

VULNERABILIDADE NATURAL E AMBIENTAL DA PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SEPOTUBA, MATO GROSSO - BRASIL

Alessandra Rodrigues Gamero

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF
Mestre em Geografia pela Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
alessandra_gamero@hotmail.com

Sandra Mara Alves da Silva Neves

Docente na Graduação e na Pós-Graduação em Geografia
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Cáceres/ MT, Brasil
ssneves@unemat.br

Edineia Aparecida dos Santos Galvanin

Docente do curso de Geografia Unesp/Ourinhos
Mestrado Profissional em Geografia da UNESP/Pres. Prudente
edineia.galvanin@unesp.br

Alfredo Zenén Domínguez González

Docente na Graduação e na Pós-Graduação em Geografia
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Cáceres/ MT, Brasil
alfredozdg@unemat.br

Gustavo Roberto dos Santos Leandro

Professor Visitante no Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Cáceres/ MT, Brasil
gustavo.leandro@unemat.br

RESUMO

A vulnerabilidade natural identifica o maior ou menor estágio de estabilidade ou instabilidade dos elementos abióticos e bióticos da paisagem, enquanto a vulnerabilidade ambiental refere-se à maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado pelo uso. O objetivo deste trabalho é avaliar a vulnerabilidade natural e ambiental na bacia hidrográfica do rio Sepotuba, visando a geração de subsídios para o planejamento. Por meio das geotecnologias foi efetuada a elaboração de mapas temáticos e quantificação dos atributos da paisagem. Para obtenção da vulnerabilidade natural da bacia de estudo foram combinados os mapas de geologia, geomorfologia, pedologia e declividade em Sistema de Informação Geográfica. Enquanto para a vulnerabilidade ambiental acrescentou-se a combinação o mapa de cobertura vegetal e uso da terra. Verificou-se na bacia predomina na vulnerabilidade natural a classe média (42,69%), logo, a magnitude das pressões antrópicas influencia no grau de vulnerabilidade, tornando os ambientes mais ou menos susceptíveis à degradação ambiental. Quanto a vulnerabilidade ambiental predomina a classe alta (47,87%), decorrente das alterações na paisagem, como a supressão vegetal para o desenvolvimento da agropecuária. Concluiu-se que as atividades antrópicas tornaram os ambientes vulneráveis na Bacia hidrográfica do rio Sepotuba, embora muitos destes sejam prioritários à conservação.

Palavras-chave: Conservação ambiental. Geotecnologias. Paisagem. Usos da terra. Vegetação.

NATURAL AND ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF THE LANDSCAPE SEPOTUBA RIVER BASIN, MATO GROSSO-BRAZIL

ABSTRACT

Natural vulnerability identifies the greater or lesser stage of stability or instability of the abiotic and biotic elements of the landscape, and environmental vulnerability refers to the greater or lesser susceptibility of an environment to a potential impact of an impact by use. The aim of this work is to assess the natural and environmental vulnerability of the drainage basin of the Sepotuba River, specifically the generation of subsidies for environmental planning. Through the geotechnologies, thematic maps were prepared and the attributes of the landscape were quantified. In order to obtain the natural vulnerability of the study basin, maps of geology, geomorphology, pedology and slope were combined in a geographic information system. For the environmental vulnerability, the map of vegetation covers and

land use was added to the combination. In the basin, the middle class predominates in natural vulnerability (42.69%), so the magnitude of human pressures influences the degree of vulnerability, making environments more or less susceptible to environmental degradation. For environmental vulnerability, the upper class predominates (47.87%), due to changes in the landscape, such as the suppression of vegetation for the development of agriculture. It was concluded that human activities have made environments vulnerable in the basin of the Sepotuba River, many of which are a priority for conservation.

Keywords: Environmental conservation. Geotechnologies. Landscape. Land uses. Vegetation.

INTRODUÇÃO

As paisagens, constituídas por componentes abióticos (físicos), bióticos (biológicos) e antrópicos (sociais), apresentam-se como síntese do ambiente, estando em constante evolução, formando um conjunto único e indissociável (BERTRAND, 1968). Desse modo, por possuírem características distintas, podem apresentar-se em estado natural ou muito próximo dele e também alteradas. As pressões antrópicas sobre os componentes naturais das paisagens as alteram de paisagens naturais para transformadas, o que representa determinado modelo cultural ao longo do tempo e espaço (GONZÁLEZ, 2003). Nesse contexto, as pressões antrópicas interferem na qualidade ambiental, o que pode variar conforme o tipo, grau e intensidade do impacto deflagrado, e assim influenciar no seu estado de conservação e preservação (SÁNCHEZ, 2008).

Diante da complexidade de uma bacia hidrográfica, a paisagem pode responder de modo distinto a uma alteração, conforme sua vulnerabilidade e a magnitude do evento (SANTOS e CALDEYRO, 2007). Nesse caso, faz-se necessário compreender que há distinções conceituais entre vulnerabilidade natural e ambiental: A vulnerabilidade natural é caracterizada por identificar o maior ou menor estágio de estabilidade ou instabilidade dos elementos abióticos e bióticos da paisagem, conforme a intensidade, dinâmica e magnitude da ação dos processos naturais atuantes na paisagem (TRICART, 1977), enquanto a vulnerabilidade ambiental é referente à maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado pelo uso antrópico (TAGLIANI, 2002).

No contexto dos estudos de vulnerabilidade, o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilita delimitar as áreas prioritárias à conservação e subsidiar o planejamento estratégico do território para a implementação de políticas públicas voltadas à conservação ambiental (MIRANDA, 2010). Dessa forma, no Brasil, diversos pesquisadores têm estudado a vulnerabilidade utilizando SIGs, dentre esses autores, pode-se citar: Grigio (2003); Tagliani (2003); Carrijo (2005); Adger (2006); Klais et al. (2012); Medeiros e Souza (2015); Teruya Junior et al. (2018), dentre outros.

Em regiões do Mato Grosso, estudos relacionados a questões ambientais têm sido realizados para a avaliação do estado de conservação de importantes afluentes da Bacia do Alto Paraguai – BAP (NEVES et al., 2011; CARVALHO et al., 2017; MIRANDA e NEVES, 2019; SILVA et al., 2020). Silva et al. (2020) e Chaves, Pierangell e Neves (2020), por exemplo, apresentam o uso de ferramentas geotecnológicas para a identificação das nascentes e delimitação das Áreas de Preservação Permanente - APPs dos rios Jauru e Cabaçal, que são afluentes vizinhos ao rio Sepotuba. Assim com, há, trabalhos que apontam a susceptibilidade de suas respectivas bacias hidrográficas aos processos erosivos e o potencial à erosão hídrica (LORENZON et al., 2015; CARVALHO et al., 2017).

