

## VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO, BONITO-MS

Kassia Raylene Sousa da **Silva**<sup>1</sup>, Elisângela Martins de **Carvalho**<sup>2</sup>

(1-Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, [kassiaraylene@gmail.com](mailto:kassiaraylene@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1446-7026>; 2 – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, [elisangela.carvalho@ufms.br](mailto:elisangela.carvalho@ufms.br), <https://orcid.org/0000-0002-8457-6319>)

**Resumo:** O presente trabalho teve como objetivo realizar o diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Formoso, utilizando a metodologia de Crepani *et al.* (2001), que analisa a relação morfogênese/pedogênese. Para tanto, empreendeu-se um levantamento bibliográfico para localizar trabalhos de relevância nessa área de conhecimento. Em seguida, foi realizado o levantamento de dados geoespaciais que, posteriormente, foram trabalhados no QGIS 3.10 através do mapeamento das Unidades Territoriais Básicas (geologia, solos, vegetação, clima e relevo) e de seus respectivos graus de vulnerabilidade. Por fim, foi realizada a sobreposição da vulnerabilidade para as UTB, que resultou na carta de vulnerabilidade natural à perda de solos. A análise da vulnerabilidade natural à perda de solo, revelou que a área de estudo possui, predominantemente, terrenos medianamente estáveis/vulneráveis, em mais de 50% de suas áreas, seguido de terrenos moderadamente estáveis (34,93%). Terrenos moderadamente vulneráveis e estáveis são os menos expressivos. A área de estudo não apresentou terrenos vulneráveis. Assim, a presente pesquisa aponta que a área de estudo, ao mesmo tempo que se inclina para os processos modificadores do relevo, possui também grande pré-disposição a sofrer processos de formação de solos.

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica; Vulnerabilidade; Rio Formoso.

## NATURAL VULNERABILITY TO SOIL LOSS IN THE FORMOSO RIVER BASIN, BONITO, MS, BRAZIL

**Abstract:** Natural vulnerability to soil loss in the Formoso River basin was investigated using the method and classification proposed by Crepani *et al.* (2001), which take into account the

morphogenesis–pedogenesis relationship. A survey of the literature was conducted to retrieve relevant studies in this area of knowledge. Geospatial data were subsequently collected and processed using QGIS 3.10 software to map Basic Territorial Units (for geology, soil, vegetation, climate, and relief features) and evaluate the degrees of vulnerability of these units. These vulnerability maps were then superimposed to yield an overall map of natural vulnerability to soil loss. The analysis revealed a predominance (>50%) of fairly stable/vulnerable areas, followed by moderately stable terrains (34.93%). Stable and moderately vulnerable terrains were the least-occurring types. No vulnerable areas were found. The results showed that the area studied is not only prone to relief-modifying processes, but also highly susceptible to soil formation processes.

**Keywords:** Drainage basin; Vulnerability; Formoso River.

## **VULNERABILIDAD NATURAL A LA PÉRDIDA DE SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO FORMOSO, BONITO, MATO GROSSO DO SUL, BRASIL**

**Resumen:** Esta investigación diagnosticó la vulnerabilidad natural a la pérdida de suelo en la cuenca del río Formoso, utilizando la metodología y clasificación de Crepani *et al.* (2001), que se basan en la relación morfogénesis-pedogénesis. Para ello, se realizó un estudio bibliográfico con el fin de localizar trabajos relevantes en esta área de conocimiento. A continuación, se recopilaron y procesaron datos geoespaciales en el *software* QGIS 3.10 para cartografiar las Unidades Territoriales Básicas (geología, suelos, vegetación, clima y relieve), con el fin de identificar los grados de vulnerabilidad de estas zonas. A partir de ahí, se superpusieron los mapas de cada unidad, dando como resultado un mapa de vulnerabilidad natural a la pérdida de suelo de la cuenca. El análisis reveló que en la zona de estudio predominan terrenos medianamente estables/vulnerables (>50%), seguidos de terrenos moderadamente estables (34,93%). Los terrenos estables y moderadamente vulnerables fueron los menos expresivos. No se encontró ningún terreno vulnerable. Los resultados muestran que la zona de estudio no solo es propensa a la ocurrencia de procesos modificadores del relieve, sino que también está altamente predispuesta a sufrir procesos de formación de suelos.

**Palabras clave:** Cuenca hidrográfica; Vulnerabilidad; Río Formoso.

### **Introdução**

A necessidade de se realizar o planejamento ambiental é cada vez mais recorrente devido às inúmeras problemáticas ambientais emergentes nas últimas décadas, que têm impactado cada vez mais o meio ambiente e dificultado a preservação e conservação dos recursos naturais. O avanço das técnicas desenvolvidas pelas sociedades, aliado à falta de planejamento e desenvolvimento sustentável, têm feito com que os recursos naturais, tão necessários para o homem, venham ficando cada vez mais escassos.

O planejamento ambiental é considerado como: a) instrumento da política ambiental; b) suporte ao processo de tomada de decisões; c) exercício técnico intelectual para traçar diretrizes e programar o uso do território, paisagens, espaços, e características da gestão ambiental; e d) um meio de adequar aos sistemas naturais as intervenções do governo, agentes econômicos e atores sociais (Rodríguez et al. 2011). Se mostra eficaz para harmonizar as demandas econômicas da sociedade e a integridade dos sistemas ambientais (Braz & Oliveira, 2023).

Para uma maior eficácia do planejamento ambiental, é preciso o conhecimento e entendimento das limitações da área na qual este irá ser desenvolvido, o que se dará por meio de diagnósticos que estabeleçam suas potencialidades, características naturais e sociais e as intervenções humanas sobre esse ambiente, para que, a partir de então, sejam propostas a organização das atividades adequadas, de modo a promover o desenvolvimento sustentável e comunitário (Teixeira et al. 2022).

A bacia hidrográfica é considerada por vários estudiosos como a unidade mais adequada para estudos dos recursos hídricos, além de ser a principal unidade para o planejamento ambiental. O uso do conceito de bacia hidrográfica enquanto unidade de gerenciamento, consiste em uma estratégia na busca pelo desenvolvimento sustentável (Pires et al. 2002).

O crescimento da população aliado aos avanços tecnológicos produziu considerável aumento da interferência humana sobre o meio. Em face disso, é fundamental que ocorra o desenvolvimento das sociedades, concomitantemente com a gestão da bacia hidrográfica, visando à conservação da produtividade e da qualidade da água, assim como a preservação da biodiversidade e do crescimento econômico (Soares, 2015).

As bacias hidrográficas são consideradas modelos quando se busca realizar análises integradas, além de serem instrumentos gerenciadores de questões que envolvam recursos, ética e políticas ambientais (Tundisi, 2003). Através disso, têm-se o Zoneamento Ecológico-Econômico, que trabalha o planejamento ambiental a partir do ordenamento territorial, um

instrumento da política nacional de meio ambiente implementado a partir de 1981 no Brasil, e que pode ser implementado a partir da bacia hidrográfica.

Considerando a funcionalidade da bacia hidrográfica em estudos ambientais, optou-se por realizar o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos na bacia hidrográfica do Rio Formoso, para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da área de estudo. Como instrumento de gestão ambiental que pode ser aplicado às bacias hidrográficas, têm-se o modelo de mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos que, à medida que faz um aparato das características físicas das unidades territoriais, define também os graus de vulnerabilidade para as variáveis ambientais, podendo ser utilizado para subsidiar o zoneamento ambiental.

