

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇUZINHO, PALMAS (TO)

Marcelo Divino Ribeiro **Pereira**¹, Sandro Sidnei Vargas de **Cristo**²

(1 – Universidade Federal de Jataí, Doutorando em Geografia, mdrpereira10@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9563-4134>, 2 – Universidade Federal do Tocantins, Docente do Curso de Geografia, Doutor em Geografia, sidneicristo@uft.edu.br, <https://orcid.org/0000-0003-4054-5761>)

Resumo: Ao congregar os temas relacionados ao modelo de uso e ocupação da terra, declividade, solos e erosividade, as bacias hidrográficas estão tornando-se áreas prioritárias para o processo de gestão e planejamento físico-territorial. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi analisar as fragilidades ambientais potenciais e emergentes da bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçuzinho, em Palmas (TO). Para alcançar os resultados pretendidos, empregou-se a proposta metodológica preconizada por Ross (1994), via aplicação de técnicas de geoprocessamento. Os resultados da pesquisa apontam que 46,96% da bacia apresentam fragilidade potencial Muito Baixa e Baixa, caracterizada pelas declividades de 0 a 3% e de 3% a 8%. Os pontos mais críticos, com fragilidade potencial Muito Alta, encontram-se nos terrenos com declividade acima de 45%, constituídos pelos Neossolos Litólicos Distróficos e Eutróficos, ocupando 12,80% no conjunto da área. As fragilidades emergentes, consideradas como Muito Alta, distribuem-se por uma área de 3,47 km², o equivalente a 1,64% da bacia. Observa-se que as atividades humanas têm potencializado essas fragilidades por meio do uso inadequado dos recursos da bacia em estudo, o que exige, dessa forma, a implementação de práticas de manejo e conservação dos solos.

Palavras-chave: Análise integrada. Geoprocessamento. Fragilidade Ambiental.

APPLICATION OF GEOPROCESSING TECHNIQUES IN THE ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL FRAGILITY OF THE TAQUARUÇUZINHO STREAM BASIN, PALMAS (TO)

Abstract: While assembling related themes to the model of use and land occupation, declivity, soils and erosivity, the river basins are becoming prioritized areas for the management and physical-territorial planning process. In face of the exposed, the objective of the paper was to analyze the potential environmental and emerging fragilities of the river basin of Ribeirão Taquaruçuzinho in Palmas, Tocantins state. To reach the intended results, we've applied a methodological proposal recommended by Ross (1994), through the application of geoprocessing techniques. The results of the research point out that 46.96% of the river basin present Very Low and Low potential fragility, characterized by declivity of 0 to 3% and of 3% to 8%. The most critical points, with Very High potential fragility, are found in terrains with declivity over 45%, constituted by Dystrophic Litolic Neosols and Eutrophic, occupying 12.80% in the area as a whole. The emerging fragilities, considered as Very High, distribute themselves through an area of 3.45 km², equivalent to 1.64% of the river basin. It's possible to observe that the human activities have maximized these fragilities through inappropriate use of the resources of the studied basis, what demands, therefore, the implementation of management and soils preservation practices.

Keywords: Integrated analysis; Geoprocessing; Environmental Fragility.

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE GEOPROCESAMIENTO EN EL ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL ARROYO TAQUARUÇUZINHO, PALMAS (TO)

Resumen: Al reunir las cuestiones relacionadas con el modelo de uso y ocupación de la tierra, la pendiente, los suelos y la erosividad, las cuencas hidrográficas se están convirtiendo en áreas prioritarias para el proceso de gestión y planificación físico-territorial. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del trabajo fue analizar las fragilidades ambientales potenciales y emergentes de la cuenca del ribeirão Taquaruçuzinho en Palmas - (TO). Para lograr los resultados esperados, se empleó la propuesta metodológica recomendada por Ross (1994), mediante la aplicación de técnicas de geoprocésamiento. Los resultados de la investigación indican que el 46,96% de la cuenca presenta una fragilidad potencial Muy baja y Baja, caracterizada por pendientes de 0 a 3% y de 3% a 8%. Los puntos más críticos, con una fragilidad potencial muy alta, se encuentran en terrenos con pendientes superiores al 45%, constituidos por Entisoles Litólicos Distróficos y Eutróficos, ocupando el 12,80% de toda la superficie. Las fragilidades emergentes, consideradas como Muy alta, se distribuyen en una

superfície de 3,47 km², equivalente al 1,64% de la cuenca. Las actividades humanas han aumentado estas fragilidades por el uso inadecuado de los recursos de la cuenca, lo que requiere la aplicación de prácticas de gestión y conservación del suelo.

Palabras clave: Análisis integrado; Geoprocusamiento; Fragilidad Ambiental.

1 Introdução

A atuação do ser humano torna-se cada vez mais intensa e marcante no que concerne às transformações ambientais, devido aos diferentes processos de uso e ocupação da terra. Essas interferências antropogênicas têm afetado diretamente as paisagens e seu funcionamento dinâmico.

No mundo pós Segunda Guerra, as mudanças de ordem socioeconômicas, políticas, geopolíticas, culturais, sociais, religiosas e, principalmente, ambientais, levaram os geógrafos a repensarem teoricamente o papel da geografia na compreensão sistemática dessas problemáticas ameaçadoras da biosfera planetária.