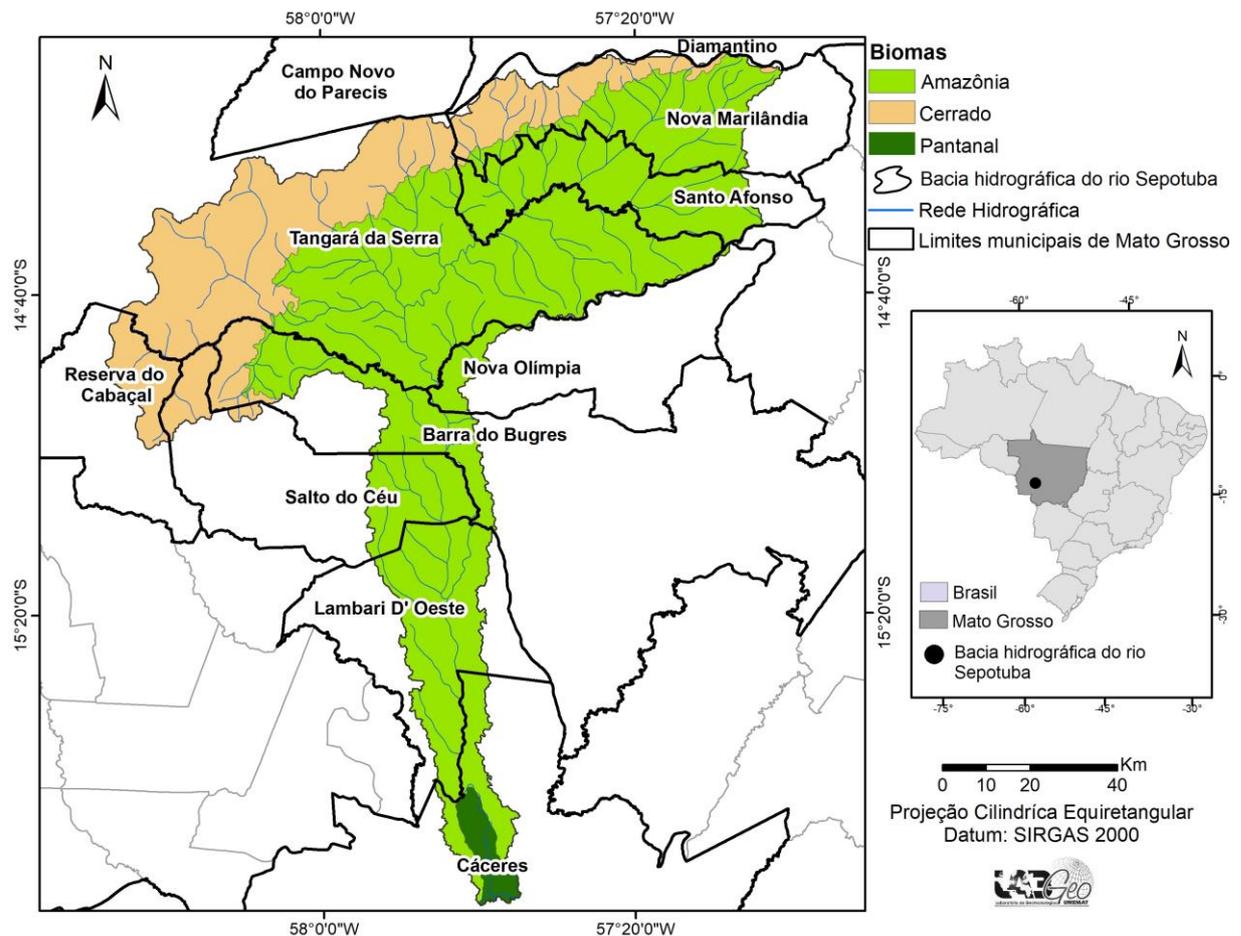
No caso da bacia hidrográfica do rio Sepotuba (BHRS), a supressão da cobertura vegetal, sem planejamento, pode vir a comprometer os elementos da paisagem, que poderá repercutir na sua qualidade ambiental. Estudos realizados por Leandro (2020), Leandro e Rocha (2019), assim como Leandro, Rocha e Souza (2020) analisaram a expansão agropecuária a partir da classificação dos usos e ocupação da terra, bem como, a apropriação dos recursos hídricos pelo setor hidrelétrico e, suas relações com as interações hidromorfodinâmicas. Por isso, é oportuno identificar áreas vulneráveis para o estabelecimento de medidas mitigadoras voltadas à conservação, uma vez que o comprometimento de sua funcionalidade poderá implicar em prejuízos à população que reside na sua extensão territorial (VERONEZE; MACEDO; PEREIRA, 2017). Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a vulnerabilidade natural e ambiental na bacia hidrográfica do rio Sepotuba, visando a geração de subsídios para o planejamento, a partir dos recortes municipais que se sobrepõe à unidade hidrográfica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A extensão territorial de 9.828 km² da BHRS está distribuída em onze municipalidades matogrossenses: Barra do Bugres (7,44%); Cáceres (4,78%); Campo Novo do Parecis (0,004%); Diamantino (0,04%); Lambari D'Oeste (9,43%); Nova Marilândia (13,51%); Nova Olímpia (1,55%); Reserva do Cabaçal (2,66%); Salto do Céu (6,03%); Santo Afonso (10,36%) e Tangará da Serra (44,20%), conforme representado na Figura 1.

Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Sepotuba nos contextos nacional, estadual e municipal, 2020.



Fonte - Os autores (2020).

