreas destinadas à atividade agrícola com cultivos temporários (soja e milho).	13.918,4	37
Solo exposto	Muito Alto	Solo exposto: áreas com ausência de cobertura geralmente em fase de preparo do solo para plantio. Área úmida: compreende a região de baixo curso da bacia, planícies com inundação frequente ou esporádica. Área urbana: áreas correspondentes às cidades (sedes municipais), às vilas (sedes distritais) e às áreas urbanas isoladas.	2.248,5	6
Área úmida			1.835,8	4,9
Área urbana			201,2	0,53

Org.: Os Autores (2022).

As áreas urbanas distribuem-se ao longo de toda a bacia e ocupam cerca de 0,53% da unidade hidrográfica. As sedes municipais mais expressivas em termos quantitativos de área geográfica

compreendem as cidades de: Dourados, Ponta Porã, Sidrolândia, Maracaju, Nova Andradina e Rio Brilhante.

Etapa 4: Fragilidade Ambiental ou Emergente

Para elaboração do mapa de fragilidade ambiental ou emergente, realizou-se a sobreposição ponderada (álgebra de mapas) entre uso da terra e cobertura vegetal do ano de 2019 com o mapa de fragilidade potencial, que culminou na fragilidade ambiental. O mapa de uso da terra e

cobertura vegetal foi convertido para o formato *raster* e teve suas classes reclassificadas de acordo com os pesos de fragilidade à proteção do solo em função do uso da terra e cobertura vegetal praticado na área, conforme Ross (1994; 2012).

Resultados e discussão

Fragilidade Potencial

A sobreposição dos dados de geologia, declividade, erosividade da chuva, solos, teor de argila, teor de matéria orgânica e grau de floclulação do solo possibilitou caracterizar a

fragilidade potencial da B.H.I em quatro classes: fragilidade potencial baixa, fragilidade potencial média, fragilidade potencial alta e fragilidade potencial muito alta (Figura 3).

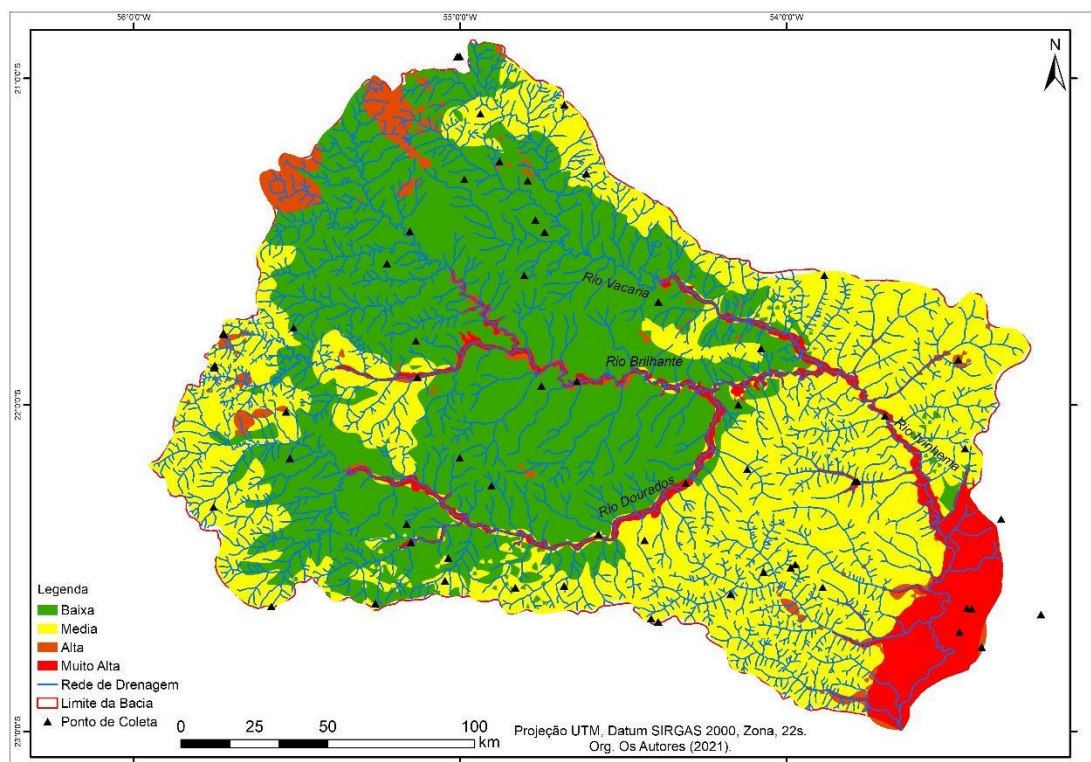


Figura 3. Mapa de Fragilidade Potencial da B.H.I.

Houve predomínio da classe de fragilidade potencial baixa na B.H.I, cerca de 17.977 km² ou 47,7% da área total da bacia (Quadro 9). A fragilidade potencial baixa está situada desde a porção central até o extremo Oeste, com áreas de fragilidade potencial média a Sudoeste da bacia, na fronteira com o Paraguai, e áreas de fragilidade potencial alta a Noroeste da bacia, próximo a Serra de Maracaju, no divisor topográfico da B.H.I.