Assim, o presente trabalho se propôs a elaborar o diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Formoso, visando subsidiar o zoneamento ambiental da região. A metodologia utilizada foi a proposta por Crepani et al. (2001), que define uma escala de valores para a vulnerabilidade natural à perda de solos, de acordo com a relação morfogênese/pedogênese para os temas geologia, vegetação, solos, clima e geomorfologia, onde são atribuídos pesos para as variáveis ambientais.

A nascente do Rio Formoso nasce no Parque Nacional da Serra da Bodoquena e deságua no Rio Miranda que, por sua vez, faz parte da região hidrográfica do Alto Paraguai. A bacia está localizada no município de Bonito (Figura 1), estado de Mato Grosso do Sul (Centro-Oeste brasileiro). Possui uma extensão territorial de 1.316 km<sup>2</sup> e está situada entre os paralelos 21°11'56" e 20°59'23" de latitude Sul e meridianos 56°40'29" e 56°20'47" de longitude Oeste.

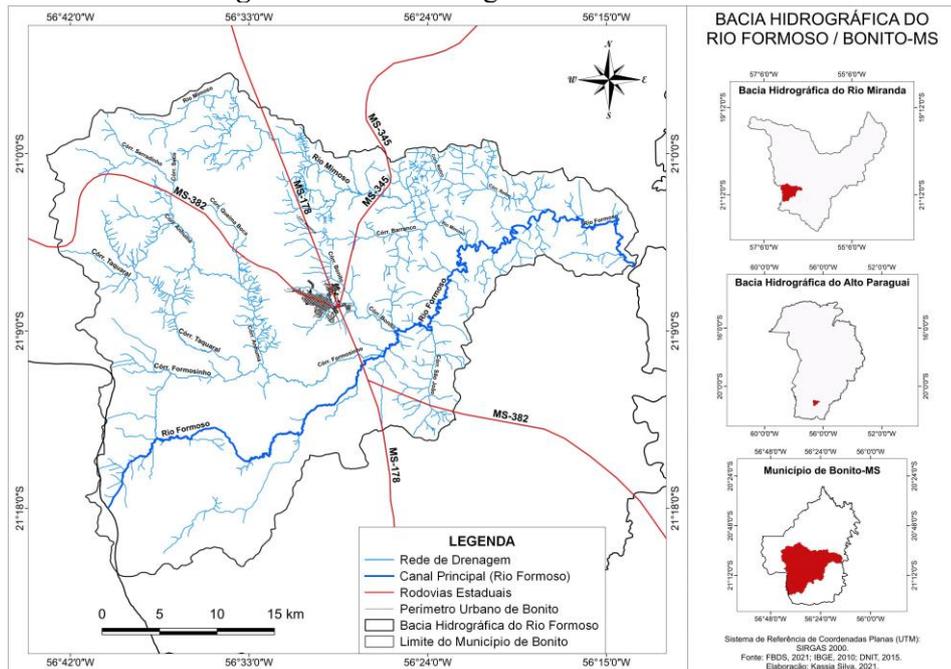
A área de estudo está situada em uma região turística, haja vista que no município de Bonito, esta é uma das principais atividades econômicas. Nesse sentido, as atividades turísticas desenvolvidas na região movem a economia local, sendo que os empreendimentos turísticos locais estão fortemente vinculados à água, já que “[...] 98% dos empreendimentos turísticos locais utilizam esse recurso natural para o desenvolvimento de suas atividades” (Lelis et al. 2015).

Bonito possui relevos cársticos de paisagens únicas, com seus morros residuais, rios cênicos, cavernas e outras modelagens cársticas, impactando positivamente no turismo, além de uma variedade de Unidades de Conservação, como o Parque Nacional da Serra da Bodoquena, o Monumento Natural da Gruta do Lago Azul e o Monumento Natural do Rio Formoso (Medeiros & Chávez, 2022).

Nesse contexto, o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solos se apresenta como uma alternativa de vital importância para a gestão e o planejamento ambiental da área de

estudo. Sabendo da importância das águas para o turismo na região, a presente proposta pode auxiliar nas estratégias de políticas ambientais voltadas à conservação da bacia hidrográfica do Rio Formoso, no município de Bonito-MS.

**Figura 1 – Bacia hidrográfica do Rio Formoso**



Organização: Autores.

## Fundamentação teórica

### *Sistema e paisagem nos estudos de bacias hidrográficas*

O conceito de sistema foi desenvolvido por Ludwig von Bertalanffy em 1950, sendo aprimorado na década seguinte, a partir da criação da Teoria Geral de Sistemas, pelo mesmo autor e pode ser resumidamente definido como um conjunto de partes inter-relacionados; foi inicialmente introduzido na geografia por Sothava (Stevaux & Latrubesse, 2017). Sothava (1978) caracterizou os geossistemas como classes de sistemas abertos e hierarquizados entre si.

Troppmair e Galina (2006) afirmam que a análise integrada se evidenciou com a Teoria Geral dos Sistemas, quando Ludwig von Bertalanffy (1973) anunciaram que todas as partes do sistema, participam e influenciam em sua totalidade, assim, um componente isolado de um sistema não pode servir de parâmetro para representar o todo. Para esses autores, o surgimento da análise sistêmica foi um grande marco para a geografia, apontando para a sistematização e a

integração do meio ambiente com seus elementos, conexões e processos, que são potencialmente utilizados pelo homem.

A Teoria Geral dos Sistemas surge no século XX, quando a visão mecanicista e fragmentada não tinha mais capacidade de explicar muitos dos problemas inerentes à complexidade mundial, tendo como meta a de ser aporte para a diversificação de problemáticas que uma visão fragmentada seria incapaz de explicar satisfatoriamente (Silva & Leite, 2020).

Nesse sentido, o conceito de paisagem se direciona para a abordagem sistêmica, na qual todos os elementos são parte da natureza e se refere ao espaço geográfico onde as técnicas da sociedade se modificam e são determinadas de acordo com processos históricos e naturais ao longo do tempo (Leite & Rosa, 2010).

Ainda segundo os autores, tomando como parâmetro a discussão da paisagem sob a perspectiva sistêmica da análise integrada, tem-se na bacia hidrográfica uma relevante unidade de discussão, por ser uma unidade de paisagem que apresenta características que permitem uma discussão sob a lógica do pensamento sistêmico, a partir de uma visão holística e integrada da paisagem. Demonstra seu potencial enquanto unidade territorial sistêmica, sendo objeto de estudo em diversas áreas, principalmente na hidrologia e geomorfologia, mas também em estudos que estejam relacionados aos aspectos bióticos, socioeconômicos ou socioculturais, sendo frequentemente associada a trabalhos da área de Geografia e afins (Leite & Rosa, 2010).

A bacia hidrográfica é reconhecida na geografia como uma unidade fisiográfica que dispõe de estudos sobre classificação, tipologia, quantificação e hierarquização e, enquanto unidade territorial, não se limita somente a estudos do meio físico, mas também em análises regionais, culturais, políticas e econômicas (Andreozzi & Viadana, 2010).