Na área da bacia hidrográfica do rio Sepotuba, distribuída nas regiões de planejamento Oeste (64,25%), Sudoeste (22,05%) e Centro Oeste (13,70%) do estado de Mato Grosso (MATO GROSSO, 2017), predomina o bioma Amazônia (70,10%), seguido do Cerrado (28,18%) e do Pantanal (1,72%). A nascente do rio Sepotuba está situada no município de Nova Marilândia e sua foz no município de Cáceres, ela é tributária da margem direita do rio Paraguai, o que contribui para a inundação da planície do Pantanal.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a caracterização dos componentes da paisagem da BHRS procedeu-se com a elaboração dos mapas geológico (unidades geológicas), geomorfológico (unidades geomorfológicas) e pedológico

(classes de solos), a partir do recorte das bases cartográficas disponibilizadas no sítio da Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão - SEPLAG (MATO GROSSO, 2017), na escala de 1:250.000. As bases foram compiladas, compatibilizadas e inseridas no Banco de Dados Geográficos (BDG), no ArcGis, versão 10.6.1 (ESRI, 2018). A nomenclatura e as cores das classes do solo foram atualizadas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

O clima da área de estudo foi caracterizado conforme Tarifa (2011), cujas bases cartográficas foram disponibilizadas no sítio da SEPLAG (MATO GROSSO, 2017). O mapa de declividade foi gerado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), com base nas imagens fornecidas pelo radar interferométrico *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizadas no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2018). Os valores das classes de declividade foram estabelecidos de acordo com IBGE (2009).

Para o mapa de cobertura vegetal e uso da terra, foi criado um BDG no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), versão 5.3, do INPE (CÂMARA et al., 1996), como também, foi utilizado o sistema *Universal Transversa de Mercator* (UTM), fuso 21S e Datum SIRGAS 2000. Foram obtidas as imagens do satélite Landsat 8, com resolução espacial de 30 metros, sensor *Operational Land Imager* (OLI), referentes às órbitas/pontos: 227/70 e 227/71, do ano de 2018, no período de maio a junho (por apresentar imagens com menor cobertura de nuvens). As imagens foram disponibilizadas gratuitamente no catálogo do Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS, 2013). As imagens do ano de 2018 não foram georreferenciadas por serem ortoretificadas, sendo que suas bandas 4, 5 e 6 foram importadas ao BDG para a execução do mosaico e recorte pela máscara da área de estudo. Em seguida, foi realizada a segmentação pelo método de crescimento de regiões, para gerar regiões homogêneas por meio de agrupamento de “*pixels*” semelhantes. Para a classificação supervisionada, foi utilizado o classificador *Bhattacharya*, com limiar de aceitação de 99,99%.

Dessa forma, para a definição das classes temáticas do mapa de cobertura vegetal e uso da terra, a saber: cobertura vegetal (Ecótono, Floresta aluvial, Floresta submontana, Floresta terras baixas, Savana arborizada e Savana parque); usos da terra (Agricultura, Influência urbana e Pecuária) e as Massas d'água (Água), foram consultados o Manual Técnico de Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) e os relatórios do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO) Cerrado e Amazônia (BRASIL, 2006). O arquivo da classificação foi exportado no formato *shapefile* e no ArcGis, versão 10.6.1 (ESRI, 2018), logo efetuou-se a pós-classificação, a partir da qual ocorreu a validação das classes mapeadas por meio de dados obtidos em campo (a validação em campo visa corrigir equívocos derivados da etapa de classificação da imagem). A partir do arquivo vetorial, foram efetuadas as quantificações das classes temáticas e a elaboração do *layout* dos mapas no ArcGis.

O trabalho de campo foi realizado no mês de outubro de 2019, durante o período úmido, pois possibilita melhor visualização e distinção das paisagens, no momento da associação *in loco* dos padrões da imagem com a paisagem, para a validação do mapa de cobertura vegetal e usos da terra da bacia de pesquisa. Ocorreram registros de imagens da paisagem por meio de câmera fotográfica, bem como, foram coletadas as coordenadas geográficas, com o auxílio do Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Para a geração do mapa de vulnerabilidade natural, foi efetuada a combinação dos mapas de geologia (unidades geológicas), geomorfologia (unidades geomorfológicas), pedologia (classes de solos) e declividade (classes de relevo), no módulo ArcMap do ArcGis, conforme a metodologia proposta por Grigio (2003).

Da combinação do mapa de vulnerabilidade natural com o mapa de cobertura vegetal e usos da terra, no ano de 2018, obteve-se o mapa de vulnerabilidade ambiental.

O grau de vulnerabilidade de cada classe dos mapas de geologia, geomorfologia, pedologia, declividade e cobertura vegetal e usos da terra baseou-se no conceito de estabilidade em relação à morfogênese e à pedogênese da análise ecodinâmica de Tricart (1977), visto que a estabilidade é classificada na escala de 1 a 3. Logo, os valores numéricos estipulados foram distribuídos em uma escala de 1 a 3, com intervalo de 0,5 (Tabela 1).

Aos ambientes com predomínio dos processos de pedogênese atribuiu-se o valor 1, aos de situações intermediárias (equilíbrio entre pedogênese e morfogênese), valor 2 e aqueles com predomínio da morfogênese, o valor 3.

Tabela 1 - Graus de vulnerabilidade natural das classes temáticas, 2020.

	CLASSES	GRAUS
Geologia	Aluviões Atuais	3
	Formação Araras	3
	Formação Morro Cristalino	3
	Formação Pantanal	3
	Formação Puga	3
	Formação Raizama	3
	Formação Salto das Nuvens	1
	Formação Sepotuba	2
	Formação Tapirapuã	1
	Formação Utiriti	3
	Formação Vale da Promissão	2
	Grupo Serra do Rio Branco	1
	Superfície Paleogênica Peneplanizada com Latossolização	1
Geomorfologia	Planícies Fluviais	1
	Colinas e Morros	3
	Escarpas	3
	Pedimentos	2,5
	Planície Aluvionar Meandriforme	1
	Superfície Regional de Aplanamento 1	2
	Superfície Regional de Aplanamento 2	2
	Superfície Regional de Aplanamento 3	2
	Terraços baixos com escoamento impedido	1
Pedologia	Neossolos Quartzarênicos	2
	Neossolos Flúvicos	2
	Neossolos Litólicos	3
	Latossolos Vermelhos	1
	Latossolos Vermelho-Amarelos	1
	Argissolos Vermelho-Amarelos	2
Declividade	Plano	1
	Suave ondulado	1
	Ondulado	2
	Forte ondulado	2
	Montanhoso	3
Escarpado	3	
Cobertura vegetal e usos da terra	Agricultura	3
	Ecótono	2
	Floresta aluvial	1
	Floresta submontana	1,5
	Floresta terras baixas	2
	Área urbana	3
	Pecuária	2,5
	Savana arborizada	1
	Savana parque	2
	Água	1

Fonte - Modificado de Grigio (2003). Organização: Os autores (2020).

Para obtenção das classes e grau de vulnerabilidade ambiental foram somados os valores dos graus das classes dos mapas de vulnerabilidade natural e cobertura vegetal, além de usos da terra, sendo dividido por dois, o que originou seis classes de vulnerabilidade (Tabela 2).