De maneira geral, a fragilidade potencial baixa está associada às características geológica, pedológica e clinográfica presentes na área de estudo. A formação geológica da área com fragilidade potencial baixa é característica da Serra Geral, que contribui para formação de solos profundos e bem drenados como os solos LV e NV (Foto a). Por outro lado, os basaltos que deram origem a esses solos possuem granulometria fina a afanítica, o que contribui para formação de solos argilosos com fragilidade potencial baixa (CPRM, 2006).

A textura argilosa e muito argilosa predominante nos solos LV e NV da B.H.I contribuem para maior retenção de matéria orgânica, se comparada a solos arenosos. O acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo favorece a agregação e a infiltração de água no solo, acarretando baixas taxas de perda de solo, quando em ambientes de baixa declividade (Loss; Comin, 2015).

Por outro lado, na medida que a declividade aumenta os solos possuem a tendência de se tornarem mais rasos (RL e RR) e suscetíveis aos processos erosivos, devido à lenta pedogênese (Storto; Cocato, 2018). Na B.H.I em torno de 28 km² ou 0,074% da área total da bacia possui inclinação entre 6 e 12% e 7,3 km² ou 0,02% apresentam inclinação superior a 12%, condição que eleva a fragilidade potencial dessas áreas.

Quadro 9. Fragilidade Potencial e Área Abrangente.

Graus de Fragilidade Potencial	Área km ²	%	Foto
Baixa	17.977	47,7	
Média	14.448,1	38,3	
Alta	2.335,58	6,2	
Muito Alta	2.926,32	7,8	

A classe de fragilidade potencial média abrange cerca de 14.448 km² ou 38,3% da área total da bacia. A maior área contínua de fragilidade potencial média está distribuída de centro para Leste da B.H.I, a partir da confluência dos rios: Dourados, Brilhante e Vacaria, formadores do Rio Ivinhema. Há também a ocorrência de fragilidade potencial média ao Norte do Rio Vacaria, associada a Formação Geológica Caiuá e no extremo Oeste e

Sudoeste da bacia, coincidindo com a Formação Geológica Ponta Porã (Foto b).

As áreas com grau médio de fragilidade potencial relacionam-se com a ocorrência de formações geológicas de fragilidade alta (Formação Ponta Porã) e fragilidade média (Formação Caiuá). Os solos oriundos dessas formações possuem fragilidade potencial alta (PV) e muito alta (FT, FF, GX, RQ, SX) nessas áreas. De modo geral, as formações geológicas Ponta Porã e

Caiuá originam solos arenosos e franco arenosos. Do ponto de vista da fragilidade textural, esses solos são mais suscetíveis a degradação quando comparados aos argilosos, em condições ambientais semelhantes (Donagemma et al., 2016).

Por outro lado, a predominância de relevo com características planas (0 a 3%), teor de matéria orgânica médio a alto e grau de flocculação acima de 50% contribuiu para redução da fragilidade potencial, gerando uma configuração geral de fragilidade potencial média. Assim, a inserção de novos fatores contribuiu para uma classificação mais pormenorizada da fragilidade potencial do ambiente, condição fundamental para o planejamento de uso e à gestão sustentável dos recursos naturais.

Dentre as classes de fragilidade potencial encontradas/mapeadas na B.H.I, a classe alta foi a menos representativa em termos quantitativos de área geográfica. Observou-se que cerca de 2.335 km² ou 6,2% da área total da bacia possui fragilidade potencial alta. De modo geral, as áreas com fragilidade potencial alta estão distribuídas ao longo de toda bacia, em pequenas áreas, se comparada as fragilidades baixa e média.

Na região do alto curso da bacia ocorrem as maiores áreas de fragilidade potencial alta, associadas a presença de declividades mais acentuadas (>12%), quando comparada com a região de médio e baixo curso. A presença de solos rasos (RL e RR) contribui para instabilidade destas áreas aumentando sua fragilidade potencial.

Segundo Santos et al. (2018) os solos RL e RR apresentam camada pouco espessa, com contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície, no caso do solo RL, e sem contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície para a classe RR, estando associados a terrenos acidentados e pedregosos, no caso da B.H.I, estes fatores limitam o crescimento radicular, o uso de máquinas agrícolas e elevam o risco de erosão e formação de sulcos, ravinas e voçorocas (Foto c).

Fragilidade Ambiental

A sobreposição do mapa de fragilidade potencial com o mapa de uso e ocupação da terra possibilitou caracterizar a B.H.I em quatro classes de fragilidade ambiental: fragilidade ambiental

Fatores como tipo de solo e declividade são decisivos para se impor limitação às formas de ocupação (Valle et al., 2016). Portanto, as recomendações mais adequadas para áreas declivosas e com solos rasos são normalmente a preservação da flora e fauna. Wang et al. (2016) identificaram que as maiores taxas de erosão de solos estão relacionadas a ecossistemas frágeis que sofreram mudanças no uso da terra.