Por possuir um potencial de análise e integração entre seus elementos e pela crescente preocupação relacionada à qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas, a bacia hidrográfica passou a ser evidência em inúmeros estudos, que partem dessa unidade como elemento principal de análise (Carvalho, 2012).

O uso da bacia hidrográfica como unidade de planejamento para a conservação dos recursos naturais, deve estar atrelado ao conceito de desenvolvimento sustentável, que busca atingir o desenvolvimento econômico, a igualdade social, econômica e ambiental e a sustentabilidade ambiental (Pires et al. 2002). É uma unidade espacial de análise privilegiada, à medida que viabiliza, por meio da abordagem sistêmica, o estudo de seus elementos e relações (Andreozzi & Viadana, 2010).

Lima e Silva (2015) salientam a relevância de estudos integrados em bacias hidrográficas, quando se almejam políticas públicas voltadas à aplicação do desenvolvimento sustentável no uso e ocupação da terra, no âmbito do planejamento e do ordenamento territorial. Portanto, a bacia hidrográfica caracteriza-se como a unidade preferencial a ser utilizada no planejamento e gestão dos recursos hídricos e deve ser analisada a partir da abordagem sistêmica, por ser considerada uma unidade/sistema que possui relações com outros sistemas, que são interligados em suas variadas relações, sejam elas sociais ou ambientais (Carvalho, 2014).

### **Solos e Processos Erosivos**

O solo é um dos recursos naturais de maior relevância para a manutenção da qualidade de vida humana, possui múltiplas funções nos ciclos dos nutrientes, no ciclo hidrológico e para a sustentabilidade dos sistemas naturais, além de ser um dos fatores mais importantes na determinação da tipologia florestal (Wadt et al. 2003). É imprescindível para a manutenção da vida na Terra, mas que, contraditoriamente, as atividades antrópicas desenvolvidas sobre ele, resultam em sua degradação (Rocha & Magri, 2022).

A erosão do solo representa um dos maiores problemas da humanidade, reduzindo a qualidade e produtividade do solo, causando escassez de terras agricultáveis, redução da infiltração, aumentando o escoamento superficial e diminuindo a qualidade da água (Rodrigues et al. 2017). Segundo Lima (2003), esse fenômeno integra a dinâmica das formas de relevo. Podem ser causados tanto por fatores naturais como por fatores antrópicos (Guerra & Mendonça, 2007).

Apesar de ser um processo natural, a erosão do solo pode ser intensificada e acelerada, à medida que o homem interfere sobre a natureza, principalmente através da retirada da cobertura vegetal. A própria natureza pode ser causadora dos processos erosivos, agindo de forma passiva, atuando por meio de alguns fatores naturais, como: o clima, o solo, a hidrologia e o relevo, por outro lado, o homem age de forma ativa, acelerando os processos erosivos sobre os solos (Lal, 1990).

Assim, mudanças associadas a fatores como intensidade e frequência de precipitações, umidade, uso e cobertura vegetal, entre outros, podem induzir o desequilíbrio dos solos (Guerra et al. 2007).

A erosão hídrica é a principal forma de degradação dos solos tropicais e também é responsável por desencadear diversos problemas ambientais e socioeconômicos, vias disso, as estimativas de perda de solo por erosão hídrica são importantes na avaliação da degradação do solo e proposição de medidas de manejo conservacionista (Pinto et al. 2020). Implica a desagregação de partículas do solo, assim como o transporte dessas partículas e sua deposição (Cassol & Lima, 2003). O relevo se destaca enquanto elemento de importância significativa, atuando como potencializador da erosão hídrica (Lima, 2003).

De acordo com Lima (2003), no escoamento superficial, as principais formas de erosão causadas pela ação das águas são conhecidas como: erosão laminar, erosão em sulcos, em ravinas e em voçorocas. Dessas, as erosões por ravinas e voçorocas são as de maior impacto sobre o meio físico (Kertzman et al. 1995). Ravinas são incisões menores que 50 centímetros, já as voçorocas incisões precisam ter largura e profundidade maiores que 50 centímetros (Guerra et al. 2007).

O grau de declividade é um fator que possui relação direta com a perda de solo e influencia no volume e na velocidade da enxurrada, além disso, o comprimento das encostas também está associado aos processos erosivos, já que o aumento em seu comprimento resulta no maior volume e velocidade da enxurrada (Lima, 2003).

Um dos fenômenos climáticos de maior relevância para a erosão do solo é a chuva, assim, o volume e a velocidade da enxurrada irão depender da intensidade, duração e frequência da chuva; assim, a intensidade é o fator pluviométrico de maior importância para o processo erosivo (Bertoni & Neto, 1985). Para Bertoni e Neto (1985), as gotas d'água que atingem o solo através da chuva, contribuem para o processo erosivo de três formas: a) desprendimento das partículas de solo da área impactada; b) transporte, por salpicamento, das partículas que foram desprendidas; c) imprime energia à água superficial.

Quando se busca minimizar a degradação dos solos e, conseqüentemente, das águas ou buscar sua restauração, é indispensável que sejam repensados os aspectos relacionados ao uso e manejo agrícola e ambiental do solo (Bonetti et al. 2020). Já que a degradação dos solos representa grande dano socioeconômico para as gerações atuais e coloca em risco as futuras gerações (Wadt et al. 2003).

Sabendo disso, coloca-se em evidência a elaboração de cartas de vulnerabilidade natural à perda de solos, enquanto instrumento essencial para o planejamento ambiental, que viabiliza

o planejamento e a gestão para a conservação, principalmente dos recursos hídricos (Santos, 2014).

### **Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo em Bacias Hidrográficas**

Segundo Cunha et al. (2022) as intervenções antrópicas na exploração dos recursos naturais intensificam os processos de vulnerabilidade dos ambientes à degradação, o que provoca modificações nas características naturais desse meio. Ao se apropriar do território e de seus recursos naturais, o homem modifica a paisagem natural, em um ritmo muito mais intenso do que aquele provocado pela própria natureza (Ross, 2006).

Para Ross (2006), o grau de fragilidade dos ambientes naturais diante das intervenções antrópicas pode variar de acordo com suas características genéticas. Com exceção de algumas regiões do planeta, os ambientes naturais permaneciam em estado de equilíbrio até o momento em que as sociedades humanas começaram a intervir cada vez mais intensamente sobre eles, explorando os recursos naturais disponíveis de forma indevida, em prol de seu bem estar pessoal.

Conforme Klais et al. (2012), toda e qualquer ação que atue modificando o estado natural de determinado sistema ambiental, pode resultar em efeitos adversos, denominado vulnerabilidade. Pesquisas pautadas na análise da vulnerabilidade ambiental são instrumentos fundamentais para estudo do espaço geográfico e, a partir de uma análise integrada dos aspectos sociais e naturais, contribuem também para o planejamento (Nunes & Aquino, 2018). É necessário entender as potencialidades e limitações dos sistemas ambientais, tomando como parâmetro as categorias morfodinâmicas para identificar e mapear o grau de vulnerabilidade ambiental, que poderá ser utilizado como auxílio ao planejamento, zoneamento e gestão dos recursos naturais (Mira et al. 2022).

A vulnerabilidade caracteriza o grau de suscetibilidade que um componente ou conjunto de componentes do meio/paisagem, manifestam à determinada ação ou fenômeno (Santos & Brito, 2007). É, portanto, a capacidade que o ambiente possui de reagir a fatores naturais nos processos de morfogênese e pedogênese (Klais et al. 2012).