Tabela 2 - Classes e graus de vulnerabilidade ambiental, 2020.

Classes	Graus
Sem classificação	Menor ou igual a 0,9
Muito Baixa	De 1,0 a 1,3
Baixa	De 1,4 a 1,7
Média	De 1,8 a 2,2
Alta	De 2,3 a 2,5
Muito Alta	Maior ou igual a 2,6

Fonte - Grigio (2003, p. 106). Organização: Os autores (2020).

Nesse sentido, foi aplicado o método de ponderação, pois de acordo com Grigio (2003, p. 106), o método “permite a possibilidade de compensação entre os fatores por meio de um conjunto de pesos que indicam a importância relativa de cada fator”, com o intuito de se obter um mapa de vulnerabilidade ambiental com melhor representatividade da área de estudo. A operacionalização do cálculo da equação foi realizada na calculadora *Raster*:

$$VA = (\text{Geol}) \times 0,1 + (\text{Geom}) \times 0,2 + (\text{Pedo}) \times 0,1 + (\text{Dec}) \times 0,1 + (\text{CobUso}) \times 0,5$$

Onde: VA= Vulnerabilidade Ambiental; Geol= mapa Geológico; Geom= mapa Geomorfológico; Pedo= mapa pedológico; Dec= mapa de Declividade; e CobUso= mapa de Cobertura Vegetal e Usos da Terra.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A BHRS apresenta paisagens diferenciadas, das quais refletem aspectos naturais e antrópicos. Assim, o entendimento da organização geográfica da paisagem da bacia contempla a sua complexidade e heterogeneidade, que são decorrentes das múltiplas correlações dos arranjos de elementos bióticos, abióticos e antrópicos, que se manifestam em diferentes escalas espaço-temporais.

Na BHRS a unidade geológica Formação Utariti, que aflora na porção norte da bacia, é a de maior expressividade areal, totalizando 47,28% (BARROS et al., 1982). No tocante à geomorfologia, a BHRS possui maior representatividade na superfície aplainada, seguida de colinas e morros (IBGE, 2009), onde ocorre a predominância de Neossolos, seguido de Argissolos e Latossolos (SANTOS et al., 2018). A cobertura vegetal é composta por seis formações, as quais são: Ecótono, Floresta aluvial, Floresta submontana, Floresta terras baixas, Savana arborizada e Savana parque. O clima é do tipo Tropical Continental, altamente úmido e seco das Chapadas, Planaltos e Depressões (TARIFA, 2011) e as fases do relevo são, majoritariamente, constituídas pelo plano ondulado.

Diante das interrelações dos elementos abióticos e bióticos da paisagem, predomina na BHRS a classe de vulnerabilidade natural média (Tabela 3).

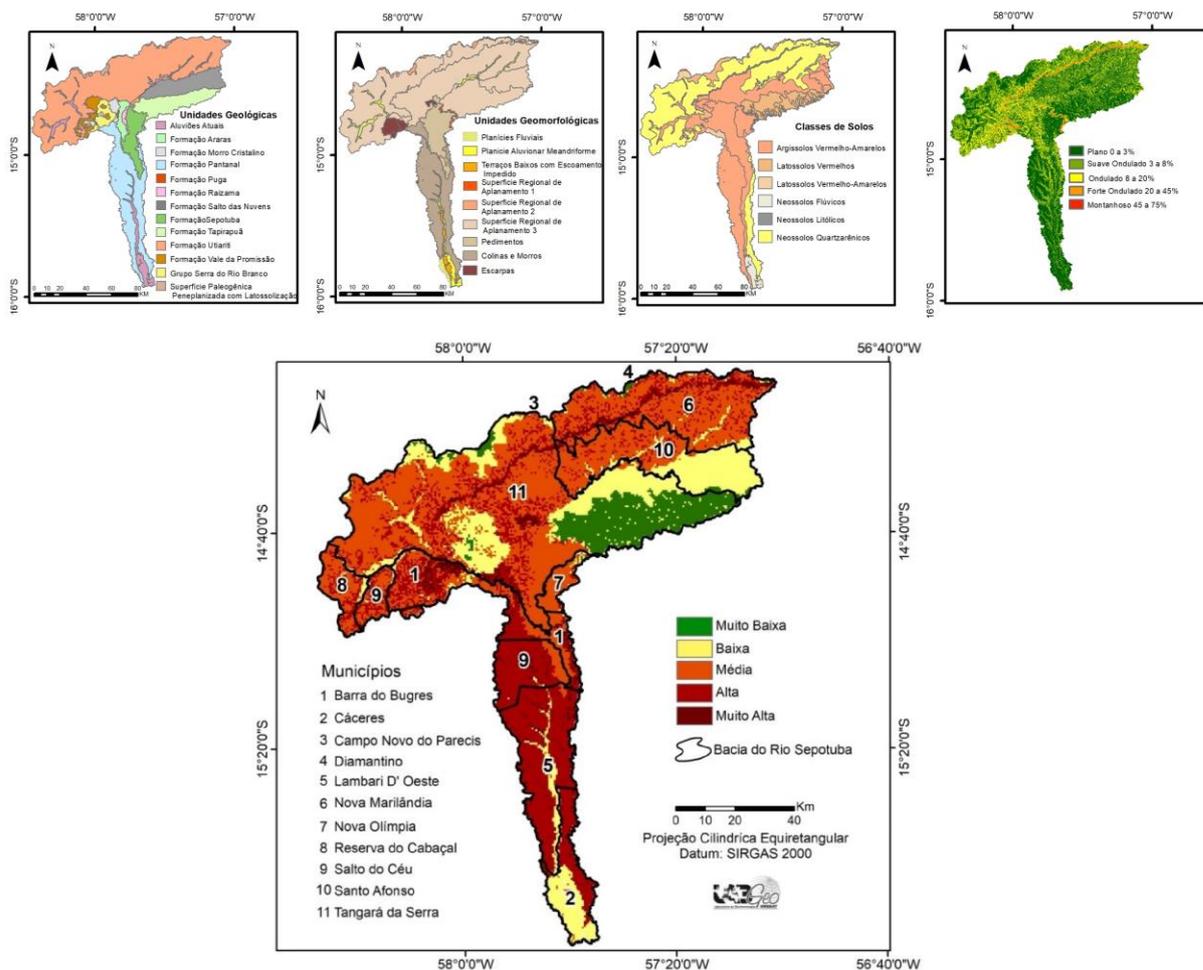
Tabela 3 - Classes de Vulnerabilidade Natural da BHRS.