A cobertura vegetal natural exerce papel fundamental contra os processos erosivos de uma área, este efeito, em parte, está relacionado a ação das raízes fixadas no solo e ao aporte de restos vegetais, que evitam o impacto direto das gotas de chuva. De maneira geral, os sistemas naturais encontram-se em sua dinâmica normal de ganhos e perdas de matéria, condição que possivelmente levou milhares de anos para adquirir (Nogueira et al., 2019), portanto, qualquer intervenção em áreas de baixa estabilidade deverá ser bem dimensionada a fim de evitar impactos negativos ao ambiente.

Em termos quantitativos de área geográfica a classe de fragilidade potencial muito alta ocupa a terceira maior área da B.H.I, abrangendo cerca de 2.926 km² ou 7,8% da área total da bacia. Situada próxima aos leitos fluviais dos principais rios constituintes da bacia e no extremo Leste, associada a Planícies Fluviais e Terraços Fluviais que confere condições naturais de fragilidade potencial muito alta, em função da instabilidade dos terrenos e ocorrência de inundações periódicas (Abrão; Bacani, 2018).

A planície do baixo curso do rio Ivinhema passa por inundações periódicas, característica que favorece a formação de uma infinidade de lagoas e vegetação fechada, ou seja, habitat ideal para perpetuação da diversidade biológica. Esta porção da bacia representa atualmente a última área de ecossistema de planície aluvial da Bacia do Rio Paraná livre de represamento (Carvalho et al., 2019).

baixa, fragilidade ambiental média, fragilidade ambiental alta e fragilidade ambiental muito alta (Figura 4).

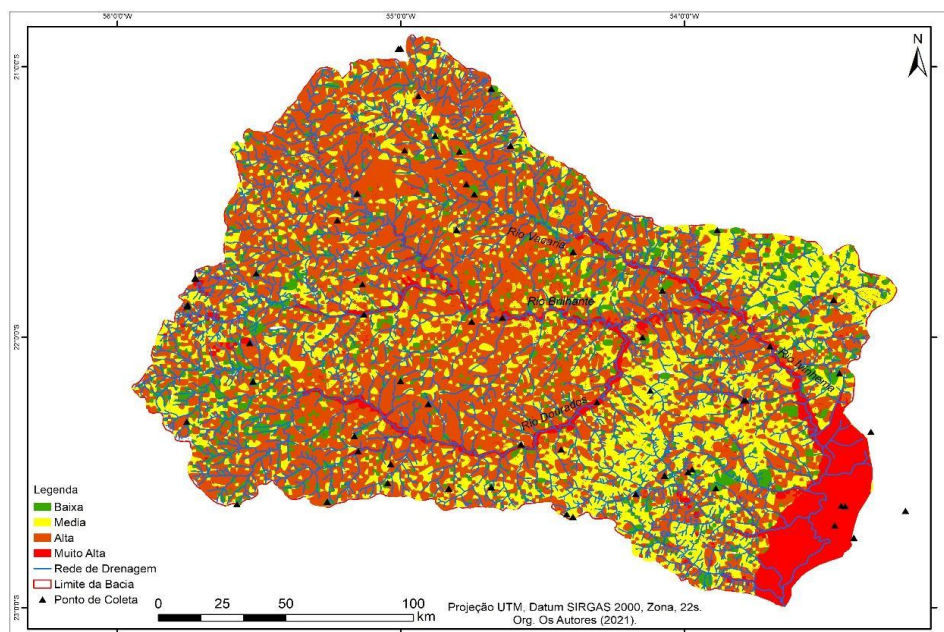


Figura 4. Mapa de Fragilidade Ambiental da B.H.I.

Comparando os mapas de fragilidade potencial e ambiental pode-se observar que os usos da terra contribuíram para aumentar a fragilidade ambiental no interior da B.H.I. A fragilidade anteriormente considerada alta apenas pelos elementos físicos naturais passou de 2.335 km² ou 6,2% para 16.795 km² ou 44,6% após a inclusão do uso da terra e cobertura vegetal, especialmente tendo a agricultura como maior abrangência encontrada na bacia, conforme pode ser visto no Quadro 10 (foto g).

Corroborando com o presente estudo, Martins et al. (2018) observaram predominância de fragilidade ambiental alta, na Bacia Hidrográfica do Rio Peruaçu, Estado de Minas Gerais. Os autores atribuíram a condição de alta fragilidade aos tipos de solos, rastos e hidromórficos, altas declividades e principalmente as classes de uso e cobertura da terra como afloramento rochoso, solo exposto e agricultura.

A presença de solo exposto em 2.248 km² ou 5,9% e agricultura em 13.918 km² ou 37% da área total da bacia contribuíram para aumentar a fragilidade. Cerca de 36% da área anteriormente classificada com fragilidade potencial baixa deu lugar a fragilidade ambiental alta. Essa conversão do grau de fragilidade revela o quanto o uso e ocupação da terra pode aumentar ou atenuar a fragilidade do ambiente.