Como forma de avaliação dos sistemas ambientais, a análise da vulnerabilidade à perda de solos é imprescindível, contribuindo significativamente para o planejamento ambiental e subsidiando o zoneamento ambiental. Folharini et al. (2017), definem o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo como um modelo de gestão territorial a ser empregado

em estudos e planos de gestão, tal modelo estabelece uma escala de valores que identifica áreas mais ou menos propensas à mobilização e transporte erosivo.

A vulnerabilidade natural à perda de solos foi estabelecida pelo Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002, como um dos instrumentos indicadores da fragilidade natural potencial, que compõe uma das etapas do Zoneamento Ecológico-Econômico, este último que, apesar de ter sido regulamentado pelo decreto de 2002, já era previsto desde a década de 1980, na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981), no entanto, recebia a denominação de Zoneamento Ambiental (Rosa & Ferreira, 2021).

O conhecimento sobre a vulnerabilidade ambiental é essencial para que se estabeleçam políticas públicas de planejamento territorial e para que se adotem práticas adequadas de manejo no uso e ocupação da terra, diminuindo os impactos e desastres ambientais (Mira et al. 2022). O planejamento ambiental que estabelece a organização funcional e espacial dos sistemas naturais e, enquanto conceito, deve estar correlacionado a estudos integrados, sistêmicos e holísticos (Ribeiro, 2019).

Nessa perspectiva, Marques e Etges (2004) defendem a bacia hidrográfica enquanto unidade de análise do território, fundamental em pesquisas regionais com foco para diagnósticos ambientais. Como ferramenta essencial para o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas, tem-se o zoneamento ambiental, que cria meios para o ordenamento territorial e gerenciamento dos recursos hídricos. É um instrumento que, se aplicado à bacia hidrográfica, viabiliza o diagnóstico ambiental e socioeconômico regional.

O zoneamento ambiental, por esse ponto de vista, se apresenta enquanto um instrumento que possibilita estabelecer o grau de potencialidade e vulnerabilidade das unidades de paisagem, realizando prognósticos do ambiente diante dos impactos provocados pelo uso e ocupação da terra (Becker & Egler, 1997). O zoneamento ambiental integra a política nacional de meio ambiente, auxiliando na análise das especificidades do meio e identificação de suas vocações e fragilidades, correlacionando a seus aspectos físicos, biológicos e antrópicos.

## **Materiais e métodos**

A metodologia para elaboração do diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solos na bacia hidrográfica do Rio Formoso, foi estruturada conforme os procedimentos metodológicos propostos por Crepani et al. (2001). Assim, foram seguidas as seguintes etapas:

**Levantamento bibliográfico:** pesquisa de artigos, dissertações e teses, com referências clássicas e estudos mais recentes, relevantes para a construção da fundamentação teórica de acordo com os objetivos do trabalho.

**Recorte da área de estudo:** recorte para a bacia hidrográfica do Rio Formoso, utilizando dados geoespaciais em formato vetorial da ANA (2017) e elaboração do mapa base, a partir de dados vetoriais em formato *shapefile* da rede de drenagem, disponibilizados pelo FBDS (2021) e dos sensores censitários para identificação da área urbana de Bonito, do IBGE (2010), além dos vetores das rodovias, do DNIT (2015).

**Composição do banco de dados:** a organização do banco de dados foi realizada a partir de dados geoespaciais disponibilizados pelas seguintes instituições: ANA, IBGE, INPE, INMET, DNIT, FBDS, CPRM, MapBiomas e Exército Brasileiro, com informações nos formatos de vetor, matricial e tabelas (*xls, csv e txt*).

**Uso do QGIS 3.10:** para o mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo da área de estudo foi utilizado o QGIS 3.10, um Sistema de Informações Geográficas Livre e de Código Aberto, muito útil em trabalhos ambientais.

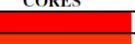
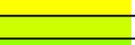
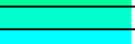
**Definição das Unidades Territoriais Básicas (UTB):** as UTB fazem referência aos mapas de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Intensidade Pluviométrica.

**Vulnerabilidade para as UTB:** nessa etapa foram atribuídos pesos de vulnerabilidade para cada uma das Unidades Territoriais Básicas, conforme a metodologia de Crepani et al. (2001), que se ampara no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) e na relação morfogênese/pedogênese.

Assim, o mapeamento determina uma escala de vulnerabilidade que varia de 1 a 3, no total de 21 valores (Figura 2) e atribui cores de acordo com o grau de vulnerabilidade. As unidades de paisagem com vulnerabilidade próxima a 1 são estáveis, onde prevalecem os processos formadores do solo (pedogênese). Paisagens com vulnerabilidade próxima a 3 são vulneráveis, prevalecendo os processos modificadores do relevo (morfogênese). Já nas áreas que apresentam valores intermediários, ocorre o equilíbrio entre morfogênese e pedogênese.

Para a análise da vulnerabilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio Formoso foi realizada a sobreposição, no QGIS 3.10, dos mapas anteriormente elaborados, já com os pesos de vulnerabilidade atribuídos (Geologia + Solos + Vegetação + Clima + Geomorfologia / 5). Esse procedimento possibilitou a elaboração da carta de vulnerabilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio Formoso.

**Figura 2** – Escala de Vulnerabilidade para as Unidades Territoriais Básicas

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA	GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
			VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2	2,9		255	51	0	
U3	2,8		255	102	0	
U4	2,7		255	153	0	
U5	2,6	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	2,5		255	255	0	
U7	2,4		204	255	0	
U8	2,3		153	255	0	
U9	2,2	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	2,1		51	255	0	
U11	2,0		0	255	0	
U12	1,9		0	255	51	
U13	1,8	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	1,7		0	255	153	
U15	1,6		0	255	204	
U16	1,5		0	255	255	
U17	1,4	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	1,3		0	153	255	
U19	1,2		0	102	255	
U20	1,1		0	51	255	
U21	1,0		0	0	255	

Fonte: Crepani et al. (2001).

## Resultados e discussão

A caracterização ambiental da bacia hidrográfica do Rio Formoso, através da metodologia do diagnóstico da vulnerabilidade natural à perda de solos desenvolvida por Crepani et al. (2001), permitiu, através da análise sistêmica, que fossem gerados alguns produtos cartográficos a partir do mapeamento das unidades territoriais básicas e da vulnerabilidade para essas unidades, que resultou na carta de vulnerabilidade natural à perda de solos, conforme a Figura 3.