Classes	Área (km ²)
Muito Baixa	822,96
Baixa	1.803,00
Média	4.260,00
Alta	2.639,10
Muito Alta	302,98
Total	9.828,00

Fonte - Os autores (2020).

A classe de vulnerabilidade natural média foi a de maior representatividade, seguida da classe alta (com maior concentração ao sul da bacia) e baixa (que possui maior concentração na porção leste). As áreas de vulnerabilidade natural muito baixa ocorrem por toda a bacia, com maior representação na porção leste, e a classe de vulnerabilidade natural, que possui menor representatividade na bacia, é a muito alta, cuja ocorrência se estende por toda sua extensão (Figura 2).

Figura 2 - Vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do rio Sepotuba/Mato Grosso, 2020.



Fonte - Os autores (2019).

As mudanças de declividade no terreno na BHRS podem alterar a vulnerabilidade natural (especialmente nas classes: muito baixa e média), fato esse, pode ser observado na porção leste da bacia no município de Tangará da Serra sobre a Formação Tapirapuã (na Serra Tapirapuã), que apresenta predomínio de vulnerabilidade muito baixa com presença de baixa vulnerabilidade.

Ao associar a declividade à altitude foi possível verificar que a declividade constitui um dos fatores que influencia os componentes da paisagem com transformações que podem alterar sua tipologia, além de determinar o potencial de energia e a intensidade dos processos naturais (FROLOV e CHERKASHIN, 2012). A relação entre estabilidade da paisagem e vulnerabilidade evidenciou que quanto maior for a estabilidade, menor a vulnerabilidade, e quanto maior instabilidade, maior vulnerabilidade natural da paisagem.

Na BHRS a classe de vulnerabilidade muito baixa (8,55%) possui maior representatividade no município de Tangará da Serra, seguido de Nova Marilândia e Santo Afonso (Tabela 4). A vulnerabilidade muito baixa tem ocorrência sobre a Formação Tapirapuã (formada por derrames basálticos), constituída por áreas de relevo aplanado, com predomínio de Latossolos Vermelhos, que são solos profundos e férteis.

A classe de vulnerabilidade natural baixa, que corresponde a 18,76%, tem ocorrência em todas as municipalidades que possuem extensões contidas na BHRS, sendo que as maiores expressividades ocorrem nos municípios de Tangará da Serra, Santo Afonso e Cáceres (Tabela 4). A referida classe está relacionada, preferencialmente, às áreas sobre a formação geológica Salto das Nuvens, de relevo de aplanamento recobertas em sua maioria pelos Argissolos Vermelho-Amarelos que, com base em Santos et al. (2018), têm texturas arenosas e argilosas, o que influencia na infiltração, no escoamento pluvial e na suscetibilidade à erosão.

Tabela 4 - Distribuição das classes de vulnerabilidade natural por municipalidades da BHRS.

Municípios	Vulnerabilidade natural (%)				
	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Barra do Bugres	0,01	0,29	3,05	3,21	0,78
Cáceres	-	2,45	0,07	2,09	0,08
Campo Novo do Parecis	0,01	0,01	0,01	-	-
Diamantino	0,01	0,01	0,01	-	-
Lambari D'Oeste	-	0,97	0,19	7,78	0,44
Nova Marilândia	0,30	0,69	9,08	2,67	0,78
Nova Olímpia	0,05	0,10	1,22	0,09	0,01
Reserva do Cabaçal	-	0,22	1,76	0,63	-
Salto do Céu	-	0,16	1,58	3,99	0,19
Santo Afonso	0,18	4,49	5,02	0,70	0,03
Tangará da Serra	7,99	9,37	20,70	5,75	0,78
Total	8,55	18,76	42,69	26,91	3,09

Fonte - Os autores (2020).

Encontrada em 42,69% de sua área, a vulnerabilidade natural média possui representatividade em todos os municípios da BHRS, ocorrendo em Tangará da Serra maior representatividade espacial dessa classe, seguido de Nova Marilândia e Santo Afonso (Tabela 4). Essa classe possui maior ocorrência sobre a formação Utiariti, que ocupa grandes extensões areais, recoberta por relevo aplanado, com presença de Argissolos Vermelho-Amarelos e os Neossolos Quartzarênicos. Os Neossolos Quartzarênicos são mais propensos à erodibilidade que os Argissolos Vermelho-Amarelos devido à elevada fração de areia que esses solos apresentam (CASTRO et al., 2011).

As áreas que apresentam vulnerabilidade natural alta (26,91%) ocorrem com maior expressividade nos municípios de Lambari D'Oeste, Tangará da Serra e Salto do Céu (Tabela 4). Com maior ocorrência na Formação Pantanal (que possui depósitos de sedimentos argilosos e arenosos não estáticos e com alto grau de erodibilidade), essa classe de vulnerabilidade natural é encontrada em áreas com relevo mais elevado (relevo colinoso), associado à ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos, que são solos propensos à erosão. Assim, os solos arenosos, tal como os Neossolos, possuem taxa de infiltração maior e menor retenção de água e de elementos químicos, suscetíveis a processos erosivos (AZEVEDO e DALMOLIN, 2004).

Ocorre na BHRS vulnerabilidade natural muito alta (3,09%) nos municípios de Barra do Bugres, Tangará da Serra e Nova Marilândia (Tabela 4). A referida classe tem maior concorrência sobre a Formação Utiariti, recoberta por Neossolos Litólicos, que são solos rasos e pobres, do ponto de vista pedogenético, e apresenta relevo de aplanamento. Ambas as características podem acarretar na intensificação da vulnerabilidade natural, além da declividade acentuada nesses ambientes. Fernandes et al. (2001) ressaltam que a declividade é um parâmetro de caráter topográfico para definição de áreas instáveis.

Em relação à vulnerabilidade ambiental, a classe com maior predominância na BHRS é a alta (Tabela 5).