Segundo Santos e Marchioro (2020) a cobertura vegetal fornece proteção ao solo,

contribuindo para maior capacidade de infiltração de água e diminuição do escoamento superficial (*surface runoff*). Além de fornecer matéria orgânica para o solo, contribuindo com a estruturação do solo e retenção de nutrientes no sistema solo (Stuani et al., 2021; Sperandio et al., 2022).

Semelhantemente a fragilidade potencial média houve predomínio de fragilidade ambiental média de centro para Leste da B.H.I, a partir da confluência dos rios: Dourados, Brilhante e Vacaria, formadores do Rio Ivinhema (Foto f). Todavia, nas regiões de médio e alto curso da bacia a fragilidade ambiental média ocorre, entretanto, em menores áreas se comparada a região de baixo curso da bacia.

Em termos quantitativos de área geográfica a fragilidade ambiental média abrange a segunda maior proporção de área na B.H.I, com cerca de 12.865 km² ou 34,1%. Essa classe de fragilidade associa-se com a maior parte dos elementos físicos naturais considerados na análise com peso médio. Como exemplo pode-se destacar a Formação Geológica Caiuá, na qual é possível observar rochas predominantemente areníticas na sua formação, sendo estes tipos de rochas bastantes porosas e facilmente desagregáveis por meio da ação da chuva (Aparecido et al., 2022).

Quadro 10. Fragilidade Ambiental e Área Abrangente.

Graus de Fragilidade Ambiental	Área km ²	%	Foto
Baixa	4.400	11,6	 e)
Média	12.865,5	34,1	 f)
Alta	16.795,2	44,6	 (f) g)
Muito Alta	3.626,3	9,6	 h)

Os solos oriundos da Formação Caiuá são predominantemente da ordem dos PV, cujo grau de fragilidade adotado na análise foi alto (Ross, 1994). Apesar de ser considerado um solo de textura frágil, por ser essencialmente arenoso, deve-se ressaltar que os teores de matéria orgânica se situaram entre 20 e 40 g kg⁻¹ e o grau de floculação entre 50 e 80%. Estes atributos associados aos teores de argila e silte, ainda que baixos se comparados a fração granulométrica predominante, areia, desempenham papel

fundamental na estabilização deste ambiente. Segundo Moura-Bueno et al. (2018) a presença de matéria orgânica, silte e argila melhoram a coesão entre as partículas do solo e reduz sua suscetibilidade a desagregação.

Com relação ao uso da terra e cobertura vegetal as áreas classificadas com fragilidade ambiental média, especialmente no baixo curso da bacia, estão associadas às pastagens e cana-de-açúcar. Em estudo na Bacia Hidrográfica do rio Santo Antônio, Estado de Mato Grosso do Sul,

Abrão e Bacani (2018) observaram que o uso da terra predominante pela pastagem influenciou o aumento da fragilidade ambiental.

A presença de agricultura de monoculturas (soja e milho) na região de baixo curso da bacia, apesar de ser menos expressiva que na região de médio e alto curso representa um fator de risco à erosão do solo. Essa ideia se justifica pela ocorrência de solos arenosos (PV, RQ e SX), com teor de matéria orgânica variando de baixa a média e maior precipitação pluviométrica comparada às outras partes da bacia.

De maneira geral, a erosão causada pela água da chuva é a forma mais significativa de degradação do solo (Anache et al., 2017). A ausência de cobertura do solo, baixos teores de argila e matéria orgânica e relevo dissecado potencializam os problemas de erosão do solo. Portanto, para as regiões de solos areníticos, isto é, de Centro para Leste (Arenito Caiuá e Depósitos Aluvionares) e no Sudoeste da B.H.I (Formação Ponta Porã) devem ser adotadas o uso de técnicas conservacionistas já desenvolvidas pelas pesquisas da agropecuária brasileira como: Sistema de Plantio Direto, Integração Lavoura Pecuária, Integração Lavoura Pecuária Floresta e Sistemas Agroflorestais (Donagemma et al., 2016).

A fragilidade ambiental baixa abrangeu cerca de 4.400 km² ou 11,7% da área total da bacia. Distribui-se preponderantemente nas áreas cobertas por vegetação nativa (Foto e), elemento este da paisagem natural, que confere maior estabilidade ao ambiente, se comparado com áreas destituídas de vegetação (Bueno et al., 2018). Como a vegetação nativa em sua maior parte está restrita a pequenos fragmentos ao longo de toda a bacia, a fragilidade ambiental baixa refletiu a intensa fragmentação da cobertura vegetal.

Estudo realizado por Storto e Cocato (2018) observou que a existência de cobertura vegetal em estágio médio e avançado, oferece proteção muito alta aos solos, independentemente de quais sejam, e estando em declividades mais acentuadas ou não. Na mesma direção, Santos e Marchioro (2020) avaliaram os graus de fragilidade potencial e ambiental nos anos de 1970, 2008 e 2012 e demonstraram que a fragilidade ambiental baixa pode ser incrementada com a recuperação da vegetação nativa.

Por outro lado, Valle et al. (2016) relataram que da mesma forma como a cobertura florestal oferece maior proteção em relação aos processos erosivos, a atividade antrópica é capaz de potencializá-los. Esse argumento parece fazer

sentido para região do presente estudo, visto que, após inserir o uso da terra e cobertura vegetal cerca de 36% da fragilidade potencial baixa foi convertida em alta fragilidade ambiental.