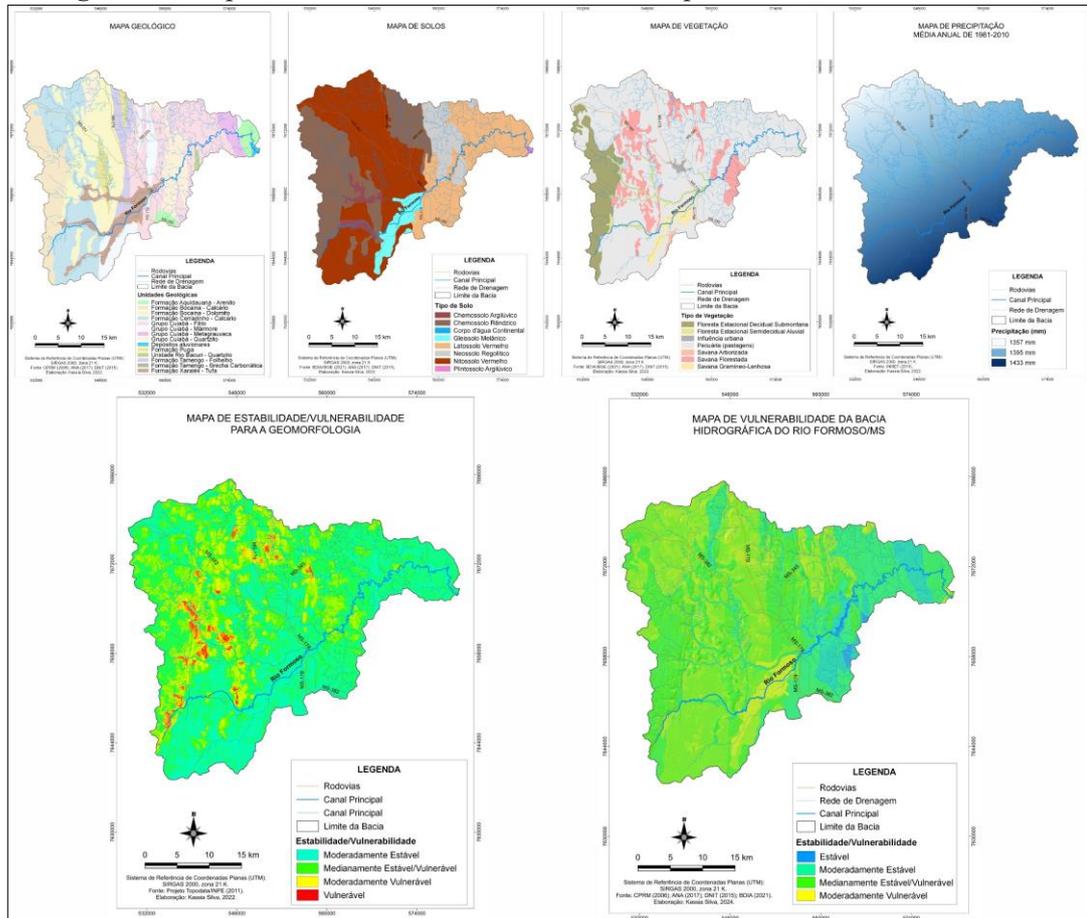
**Geologia:** o mapeamento geológico da bacia hidrográfica do Rio Formoso, fundamentado em dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), constatou a presença de nove unidades geológicas, as quais: Formação Aquidauana, Formação Bocaina, Formação Cerradinho, Grupo Cuiabá, Depósitos Aluvionares, Formação Puga, Unidade Metavulcano-Sedimentar Rio Bacuri, Formação Tamengo e Formação Xaraiés.

As unidades geológicas de maior área são Grupo Cuiabá, com 477,46km<sup>2</sup>, Formação Bocaina, com 371,12 km<sup>2</sup> e Formação Cerradinho, com 252,95 km<sup>2</sup>. Já outras unidades são menos expressivas na região, ocupando pequenas faixas de extensão, como os Depósitos Aluvionares, que ocupa 3,34 km<sup>2</sup>, a Unidade Metavulcano-Sedimentar Rio Bacuri, com 4,67 km<sup>2</sup> e a Formação Puga, com 31,86 km<sup>2</sup>.

Na bacia hidrográfica do Rio Formoso, as rochas predominantes do grupo Cuiabá são os filitos, os mármore e os quartzitos. Na Formação Bocaina, destacam-se o calcário oolítico

e dolomito silicoso. Já na Formação Cerradinho, predominam o calcário calcítico e calcário dolomítico.

**Figura 3 – Mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo da área de estudo**



Organização: Autores (2024).

A Formação Aquidauana compreende 33,173 km<sup>2</sup>, onde predominam os arenitos. A Formação Xaraiés está distribuída em 82,618 km<sup>2</sup> da bacia, e é constituída por tufas calcárias. Ademais, tem-se também a Formação Tamengo, a Formação Puga e a Unidade Rio Bacuri, que ocupam respectivamente 58,786 km<sup>2</sup>, 31,863 km<sup>2</sup> e 4,676 km<sup>2</sup>.

Em relação à vulnerabilidade para a geologia, a bacia hidrográfica apresentou quatro classes, sendo elas: Estável, Medianamente Estável/Vulnerável, Moderadamente Vulnerável e Vulnerável.

A bacia hidrográfica do Rio Formoso possui mais de 58% de suas áreas vulneráveis em relação à geologia, o que equivale a 767,703 km<sup>2</sup> da bacia. Isso se dá principalmente pela presença expressiva de calcário e dolomito na região, que são rochas com baixo grau de coesão

e, conseqüentemente, mais vulneráveis. A classe medianamente estável/vulnerável é a segunda mais significativa, sendo encontrada em 294,481 km<sup>2</sup> da área de estudo. Essa classe foi encontrada integralmente no Grupo Cuiabá, unidade geológica que possui o filito como rocha predominante, rocha com grau de coesão intermediário.

A classe moderadamente vulnerável está presente em 142,679 km<sup>2</sup> da bacia, enquanto as áreas estáveis foram as menos expressivas, sendo encontradas em apenas 11,137 km<sup>2</sup> da área, correspondendo às unidades geológicas Rio Bacuri e Grupo Cuiabá, ambas apresentam quartzitos em sua litologia.

Assim, em relação à vulnerabilidade para geologia, a bacia hidrográfica do Rio Formoso possui um percentual de estabilidade muito baixo, haja vista que o mapeamento geológico realizado aponta para graus de vulnerabilidade predominantemente intermediários e vulneráveis, com destaque maior para as áreas vulneráveis, o que indica que a bacia possui rochas menos coesas, tornando a região mais frágil e suscetível aos processos modificadores das formas do relevo, predominando, portanto, a morfogênese.

**Solos:** foram encontradas sete classes de solos na bacia hidrográfica do Rio Formoso: Chernossolo Argilúvico, Chernossolo Rêndzico, Gleissolo Melânico, Latossolo Vermelho, Neossolo Regolítico, Nitossolo Vermelho e Plintossolo Argilúvico (Figura 3). Desses, predominam os Nitossolos Vermelhos (505,580 km<sup>2</sup>), localizando-se a noroeste e sudoeste da bacia hidrográfica.

O Chernossolo Rêndzico é o segundo tipo de solo mais expressivo na bacia, ocupa uma área de 347,440 km<sup>2</sup>, podendo ser encontrado à oeste, sudoeste e norte da área de estudo. Já o Latossolo Vermelho é o terceiro maior grupo de solo da área de estudo, compreendendo uma área de 272,438 km<sup>2</sup>, localizando-se à leste, nordeste e sudeste.

Já os solos Chernossolo Argilúvico (31,898 km<sup>2</sup>), Gleissolo Melânico (58,117 km<sup>2</sup>), Neossolo Regolítico (98,644 km<sup>2</sup>) e Plintossolo Argilúvico (1,883 km<sup>2</sup>) ocupam as menores extensões territoriais da bacia.