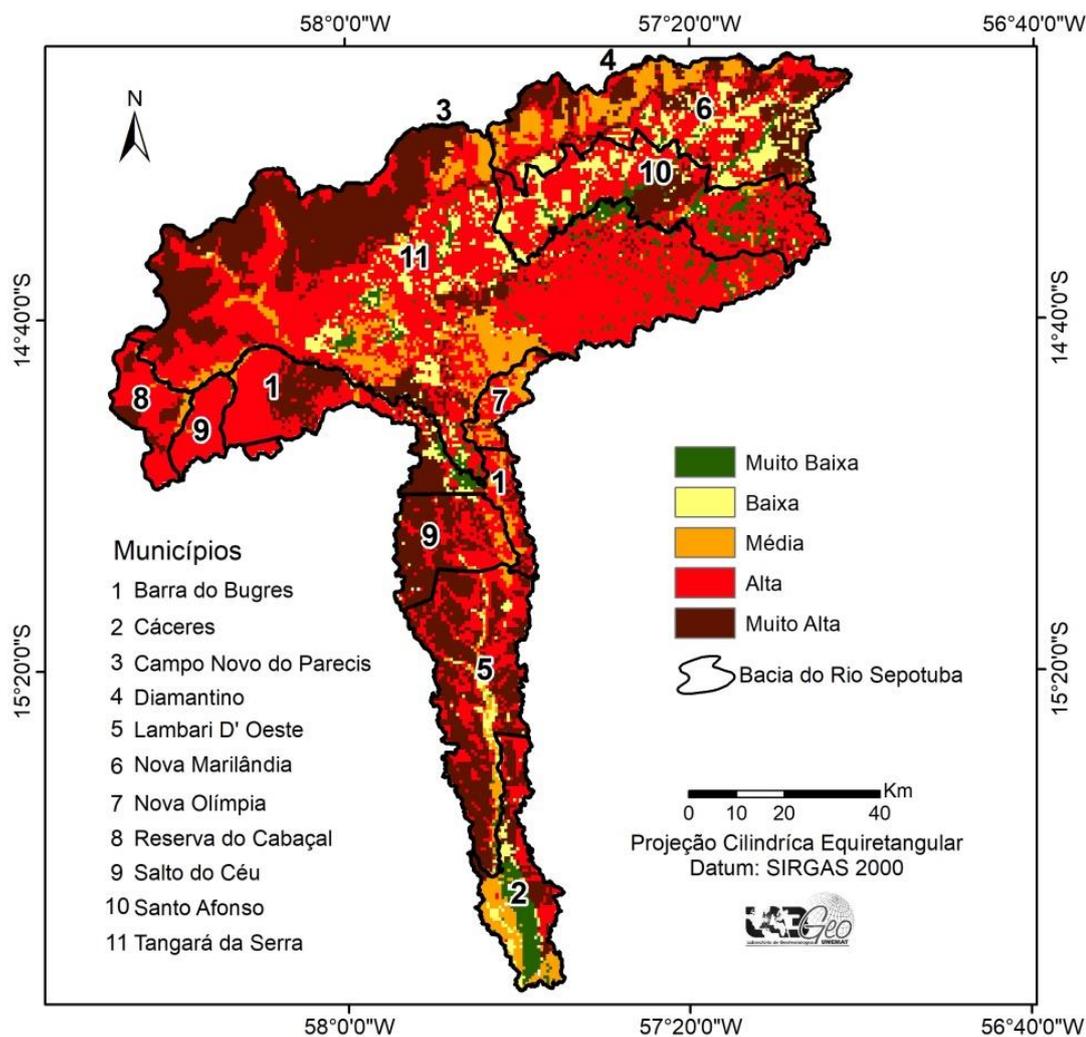
Tabela 5 - Classes de vulnerabilidade ambiental da BHRS.

Classes	Área (km ²)
Muito baixa	448,78
Baixa	789,09
Média	1.017,10
Alta	4.690,43
Muito alta	2.882,59
Total	9.828,00

Fonte - Os autores (2020).

A classe de vulnerabilidade ambiental com menor representatividade na bacia é a muito baixa, pois possui maior concentração na porção sul (Figura 3).

Figura 3 - Vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Sepotuba – Mato Grosso, 2020.



Fonte - Os autores (2019).

As áreas em que ocorreram menor pressão antrópica na BHRS apresentam a vulnerabilidade ambiental muito baixa (4,67%). Dentre os municípios da bacia que possuem essa classe destacam-se: Tangará da Serra, Cáceres, Santo Afonso e Nova Marilândia. Os municípios que não evidenciam a referida classe são: Campo Novo do Parecis e Diamantino (Tabela 6). Essa classe é encontrada em áreas com paisagens naturais ou próximas ao estado natural, sendo descontínua na bacia, e possui maior concentração na porção sul (no município de Cáceres). Ademais, tem ocorrência em áreas com declividades com relevo acentuado nas margens dos rios sobre as Planícies Aluvionar Meandriforme, assim como nas formações de cobertura vegetal de Floresta Aluvial. Tais ambientes inviabilizam certos modos de usos da terra, tornando-se menos vulneráveis às pressões humanas.

A classe vulnerabilidade ambiental baixa (7,98%) ocorre em oito municípios da bacia (exceto Reserva do Cabaçal, Campo Novo do Parecis e Diamantino), sendo os de maior representatividade Tangará da Serra, Nova Marilândia e Santo Afonso (Tabela 6). Essa classe de vulnerabilidade ambiental corresponde, principalmente, às áreas que apresentam relevo mais suavizado com superfície aplanada e com presença de cobertura vegetal de Floresta Submontana.

A vulnerabilidade ambiental média (10,59%) tem ocorrência em dez municipalidades da bacia, exceto em Campo Novo do Parecis (Tabela 6), sendo que a maior concentração dessa classe está em Tangará da Serra, seguido de Nova Marilândia e Cáceres. As áreas que possuem essa classe têm maior representatividade sobre unidades geomorfológicas distintas, como os Pedimentos, Planícies fluviais e Aluvionar, Superfícies aplainadas e os Terraços, o que correspondem às áreas com relevo mais suavizados e fortemente ondulados, que estão associadas às áreas recobertas por cobertura vegetal Savana Parque e Ecótono.

A classe de vulnerabilidade ambiental alta, que corresponde a uma espacialidade geográfica de 47,87%, tem ocorrência em todos os municípios da BHRS, com maior representatividade em Tangará da Serra, seguido por Santo Afonso e Nova Marilândia (o município de Campo Novo do Parecis possui a menor representatividade), conforme consta na Tabela 6. Essa classe de vulnerabilidade tem paisagens naturais que, diante das ações antrópicas, estão sendo suprimidas. Assim, a bacia possui nesta classe paisagens intercaladas, com um conjunto de paisagens naturais ou próximas ao seu estado natural, além de paisagens antropizadas.

Tabela 6 - Distribuição das classes de vulnerabilidade ambiental por municipalidades da BHRS.