A fragilidade ambiental muito alta aumentou cerca de 1,8% em relação a fragilidade potencial muito alta. De modo geral, esse aumento ocorreu na região de alto curso da bacia, mais especificamente nos municípios de Ponta Porã e Maracaju, cujas características físicas naturais como a geologia, solos e declividade já sinalizavam alta fragilidade potencial, assim, ao se considerar os usos da terra (agricultura, pastagem, cana-de-açúcar e solo exposto) elevou-se a instabilidade, resultando em fragilidade ambiental muito alta (Foto h).

O aumento da fragilidade ambiental caracteriza-se como resultado de usos da terra incorretos, em relevo dissecado (>12%) com potencial de suscetibilidade aos processos erosivos, especialmente por estarem associados a solos rasos como RL, RR e FF. Para Degrande e Bortoluzzi (2020), quando esses solos são submetidos a intensas precipitações, podem favorecer a ocorrência de erosão laminar, o surgimento de sulcos, ravinas e até voçorocas.

O uso inadequado de áreas já frágeis devido à acentuada declividade e solos limitados (rasos) podem agravar e degradar a situação da área em questão, pois o funcionamento dos sistemas naturais é interligado (Santos et al., 2022).

Em termos quantitativos de área geográfica a fragilidade ambiental muito alta abrange cerca de 3.626 km² ou 9,6% da área total da bacia. Presente em sua maior parte na planície do rio Ivinhema e as margens dos leitos fluviais, este grau de fragilidade se justifica pela alta sensibilidade destes ecossistemas, isto é, baixa capacidade de regeneração após passar por uma perturbação/degradação. Para Gouveia e Ross (2019), áreas de planície de inundação são majoritariamente consideradas de muito alta fragilidade, onde o mais recomendado é que sejam utilizadas por usos sustentáveis, com pastoreio nativo com baixas taxas de animais ou apenas agricultura de subsistência. Ressalta-se também que, essas áreas são muito frágeis a sofrer episódios de inundações nos períodos de maior intensidade de chuvas, o que pode ocasionar perdas econômicas e até mesmo riscos para a vida humana (Mantovani; Bacani, 2018).

Esta classificação, no caso da BHI, se justifica pela presença de Várzeas e Veredas consideradas pelo código florestal brasileiro como

Área de Preservação Permanente (APP) (Brasil, 2012). A presença de artefatos arqueológicos (pontas de flechas, machados e raspadores de pedra) encontrados entre 0,8 e 1,2 m de profundidade (FORTES et al., 2007), conferem a esta área o estado de sítio de excepcional beleza ou

de valor científico, cultural ou histórico de conservação de registros da ocupação no Mato Grosso do Sul, bem como é preconizado pelo código florestal brasileiro, devendo ser preservado (Brasil, 2012).

Considerações Finais

A integração de novos atributos químicos e físicos do solo, bem como dos fatores físicos já consolidados na metodologia tradicional de Ross (1994; 2012) permitiram avaliar que há predominância da fragilidade potencial baixa na B.H.I. Os resultados mostraram que a fragilidade potencial baixa está relacionada às características geológica, pedológica e clinográfica presentes na área de estudo.

A fragilidade potencial média foi influenciada positivamente pela inserção de novos atributos na metodologia tradicional, sendo o grau de flocculação do solo a variável mais influente na configuração da fragilidade potencial média. Além dos novos fatores inseridos na análise, a predominância de relevo com características planas (0 a 3%) e a formação geológica Caiuá foram decisivas para esta classe de fragilidade.

Situada na região de alto curso da bacia, a fragilidade potencial alta foi associada a presença de solos rasos (RL e RR) e declividade acima de 12%. Em sentido oposto da área ocorre a fragilidade potencial muito alta, associada as planícies de inundações e leitos fluviais.

Com relação a fragilidade ambiental pode-se avaliar que os tipos de uso da terra contribuíram

para elevá-la. Áreas anteriormente classificadas com fragilidade potencial baixa deram lugar a fragilidade ambiental alta, devido a conversão do uso da terra que confere pouca ou nenhuma proteção ao solo, como agricultura de ciclo curto e solo exposto. Os remanescentes de vegetação nativa contribuíram para atenuar a fragilidade ambiental, demonstrando-se fundamentais à proteção do solo. Nesse sentido, é de vital importância preocupar-se com a ordenação do uso dos recursos naturais que ainda restam e atentar para o fato de que estes sejam utilizados de forma racional visando a sua conservação.