A vulnerabilidade para os solos indicou três classes na escala de Estabilidade/Vulnerabilidade, sendo elas: Estável, Medianamente Estável/Vulnerável e Vulnerável. Predomina a classe Medianamente Estável/Vulnerável (884,918 km<sup>2</sup>) na bacia hidrográfica, sendo considerada intermediária em relação à morfogênese/pedogênese e atribuídas principalmente aos Chernossolo Rêndzico e Nitossolo Vermelho.

Por sua vez, as áreas estáveis, que representam 20,70% da bacia são atribuídas aos latossolos, que são solos mais maduros e apresentam maior estabilidade em relação à morfogênese.

A classe vulnerável corresponde a 158,644 km<sup>2</sup> da bacia hidrográfica do Rio Formoso, estando atribuída aos Neossolo Regolítico (7,49%), Gleissolo Melânico (4,41%) e Plintossolo Argilúvico (0,14%), solos que, por apresentarem alto grau de vulnerabilidade, prevalece a morfogênese, sendo, portanto, mais jovens e pouco desenvolvidos.

Assim, em relação à perda de solos por processos erosivos, a bacia hidrográfica do Rio Formoso possui, predominantemente, risco moderado à vulnerabilidade para o tema solos, o que indica que na área de estudo que há um equilíbrio entre morfogênese e pedogênese.

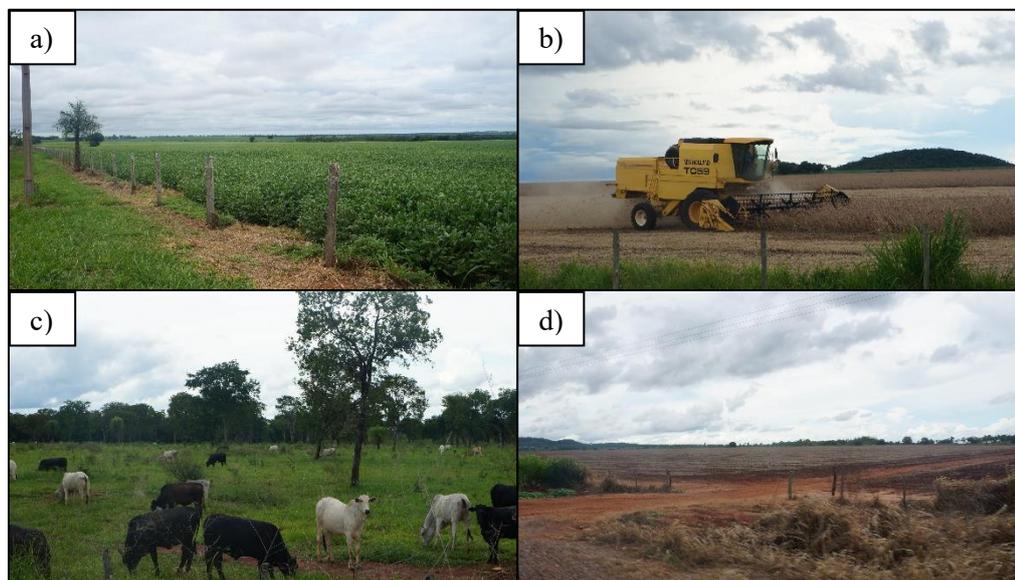
**Vegetação:** as fitofisionomias encontradas na área de estudo, conforme dados do Banco de Informações Ambientais – BDIA/IBGE, foram: Floresta Estacional Decidual Submontana, Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Savana Florestada e Savana Gramíneo-Lenhosa (Figura 3).

Das fitofisionomias de vegetação identificadas na bacia hidrográfica do Rio Formoso, a Savana Florestada, também conhecida como Cerradão é a maior em área, ocupando 156,501 km<sup>2</sup>. Já a Floresta Estacional Decidual Submontana é a segunda maior, com 134,964 km<sup>2</sup> enquanto a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial está presente em 39,445 km<sup>2</sup>, a Savana Gramíneo-Lenhosa representa 27,788 km<sup>2</sup> e a Savana Arborizada 3,723 km<sup>2</sup>, são os tipos de vegetação menos significativos na região da bacia hidrográfica. Além disso, a área de pastagem identificada foi de 947,273 km<sup>2</sup>.

Em relação à vulnerabilidade para o tema vegetação, a bacia hidrográfica do Rio Formoso apresentou três classes de estabilidade/vulnerabilidade para a vegetação, as quais: moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável e vulnerável. O que prevalece na área de estudo são as áreas vulneráveis, representando mais de 74% (981,367 km<sup>2</sup>) da área, seguido das classes moderadamente estável (195,946 km<sup>2</sup>) e medianamente estável/vulnerável (138,687 km<sup>2</sup>).

A alta vulnerabilidade que a bacia hidrográfica do Rio Formoso apresenta para o fator vegetação está atrelada principalmente à pecuária, que representa mais de 72% da área de estudo. Nessa área ocorre também a expansão agrícola, onde destaca-se a plantação de soja. Na Figura 4, pode ser observado registros de áreas da bacia hidrográfica do Rio Formoso, onde ocorre a plantação e colheita de soja (a, b, d) e o desenvolvimento da pecuária (c).

**Figura 4** – Cultivo de soja e atividade pecuária na área de estudo



Fonte: Carvalho (2023).

As áreas medianamente estáveis/vulneráveis se dão sob a floresta estacional decidual submontana e da savana arborizada, a primeira caracterizada por ser uma vegetação de médio porte e a segunda de menor porte (até 8 metros).

**Clima:** os dados das normais climatológicas da bacia hidrográfica do Rio Formoso indicaram três classes com as médias de precipitação anual, as quais: 1357, 1395 e 1433 mm, com o recorte temporal entre os anos de 1981 e 2010 (Figura 3).

A análise do clima para a região da bacia hidrográfica do Rio Formoso indica que, de acordo com a classificação climática de Köppen, o clima do município de Bonito é o Aw (tropical úmido), que tem como característica uma estação seca acentuada entre junho e setembro e precipitações concentradas entre os meses de novembro a janeiro (Zamproni et al. 2019), além disso, sua temperatura média anual é de 23,1°C (Gonçalves et al. 2006).

A análise da vulnerabilidade para o clima da área de estudo apontou apenas uma classe de estabilidade/vulnerabilidade, classificando-a como moderadamente estável. Isso indica que a bacia hidrográfica do Rio Formoso apresenta vulnerabilidade moderada à perda de solo por meio da ação das águas da chuva.

**Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade para a Geomorfologia:** foram identificadas quatro classes de vulnerabilidade para o tema Geomorfologia, as quais: Moderadamente Estável, Medianamente Estável/Vulnerável, Moderadamente Vulnerável e Vulnerável (Figura

03). Dessas, prevalecem terrenos com vulnerabilidade mediana, representados pela classe Medianamente Estável/Vulnerável (586 km<sup>2</sup>). A classe Moderadamente Vulnerável é a segunda maior, distribuída em 472 km<sup>2</sup> e localizada na porção norte da área de estudo.

As áreas Moderadamente Estável e Medianamente Estável/Vulnerável representam regiões onde predomina um certo equilíbrio entre morfogênese e pedogênese, por terem declividades mais suaves e pouco ou nenhum aprofundamento da drenagem. Essas áreas correspondem à Depressão do Rio da Prata.