Municípios	Vulnerabilidade ambiental (%)				
	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Barra do Bugres	0,30	0,39	0,51	3,78	2,41
Cáceres	1,12	0,45	1,13	0,96	1,04
Campo Novo do Parecis	-	-	-	0,002	0,0007
Diamantino	-	-	0,02	0,01	0,01
Lambari D'Oeste	0,10	0,54	0,61	2,94	5,16
Nova Marilândia	0,34	2,47	2,32	4,43	3,94
Nova Olímpia	0,01	0,01	0,66	0,7	0,15
Reserva do Cabaçal	0,01	-	0,25	1,89	0,55
Salto do Céu	0,02	0,09	0,38	3,08	2,44
Santo Afonso	1,09	1,55	0,33	6,23	1,37
Tangará da Serra	1,68	2,48	4,38	23,85	11,75
Total	4,67	7,98	10,59	47,87	28,89

Fonte - Os autores (2020).

As áreas onde as coberturas vegetais são extremamente ou moderadamente susceptíveis às pressões antrópicas, apresentam em sua maioria relevo suavizado, com superfície aplainada recoberta por Savanas arborizadas e superfície colinosa (porção sul), com presença de Florestas terras baixas. Para que uma área apresente boas condições ambientais, é necessário conservar e preservar as áreas destinadas perante à legislação brasileira, como os topos de morro e as matas ciliares (CALIJURI; CUNHA; POVINELLI, 2010). Além dessas, as áreas que foram submetidas às atividades antrópicas, quando a cobertura vegetal foi retirada para ser destinada aos outros tipos de uso (como agricultura e pecuária), apresentam alta vulnerabilidade ambiental, mesmo tendo características distintas quanto às pressões antrópicas.

A vulnerabilidade ambiental muito alta (28,89%) ocorre em todas as municipalidades contidas na BHRS, de forma fragmentada, tendo o município de Tangará da Serra maior representatividade dessa classe e o município de Campo Novo do Parecis a menor (Tabela 6). Essa classe de vulnerabilidade tem ocorrência em áreas que apresentam unidades geomorfológicas favoráveis à antropização, como as áreas aplainadas e colinosas. Nessas áreas, a cobertura vegetal foi removida para o manejo da agricultura e pecuária.

Mesmo sendo a vulnerabilidade natural da BHRS média, as alterações efetuadas na paisagem, como supressão da vegetação para desenvolvimento de atividades agrícolas (não planejadas), implicaram na predominância de vulnerabilidade ambiental alta, pois a magnitude das pressões antrópicas influencia no grau de vulnerabilidade natural, o que torna os ambientes mais ou menos susceptíveis à degradação ambiental (AQUINO; PALETTA; ALMEIDA, 2017).

Os ambientes vulneráveis podem apresentar processos erosivos que são intensificados de acordo com o grau de vulnerabilidade. De acordo com Sala e Gasparetto (2010), o surgimento de processos erosivos geralmente estão associados à declividade do terreno, à classe de solo e ao tipo de uso da terra. Dessa forma, conhecer a vulnerabilidade natural e ambiental da paisagem da BHRS, possibilita a utilização dos seus atributos de forma planejada, para que assim, as alterações antrópicas não reflitam negativamente no ambiente.

Nesse sentido, é de suma importância o conhecimento e entendimento da interação dos sistemas ambientais frente às pressões provenientes das atividades antrópicas, bem como, a sua capacidade de suporte para planejar o uso da terra (MEDEIROS; PETTA; DUARTE, 2005). Desta forma, compreender e distinguir os componentes da paisagem reflete em aspectos positivos, conforme salienta Santos (2004), pois visa conciliar os interesses socioeconômicos e ambientais, com desenvolvimento de planos efetivos voltados à conservação e medidas mitigadoras por meio de políticas públicas efetivas em ambientes degradados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das geotecnologias, como o Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informação Geográfica, é viável na investigação da vulnerabilidade natural e ambiental de bacias hidrográficas e seus compartimentos, pois possibilita a análise integrada de dados geoespaciais requeridas nas metodologias híbridas. Os sensores remotos constituem uma importante fonte de geração de dados, sobretudo quando as regiões são de difícil acesso ou de grande extensão. Dessa forma, nesse estudo ao serem utilizados, juntamente com o SIG, contribuiu para a análise, avaliação e quantificação dos parâmetros de vulnerabilidade da bacia de estudo.

Na Bacia Hidrográfica do rio Sepotuba predomina a vulnerabilidade natural média, sendo que as atividades antrópicas, que exercem pressões na conservação dos componentes abióticos na paisagem, fazem com que a vulnerabilidade ambiental seja alta. Assim sendo, a incorporação das vulnerabilidades na definição das diretrizes e ações no planejamento municipal pode subsidiar a tomada de decisão dos segmentos que extraem sua renda da terra e dos responsáveis pela conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- ADGER. W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 268-281, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. de. (orgs.). **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017. 112 p. <https://doi.org/10.5151/9788580392425>
- AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e Ambiente: uma introdução**. Santa Maria, RS: Pallotti, 2004. 100p.
- BARROS, A. M.; SILVA, R. H.; CARDOSO, O. R. F. A.; FREIRE, F. A.; JUNIOR, J. J.; RIVETTI, M.; LUZ, D. S.; PALMEIRA, R. C. B.; TASSINARI, C. C. G. Geologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Levantamentos de Recursos Naturais. Folha SD. 21 – Cuiabá; Rio de Janeiro, 1982. p. 25-192.
- BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968. <https://doi.org/10.3406/rgps.1968.4553>
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira-PROBIO: dez anos de atuação/ten years of activities**. 2. ed. Brasília, DF: Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2006. 156p.
- CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F.; POVINELLI, J. **Sustentabilidade: um desafio na gestão dos recursos hídricos**. EESC-USP. São Carlos, SP, 2010. 80p.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996. [https://doi.org/10.1016/0097-8493\(96\)00008-8](https://doi.org/10.1016/0097-8493(96)00008-8)
- CARRIJO, M. G. G. **Vulnerabilidade Ambiental: o caso do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2005.
- CARVALHO, J. M.; NEVES, R. J.; SERAFIM, M. E.; NEVES, S. M. A. S.; KREITLOW, J. P.; FREITAS, L. E. Susceptibilidade e potencial atual à erosão hídrica dos solos na bacia hidrográfica do rio Cabaçal, Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 9, p. 1655-1667, 2017. <https://doi.org/10.14393/rbcv69n9-44083>
- CASTRO, W. J.; LEMKE-De-CASTRO, M. L.; LIMA, J. O.; OLIVEIRA, L. F. C.; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C. C. Erodibilidade de solos do cerrado goiano. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 4, n. 2, p. 305-320, 2011.
- CHAVES, L. A.; PIERANGELI, M. A. P.; NEVES, S. M. A. S. Impactos do novo código florestal nas áreas de preservação permanente do rio Cabaçal em Mato Grosso. **Revista Equador (UFPI)**, v. 9, n. 4, p. 01-20, 2020. <https://doi.org/10.26694/equador.v9i4.11597>
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGis advanced: relebase 10.6**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2018.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, F. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMETY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001. <https://doi.org/10.20502/rbg.v2i1.8>
- FROLOV, A. A.; CHERKASHIN, A. K. Altitudinal Gradient as a Complex Factor for Formation of Landscape Microzonality and Geosystem Serialness. **Geography and Natural Resources**, v. 33, n. 1, p. 10-28, 2012. <https://doi.org/10.1134/S1875372812010027>
- GONZALEZ, A. D. **Análisis y diagnóstico geocológico de los paisajes en la provincia de Sancti Spíritus**. 2003. 115f. Tese (Doutorado em Ciências Geográficas) – Universidad de La Habana, Cuba, 2003.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN):** simulação de risco às atividades da indústria petrolífera. 2003. 253f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de geomorfologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 2009. 182 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira:** sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. 2. ed. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2012. 271 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra.** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 2013. 171 p.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**, Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>> Acesso em: 22 abr. 2018.