A utilização de técnicas de geoprocessamento como ferramenta de análise possibilitou mapear a fragilidade potencial/ambiental da área de forma holística. A inserção de novos atributos na metodologia de análise (argila, matéria orgânica e grau de flocculação) foi essencial para o entendimento de diferentes realidades e, consequentemente, contribuirá para o planejamento e a gestão territorial. A adaptação da metodologia possibilita ao analista ou aos gestores do território integrar novos fatores segundo os objetivos almejados com informações derivadas da fragilidade ambiental.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado ao primeiro autor

junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

Referências

- Abrão, C. M. R.; Bacani, V. M., 2018. Diagnóstico da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ambiental. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, 38, 619-645, <https://doi.org/10.5216/bgg.v38i3.56362>.
- Almeida, P. F.; Silva, J. B. L.; Neves, F. M., 2020. Vulnerabilidade Ambiental do Município de Teixeira de Freitas-BA. Revista Brasileira de Geografia Física [online], 13, 1587-1609. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1587-1609>.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G., 2013 Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift v. 22, n. 6, p. 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Anache, J. A. A.; Wendland, E. C.; Oliveira, P. T. S.; Flanagan, D. C.; Nearing, M. A., 2017. Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall: A meta-analysis of the Brazilian experience. Catena, v. 152, p. 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.003>

- Aparecido, A.; Geraldo Berezuk, A.; Aparecido da Silva, C. (2022). A fragilidade ambiental do córrego pirajuí como resultado do uso e ocupação de suas terras – Mato Grosso do Sul – Brasil. *Revista Eletrônica Da Associação Dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas*, v. 1, n. 35, 65-97. <https://doi.org/10.55028/agb-tl.v1i35.13428>
- Arai, F. K., 2010. Caracterização da disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Ivinhema, MS.. 127 f. Dissertação (Agricultura). Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, Mato Grosso do Sul.
- Barreto, A. B.; Tavares, D. D.; Silva, P. L. F.; Oliveira, F. P.; Martins, A. F.; Pereira, W. E., 2019. Argila dispersa em água e grau de floculação de um Latossolo sob gramíneas no Brejo da Paraíba (Brasil). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*. v.7, n.3. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3575228>
- Brasil. Código Florestal., 2012. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acessado em: 28 fev. 2021.
- Bueno, K.; Cunha, J. E.; Bortoluzzi, L. N., 2018 O entendimento da fragilidade ambiental do município de Guaíra – Paraná. *Caminhos de Geografia Uberlândia - MG* v. 19, n. 68. p. 81–100, DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG196806>
- Carvalho, E. M.; Pereira, N. S.; Ansilago, M.; Guimarães, F. J., 2019. Estudo parcial do plano de manejo do parque estadual das Várzeas do Rio Ivinhema como subsídio para ações estratégicas. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 14740-14760 sep. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n9-3151>
- Cassol, C. J.; de Arruda, E. J.; Alovise, A. M.T.; Abrão, C. M. R.; Dal Cortivo, N. S.; Gning, A.; Dal Pozzo, D. M.; Rodrigues, R. da S., 2020. Teores de fósforo disponível em solos de textura arenosa média e argilosa. *Braz. J. Anim. Environ. Res.*, Curitiba, 3, 266-275.
- Cavalcante, J. C.; Lima, A. M. M. Silva, J. C. C.; Holanda, B. S. Almeida, C. A. 2004. Fragilidade ambiental potencial e emergente da bacia do rio Mocajuba – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.15, n.03 1417-1433. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1417-1433>
- Crepani, E.; Medeiros, J. S. de.; Hernandez, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F., 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: SAE/INPE.
- CPRM (Companhia de pesquisa de Recursos Minerais). Mapas Geológicos 1:1.000.000 Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/mapa_mato_grosso_sul.pdf. Acessado em 12 de set. de 2019.
- Dantsova, K. M.; Hayes, C.; Pennington, J. C.; Porter, B., 2009. Sorption of high explosives to waterdispersible clay: influence of organic carbon, aluminosilicate clay, and extractable iron. *Journal of environmental quality*, 38(4),1458-1465. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0183>
- Degrande, E. J. S.; Bortoluzzi, L. N., 2020. Análise da fragilidade ambiental potencial e emergente da bacia hidrográfica do Córrego da Onça em Presidente Prudente/SP. *Geografia em Questão*, v. 13, n. 3, 33-50 <https://doi.org/10.48075/geoq.v13i3.22570>
- Donagemma, G. K.; Freitas, P. L.; Balieiro, F. C.; Fontana, A.; Spera, S. T.; Lumberras, J. F.; Viana, J. H. M.; Araujo Filho, J. C.; Santos, F. C.; Albuquerque, M. R.; Macedo, M. C. M.; Teixeira, P. C.; Amaral, A. J.; Bortolon, E.; Bortolon, L., 2016. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. *Pesq Agropec Bras.*, vol. 51, n. 9, p. 1003-1020. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900000>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA., 1979. National Soil Survey and Conservation Service (Rio de Janeiro, RJ). Summary of the 10th Soil Survey Technical Meeting. Rio de Janeiro, 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).
- FAO. 2019. Diretrizes Voluntárias para a Gestão Sustentável dos Solos. Roma. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i6874pt/I6874PT.pdf>. Acessado em 15 de fevereiro de 2021.
- Ferreira, P. S.; Silva, C. A., 2019. Dinâmicas e gestão do território, a cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do Rio Brilhante – MS/Brasil. *Physis Terrae*, v. 1, n. 1, p.141-158. DOI: <https://doi.org/10.21814/physisterrae.450>
- Fortes E.; Volker S.; Stevaux J. C.; Marques A. J., 2007. Anomalias de drenagem e controles morfotectônicos da evolução dos terraços do baixo curso do rio Ivinhema – MS. *Geociências*, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 249-26. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/1762/1536>. Acessado em 15 de jul. de 2021.