Os terrenos Moderadamente Vulneráveis e vulneráveis, são assim classificados devido a declividades acentuadas que apresentam, bem como, um maior aprofundamento dos canais de drenagem, se comparados com as classes anteriores.

As áreas vulneráveis e moderadamente vulneráveis predominam em duas porções na bacia, sendo a primeira a sudoeste e a segunda na porção norte, em ambas as áreas predominam a morfogênese. Tais características estão associadas ao relevo relacionado com Serra da Bodoquena, na porção sudoeste esta classe corresponde à unidade geomorfológica Alinhamentos Serranos da Serra da Bodoquena e na porção norte, essas classes correspondem à unidade geomorfológica da Serra da Bodoquena.

**Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso:** a análise da vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Formoso revelou que a área de estudo possui, predominantemente, áreas com terrenos Medianamente Estável/Vulnerável, o equivalente a 704,96 km<sup>2</sup> (53,56%). A classe Moderadamente Estável é a segunda maior, ocupando 459,62 km<sup>2</sup> (34,93%). Já as classes Moderadamente Vulnerável e Estável são menos expressivas, ocupando, respectivamente 146,20 km<sup>2</sup> (11,11%) e 5,22 km<sup>2</sup> (0,40%). A área de estudo não apresentou terrenos classificados como Vulnerável (Figura 3).

O grau de vulnerabilidade mediano, predominante na área de estudo, atribui-se, entre outros fatores, aos tipos de rochas presentes na área, especialmente às do grupo Cuiabá, que possui rochas com grau de coesão intermediário; além dos tipos de solos de média vulnerabilidade e geomorfologia, esta última atribuída à depressão do Rio da Prata. Nessas áreas, ocorre o equilíbrio entre os processos de morfogênese e pedogênese, que atuam modificando as paisagens.

A classe moderadamente estável, que possui vulnerabilidade mais próxima à estabilidade, segunda maior na área estudo, atribui-se à presença de savana florestada, ao clima e à geomorfologia, de relevos com declives suaves e canais de drenagem pouco aprofundados.

As áreas estáveis, pouco expressivas na bacia hidrográfica, estão associadas à presença dos latossolos vermelhos, que são solos mais maduros e com maior resistência à morfogênese.

Não foram encontrados terrenos com alto grau de vulnerabilidade. O que mais se aproximou disso foram os terrenos moderadamente vulneráveis, que são atribuídos à presença da vegetação savana gramíneo-lenhosa e aos gleissolos-melânicos.

### Considerações Finais

- O mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Formoso apresenta relevância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos na região, haja vista que a bacia hidrográfica está inserida no município de Bonito, que tem como uma de suas principais atividades econômicas o turismo, utilizando a água como atrativo turístico.
- A bacia hidrográfica, considerada uma unidade de paisagem com interações sistêmicas, requer análises ambientais integradas, considerando as inter-relações entre as partes na busca de entender o todo. Assim, a teoria sistêmica, que tem em seus preceitos a análise integrada, foi indispensável na presente pesquisa, pois a todo momento a área de estudo foi analisada considerando o todo de forma interligada em sua dinâmica física-ambiental.
- Durante a aplicação da metodologia ficou explícito a importância do uso de geotecnologias para a aquisição e processamento de dados. Também vale destacar que a metodologia trouxe respostas relacionadas aos processos erosivos considerando apenas aos aspectos físicos da área (geologia, solos, vegetação, clima, geomorfologia), sendo necessário, correlacionar o produto final com informações de uso, cobertura e manejo para ampliar a análise sobre a vulnerabilidade a perda de solo.
- Por fim, a análise da vulnerabilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio Formoso revelou que a área de estudo é predominantemente constituída por terrenos com vulnerabilidade mediana, em mais de 50% de sua extensão, seguida de terrenos moderadamente estáveis, em mais de 34% de área, esses últimos que estão atribuídos à presença da savana florestada, ao clima e à geomorfologia, com relevos de baixa declividade e canais de drenagem pouco aprofundados. Terrenos vulneráveis não foram encontrados, enquanto terrenos estáveis são pouco presentes, encontrados em apenas 0,40% de área.

## Referências

- Andreozzi, S. L., & Viadana, A. G. (2010). A bacia hidrográfica como unidade espacial de análise. In: *Anais do I Congresso Brasileiro de Organização do Espaço, 10 Seminário de Pós-Graduação em Geografia da Unesp/Rio Claro* (p. 5343-5360), Rio Claro, SP: Unesp. Recuperado de <https://sites.google.com/site/organizaocaodoespaco/anais>
- Becker, B. K., & Egler, C. A. G. (1997). *Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia legal*. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Secretaria de Coordenação da Amazônia. Recuperado de <https://bit.ly/3ODqgQ9>
- Bertoni, J., & Neto, F. L. (1985). *Conservação do solo*. Piracicaba, SP: Livroceres.
- Bonetti, J. A., Fink, J. R., & Pitta, C. S. R. (2020). A importância da água para a produção de alimentos e o meio ambiente. In: Bonetti, J. A., & Fink, J. R. *Manejo e Conservação da Água e do Solo* (ISBN: 978-65-86561-08-1, p. 10-23). Lavras, MG: UFLA. Recuperado de <https://bit.ly/3QucbWy>
- Braz, J. S., & Oliveira, R. C. (2023). Contribuições da geocologia das paisagens no planejamento ambiental em áreas apropriadas pelo turismo: uma discussão teórica e metodológica. *Ciência Geográfica – Bauru*, 27(2), 864-877. DOI: <https://doi.org/10.57243/26755122.XXVII2028>. Recuperado de <https://bit.ly/47qqcee>
- Carvalho, E. M. (2012). *Análise diagnóstica de indicadores de erosão do solo na bacia hidrográfica do Córrego João Dias, Aquidauana/MS* (Tese de Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. Recuperado de <https://bit.ly/45c99uy>
- Carvalho, R. G. (2014). As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, especial (36), 26-43. Recuperado de <https://tinyurl.com/23vty6ey>
- Cassol, E. A., & Lima, V. S. (2003). Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(1), 117-124. Recuperado de <https://tinyurl.com/yc6u9mrb>
- Crepani, E., Medeiros, J. S., Filho, P. H., 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, SP: INPE. Recuperado de <https://tinyurl.com/4hk5pu7d>