KLAIS, T. B. A.; DALMAS, F. B.; MORAIS, R. P.; ATIQUÉ, G.; LASTORIA, G.; PARANHOS FILHO, A. Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 2, p. 277-290, 2012. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.786>

LEANDRO, G. R. S.; ROCHA, P. C.; SOUZA, C. A. Apropriação dos recursos hídricos e intervenções nos canais fluviais na bacia hidrográfica do rio Sepotuba, Alto Paraguai, Mato Grosso – Brasil. **Ciência Geográfica**, v. 24, n. 3, p. 1444-1461, jan/dez. 2020.

LEANDRO, G. R. S. **Interações hidromorfodinâmicas na bacia hidrográfica do rio Sepotuba – Alto Paraguai, Mato Grosso – Brasil.** 2020. 287 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Presidente Prudente – SP, 2020.

LEANDRO, G. R. S.; ROCHA, P. C. Expansão agropecuária e degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Sepotuba - Alto Paraguai, Mato Grosso – Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 31, n. 1, p. 1-21, 2019. <https://doi.org/10.14393/SN-v31-2019-45603>

LORENZON, T. H.; PAIVA, S. L. P.; NEVES, R. J.; NEVES, S. M. A. S.; NUNES, E. S. Análise do estado de conservação das apps de nascentes e da água da bacia hidrográfica do rio Cabaçal, Mato Grosso-Brasil. **Geografia**, v. 40, Número Especial, p. 145-161, ago. 2015.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão. **Bases cartográficas digitais gratuitas do estado de Mato Grosso.** 2017. Disponível em: <http://geoportal.seplan.mt.gov.br/metadados/srv/por/catalog.search#/home> Acesso em: 23 jun. 2018.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Planejamento. **Regiões de Planejamento de Mato Grosso.** Cuiabá: Secretaria de Estado de Planejamento, 2017. 245 p. Disponível em: <http://www.seplan.mt.gov.br/documents/363424/10397701/Perfil+-+Regi%C3%B5es+de+Planejamento+de+Mato+Grosso+2017+-+1%C2%AA+Edi%C3%A7%C3%A3o+--+22.09.2017.pdf/d8b6d6de-6036-0daf-dc42-de4aa154ce0b> Acesso em: 22 abr. 2019.

MEDEIROS, C. N.; SOUZA, M. J. N. Mapeamento dos sistemas ambientais do município de Caucaia (CE) utilizando Sistema de Informação Geográfica: subsídios para o planejamento territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p.25-40, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.1.p025-040>

MEDEIROS, C. N.; PETTA, R. A.; DUARTE, C. R. Estudo do meio físico para avaliação da vulnerabilidade à ocupação humana do município de Parnamirim (RN), utilizando técnicas de geoprocessamento. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 239-253, 2005.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas.** 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2010. 425p.

MIRANDA, M. R. S.; NEVES, S. M. A. S. Dinâmica da estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Jauru/Mato Grosso. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 69, p. 63–77, 2019.

NEVES, S. M. A. S.; MOTINHO, M. C.; NEVES, R. J.; SOARES, E. R. C. Estimativa da perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Jauru/MT. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 3, p. 423-434, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132011000300005>

SALA, M. G.; GASPARETTO, N. V. L. Fragilidade ambiental dos solos em bacias hidrográficas de pequena ordem: o caso da bacia do Ribeirão Maringá-PR. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 113-126, 2010. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v28i2.10418>

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 495p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 353p.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p.

SANTOS, R. F.; CALDEYRO, V. S. Paisagens, condicionantes e mudanças. In: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental: desastres ambientais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. p.13-21.

SILVA, G. J. O.; NEVES, S. M. A. S.; RAMOS, A. W. P.; MIRANDA, M. R. S. Estado de conservação das áreas de preservação permanentes de nascentes da bacia hidrográfica do rio Jauru/MT-Brasil. **Revista Cerrados**, v.18, n. 1, p. 03-22, jan./jun. 2020. <https://doi.org/10.22238/rc24482692202018010322>

TAGLIANI, C. R. A. **Técnica para avaliação da vulnerabilidade de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informações**. Porto Alegre: Editora da UFRG, 2003. Disponível em: <<http://www.praia.log.furg.br/Publicacoes/2003/2003c.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

TARIFA, J. R. **Mato Grosso: CLIMA - análise e representação cartográfica**. Cuiabá: Entrelinhas, 2011. 102p.

TERUYA JUNIOR, H.; LASTORIA, G.; CORREA, L. C.; DALMAS, F. B.; PARRANHOS FILHO, A. C. Vulnerabilidade natural e ambiental da bacia hidrográfica do Rio Formoso, Mato Grosso do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 41-50, 2018. https://doi.org/10.11137/2018_2_41_50

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91p.

USGS. United States Geological Survey. (2013). **Imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8**. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>>. Acesso em 19 jun. 2018.

VERONEZE, O. M. S.; MACEDO, G. Z.; PEREIRA, J. G. Identificação das áreas de vulnerabilidade ambiental na cidade de Ponta Porã – MS. **Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 553-566, 2017. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v6e22017553-566>

Recebido em: 21/07/2021

Aceito para publicação em: 30/03/2022