- Gonçalves, G. G. G.; Daniel, O.; Comunello, E.; Vitorino, A. C. T.; Arai, F. K., 2011. Determinação da Fragilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas. *Floresta*, v.41, n.4, p.797-808. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i4.25344>
- Gouveia, I. C. M. C.; Ross, J. L. S., 2019. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevô. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 37, p. 123-136. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.151030>
- Guerra, L. C.; Vieira, E. M., 2022. Socio-environmental Vulnerability Analysis of the Piracicaba River Basin as an environmental indicator for the management of water resources. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 04 1926-1946. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.4.p1926-1946>
- IBGE., 2013. Manual Técnico de uso da terra. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE. 171p.
- IBGE. 2012 Manual Técnico de Vegetação. Rio de Janeiro: IBGE. 175p.
- Ivasko Júnior, S.; Mastella, A. D. F.; Tres, A.; Tetto, A. F.; Wendling, W. T.; Soares, R. V., 2020. Classificação do estado de Mato Grosso do Sul segundo sistema de zonas de vida de Holdridge. *Revista Brasileira de Climatologia*. v. 26, n. 16 p. 629-645, DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.61843>
- Leite, E. F., Berezuk, A. G., da Silva, C. A., 2022. A vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Miranda, Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.15 n. 05. 2613-2639. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2613-2639>
- Liu, X. B.; Zhang, X. Y.; Wang, Y. X.; Sui, Y. Y.; Zhang, S. L.; Herbert, S. J.; Ding, G., 2010. Soil degradation: a problem threatening the sustainable development of agriculture in Northeast China. *Plant, Soil and Environment*, v.56, p.87-97. <https://doi.org/10.17221/155/2009-PSE>
- Lopes, S. M. F.; Cabral, J. B. P.; Braga, C. de C.; Ramalho, F. L., 2016. Avaliação espaço-temporal do uso da terra nas bacias hidrográficas do ribeirão Paraíso-GO e córrego Cerrado/Cadunga-MG. *Geoambiente On-Line*. n. 27, p. 114-133. DOI: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i27.44758>
- Loss, A.; Comin, J. J., 2015. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. n. 4 v. 39, p.1212-1224. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140718>
- Martins, R. N.; Colares, A. P. F.; Almeida, S. L. H.; Zanella, M. A.; Nery, C. V. M., 2018. Fragilidade potencial e emergente na bacia do rio Peruaçu, região norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomática*, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 99-118, abr/jun. <http://dx.doi.org/10.3895/rbgeo.v6n2.7521>
- Mantovani, J. R. e V. M. Bacani., 2018. Uma proposta metodológica de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação e/ ou alagamento na bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS. *GEOUSP Espaço e Tempo*, v. 22, n. 3, p. 687-706. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2018.146752>
- Miguel, A. E. S.; Medeiros, R. B.; Decco, H. F.; W. Oliveira., 2013. Avaliação da Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Rio Taquaruçu/MS. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas*, v. 10, n. 18, p. 66-84.
- Mira, Í. R. C. Carvalho, D. S.; Souza, D. S. L.; Silva, M. L., 2022. Vulnerabilidade Ambiental da Sub-Bacia do Alto-Médio Rios Mogi Guaçu e Pardo – MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.15, n.03 1352-1370. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1352-1370>
- Moreira, M. A., 2007. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 3ª ed 1ª reimp. Ed. da UFV. 320p.
- Moura-Bueno, J. M.; Dalmolin, R. S. D.; Miguel, P.; Horst, T. Z., 2018. Erosão em áreas de encosta com solos frágeis e sua relação com a cobertura do solo. *Scientia Agraria*, v. 19, n. 1, p. 102-112. <https://doi.org/10.5380/rsa.v19i1.53738>
- Nogueira, A. M.; Tocantins, N.; Salomão, F. X. de T., 2019. Degradação de áreas com processo de Arenização na Bacia do Córrego Guanabara, município de Reserva do Cabaçal –MT. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 722-737, jun. ISSN 1984-2295. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p722-737>
- Nunes, H. B.; Kato, E.; de Sá, M. A. C.; Neto, J. P. S.; de Carvalho, A. dos S. Rosa, V. A., 2020. Variações no método de yoder e suas implicações em solos de cerrados com diferentes texturas. *Braz. J. Anim. Environ. Res.*, Curitiba, v. 3, n. 4, p. 2970-2989. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n4-019>
- Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Ivinhema-PRHBHRI. Campo Grande – MS, abril de 2015. Disponível em: <http://www.servicos.ms.gov.br/imasuldownloads/planosdebacia/PLANOIVINHEMA.pdf>. Acessado em 05 de novembro de 2019.
- Pott, A.; da Silva, J. dos S. V.; Gomes, E. L., 2014. Características da Bacia Hidrográfica do Rio