- Cunha, G. K. G., Medeiros, C. E. B., Melo, J. F. G., & Cunha, K. P. V. (2022). Vulnerabilidade do solo a erosão hídrica e sua relação com o uso e ocupação da microbacia do rio Currais Novos-RN. In: *Anais do I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade, III Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido*, Campina Grande, PB: Editora Realize. Recuperado de <https://tinyurl.com/mr4a5pv7>
- Folharini, S. O., Oliveira, R. C., & Furtado, A. L. S. (2017). Vulnerabilidade à perda de solo do Parque Nacional da Restinga de Jurubat'iba: contribuição para uma proposta de atribuição de peso. *Boletim Goiano de Geografia*, 37(2), 342-362. DOI: <https://doi.org/10.5216/bgg.v37i2.49159>. Recuperado de <https://tinyurl.com/3uj6ty29>
- Guerra, A. J. T., & Mendonca, J. K. S. (2007). Erosão dos solos e a questão ambiental. In: Guerra, A. J. T., Silva, A. S., & Botelho, R. G. M (Org.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações* (3a. ed., p 225-256). Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil.
- Guerra, A. J. T., Silva, A. S., & Botelho, R. G. M (Org.). (2007). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações* (3a. ed.). Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil.
- Kertzman, F. F., Oliveira, A. M., Salomão, F. X., & Gouveira, M. I. F. (1995). Mapa de erosão do estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 16(1), 31-36. Recuperado de <https://bit.ly/43S8DAw>
- Klais, T. B. A., Dalmas, F. B., Morais, R. P., Atique, G., Lastoria, G., & Filho, A. C. P. (2012). Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, 7(2), 277-290, ISSN: 1980-993X. DOI: 10.4136/1980-993X. Recuperado de <https://tinyurl.com/4npssaz>
- Lal, R. (1990). *Soil erosion in the tropics: principles and management*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Leite, E. F., & Rosa, R. (2010). Evolução conceitual da bacia hidrográfica sob o enfoque da paisagem integrada. *Revista GeoPantanal*, 5(8), 131-144, ISSN: 1517-4999.
- Lelis, L. R. M., Pinto, A. L., Silva, P. V., Piroli, E. L., Medeiros, R. B., & Gomes, W. M. (2015). Qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Formoso, Bonito - MS. *Revista Formação*, 2(22), 279-302. Recuperado de <https://tinyurl.com/f8m8c2ze>
- Lima, E. C., & Silva, E. V. (2015). Estudos geossintêmicos aplicados à bacias hidrográficas. *Revista Equador (UFPI)*, 4(4), 3-20. DOI: <https://doi.org/10.26694/equador.v4i4.4367>. Recuperado de <https://bit.ly/3qhOmXt>

- Lima, E. R. V. (2003). Erosão do solo: fatores condicionantes e modelagem matemática. *Revista Cadernos do Logepa*, 3(1), 3-43, ISSN: 1677-1117. Recuperado de <https://periodicos.ufpb.br/index.php/logepa/article/view/10981>
- Marques, A. F., & Etges, V. E. (2004). Novos parâmetros na regionalização dos territórios: estudo do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) na Amazônia Legal e dos comitês de bacias hidrográficas no Rio Grande do Sul. In: *Anais do II Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional*, Santa Cruz do Sul, RS: UNISC. Recuperado de <https://tinyurl.com/vzs7xckr>
- Medeiros, R. B., & Chávez, E. S. (2022). O potencial das paisagens de uma região cárstica para o turismo – a bacia hidrográfica do Rio Formoso, Bonito/Mato Grosso do Sul, Brasil. *GEOgraphia*, 24(52). DOI: 10.22409/GEOgraphia2022.v24i52.a46589. Recuperado de <https://tinyurl.com/mr2h2hwa>
- 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*, 15(3), 1352-1370, ISSN: 1352-1370. Recuperado de <https://tinyurl.com/ymk4274w>
- Nunes, H. K. B., & Aquino, C. M. S. (2018). Vulnerabilidade ambiental dos setores censitários às margens do rio Poti no município de Teresina (Piauí). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(6), 1941-1962, ISSN: 1941-1962. Recuperado de <https://tinyurl.com/bddncnyp>
- Pinto, G. S., Servidoni, L. E., Lense, G. H. E., Moreira, R. S., & Mincato, R. L. (2020). Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o Método de Erosão Potencial. *Revista do departamento de geografia*, 39, 62-71, ISSN: 2236-2878. DOI:10.11606/rdg.v39i0.160233. Recuperado de <https://tinyurl.com/bdedmnzf>
- Pires, J. S. R., Santos, J. E., & Del Prette, M. E. (2002). A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: Shiavetti, A., & Camargo, A. F. M. *Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações* (p. 17-35). Ilhéus, BA: Editus. Recuperado de <https://tinyurl.com/yua5dybb>
- Rocha, L. B. O., & Magri, R. A. F. (2022). Predição da perda de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, Passos-MG. *Caminhos de Geografia*, 23(87), 153-174. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG238759130>. Recuperado de <https://tinyurl.com/2p923b33>

- Rodrigues, J. A. M., Mello, C. R., Viola, M. R., & Rodrigues, M. C. (2017). Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Cervo-MG. *Geociências*, 36(3), 531-542. Recuperado de <https://tinyurl.com/kyr77s5c>
- Rodríguez, J. M. M., Silva, E. V., & Leal, A. C. (2011). Planejamento ambiental em bacias hidrográficas. In: Silva, E. V., Rodríguez, J. M. M., & Meireles, A. J. A (Org.). *Planejamento Ambiental e Bacias Hidrográficas* (p. 29-47). Fortaleza, CE: Edições UFC. Recuperado de <https://tinyurl.com/5n9xx9hy>
- Rosa, R. M., & Ferreira, V. O. (2021). Vulnerabilidade Natural à Perda de Solos na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. *Revista Geoaraguaia*, 11(Esp. Geotecnologias), 107-131, ISSN: 2236-9716. Recuperado de <https://tinyurl.com/2xebtjzy>
- Ross, J. L. S. Geomorfologia Ambiental. (2006). In: Guerra, A. J. T., & Cunha, S. B (Org.). *Geomorfologia do Brasil* (4a. ed.). Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil.
- Santos, C. A. C., & Brito, J. I. B. (2007). Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22(3), 303-312, ISSN: 303-312. Recuperado de <https://tinyurl.com/mt267w8a>
- Santos, M. F. S. (2014). *Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade ambiental da Serra da Calçada-MG* (Monografia de Especialização em Geoprocessamento). Instituto de Geociências/Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. Recuperado de <https://tinyurl.com/2p4wm9tk>
- Silva, D. M., & Leite, E. F. (2020). Abordagem sistêmica e os estudos da paisagem. *Revista pantaneira*, 18(Ed. Especial), 14-29, ISSN: 1677-0609. Recuperado de <https://tinyurl.com/2s3mraev>
- Soares, S. A. (2015). *Gestão de recursos hídricos*. Curitiba, PR: InterSaberes.
- Sotchava, V. B. (1978). Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. *Biogeografia*, (14), 1-24.
- Stevaux, J. C., & Latrubesse, E. M. (2017). *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo, SP: Oficina de Textos.
- Teixeira, N. F. F., Moura, P. E. F., Lima, I. B. O. V., & Silva, E. V. (2022). Subsídios teórico-metodológicos da geoecologia das paisagens ao planejamento ambiental. *Revista Eletrônica do PRODEMA*, 15(2), 62-71, ISSN: 1985-5528. DOI: 1022411/rede2021.1502.06. Recuperado de <https://tinyurl.com/2tb572ew>

Troppmair, H., & Galina, M. H. (2006). Geossistemas. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, 5(10), 79-89, ISSN: 1984-2201. Recuperado de <https://tinyurl.com/25yeuf6p>

Tundisi, J. G. (2003). *Água no século XXI: enfrentando a escassez* (2a. ed.). São Paulo, SP: RiMa.

Wadt, P. G. S., Pereira, J. E. S., Gonçalves, R. C., Souza, C. B. C., & Alves, L. S. (2003). *Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas* (ISSN: 0104-9046). Rio Branco, AC: Embrapa Acre-Documentos. Recuperado de <https://tinyurl.com/2p8zy9b4>