- Ivinhema. Revista GeoPantanal • UFMS/AGB • Corumbá/MS • N. 16 • 109-124 • jan./jun.
- Ross, J. L. S., 2012. Land forms and environmental planning: potentialities and fragilities. Revista do Departamento de Geografia, FFLCH/USP, São Paulo, Volume Especial 30 anos RDG, p. 38-51. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0003>
- Ross, J. L. S., 1994. Análise empírica da fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, FFLCH/USP, São Paulo, p. 63-74, fev. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>
- Santos, M. dos.; Souza, C. A. de.; Sousa, J. B. de., 2022. A fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha, município de Cáceres -Mato Grosso. Research, Society and Development, v. 11, n. 10, e594111033111. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.33111>
- Santos, J. R. U.; Marchioro, E., 2020. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. Revista do departamento de geografia, 39, 72-87. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>
- Santos, H. G. dos.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos.; Oliveira, V. A. de.; Lumberras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de.; Araujo Filho, J. C. de.; Oliveira, J. B. de.; Cunha, T. J. F., 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa.
- Silva, J. S. V.; Pott, A.; Abdon, M. M. Pott, V. J.; Santos, K. R., 2011. Projeto GeoMS: Cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária. 64p.
- Silva, A. S.; Silva, I. D. F.; Bandeira, L. B., Dias, B. O.; Silva Neto, L. D. F., 2014. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. Ciência rural, v. 44, n. 10, p. 1783-1789. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130789>
- Soares, M. D. R.; Campos, M. C. C.; Da Cunha, J. M.; Campos Mantovanelli, B.; Amorim de Oliveira, I.; Gomes de Brito Filho, E.; Ferreira Lima Leite, A., 2018. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. Gaia Scientia. v. 12, n. 2. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2018v12n2.34416>
- Souza, D. S. L.; Dellargne, F. L.; Mira, I. R. C.; Silva, G. T. G.; Silva, M. L., 2020. Análise e Mapeamento da Fragilidade Ambiental no Município de Inconfidentes–MG. Revista Brasileira de Geografia Física [online], 13, 2269-2292. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2269-2292>
- Sperandio, H.; Roldi Guariz, H.; Hericles Lopes Silva, B., Kelly Marques Rocha Nunes, T.; Carmem Martins, I., 2022. BALANÇO DE NUTRIENTES EM ÁREA COM LEGUMINOSAS. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 4 p. 1691-1700. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.4.p1691-1700>
- Storto, C.; Cocato, G. P., 2018. Análise de Fragilidade Ambiental a partir de Técnicas de Geoprocessamento: Área de Influência da Hidrelétrica de Mauá-PR. Revista Brasileira de Geografia Física, 11, (5), 1694-1708. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.5.p1694-1708>
- Stuani, G. R.; Silva, A. C. da, Higuchi, P., Larsen, J. G., Machado, F. D.; Santos, G. N. dos. 2021. Impacto antrópico na dinâmica de uma floresta nebulosa do planalto catarinense. Ciência Florestal, v. 31, n. 4 (2021) 1714–1732. <https://doi.org/10.5902/1980509842667>
- Sutil, S. C.; Gonçalves, J. A. C.; Vieira, E. M., 2020. Análise comparativa da fragilidade ambiental da bacia do rio Piracicaba a partir da aplicação de dois modelos metodológicos: suporte para o estabelecimento e proposição de Corredores Ecológicos. Revista Brasileira de Geografia Física. v.13, n.06, p. 3060-3077. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p3060-3077>
- Tavares, D. D.; Silva, P. L. F. da.; Oliveira, F. P. de.; Martins, A. F.; Silva, A. J. da.; Souza, A. P. de.; Pereira, W. E.; Campos, M. C. C., 2022. Agregação e coeficiente de vulnerabilidade estrutural de um Latossolo sob plantio direto e adubações nitrogenadas e potássicas. Scientia Plena, v. 18, n. 7 1-12. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.070204>
- Teixeira, P. C.; Donagema, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G., 2017. Manual de métodos de análise do solo. 3. ed. Brasília: Embrapa, 573 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>. Acessado em 12 de agosto de 2019.
- Tricart, J., 1977. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE. 91 p.
- Valle, I. C.; Francelino, M. R.; Pinheiro, H. S. K., 2016. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. Floresta e Ambiente, 23, (2), 295-308,. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.107714>
- Vendrame, P. R. S.; Eberhardt, D. N.; Brito, O. R.; Marchão, R. L.; Quantin, C.; Becquer, T., 2011. Formas de ferro e alumínio e suas relações com

- textura, mineralogia e carbono orgânico em Latossolos do Cerrado. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 1, p. 1657-1666. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32Suplp1657>
- Vezzani, F. M.; Mielniczuk, J., 2011. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 213-223. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>
- Wang, X.; Zhao, X.; Zhang, Z.; Yi, L.; Zuo, L.; Wen, Q.; Liu, B.; Xu, J.; Hu, S.; Liu, B., 2016. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. *Catena*, v. 137, p. 256-268,. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.004>