Nesse contexto de análise integrada da sociedade com a natureza, a geografia física brasileira passa, mais uma vez, a ser influenciada pelas propostas metodológicas desenvolvidas pelos pesquisadores franceses Bertrand (1972) e Tricart (1977) no que diz respeito aos estudos holísticos da paisagem.

Dessa forma, os fundamentos teórico-metodológicos das Unidades Ecodinâmicas, preconizados por Tricart (1977), serviram de âncora para Ross (1994) desenvolver seu arcabouço metodológico para os estudos das fragilidades ambientais potenciais e emergentes.

Para Ross (1994), as fragilidades ambientais potenciais do meio resultam da interação entre os componentes do quadro físico, tais como solo, declividade, geologia, vegetação, pluviosidade, dentre outros, que, ao estarem num estágio de equilíbrio dinâmico, favorecem a predominância dos atributos ligados à morfogênese da paisagem.

Ross (1994) afirma que à fragilidade ambiental emergente, por outro lado, além de considerar os elementos caracterizadores do meio físico, insere, nesse cômputo de análise integrada, as interferências humanas capazes de trazer grandes alterações entre as trocas de energia e matéria do meio físico. Assim, para esse autor, a fragilidade emergente resulta da capacidade humana de provocar mudanças na paisagem através das práticas de uso e ocupação da terra.

Também para Sporn e Ross (2004), as fragilidades ambientais são determinadas quando se priorizam as análises conjuntas dos elementos que constituem os ambientes físico e antropogênico.

Dentre os estudos já realizados no contexto da bacia do ribeirão Taquaruçu, com o propósito de diagnosticar problemas ambientais e sociais, destacam-se os conduzidos por Martins e Martins (2008) sobre os aspectos quali-quantitativos dessa problemática e, também, os de Chiesa (2016) que menciona que, desde o início da criação da cidade de Palmas, nos anos 90 do século XX, as áreas verdes foram sendo sucumbidas para cederem lugar à expansão do sítio urbano da nova capital.

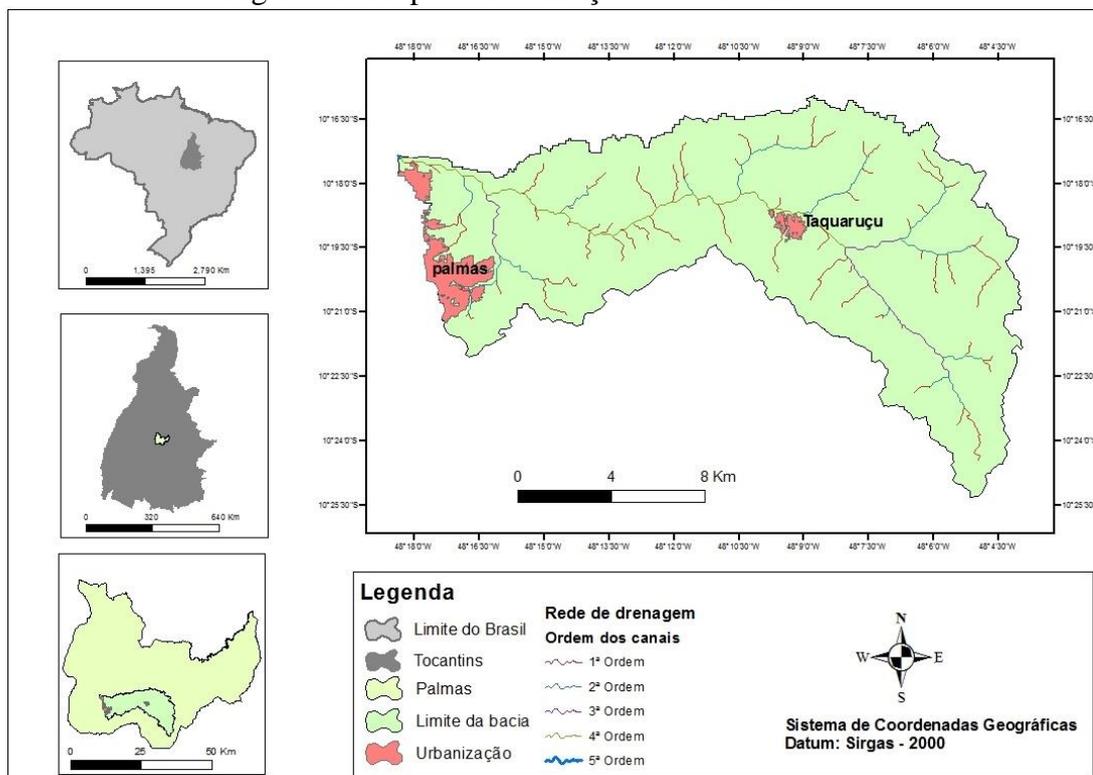
Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo analisar e determinar os aspectos de fragilidades potencial e emergente da bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçuzinho. A escolha dessa área deu-se em função da sua grande importância para o sistema de abastecimento público da cidade de Palmas e, por outro lado, em virtude dos problemas ambientais decorrentes do modelo de uso e ocupação das terras da bacia.

2 Material e Método

A área do presente estudo é a bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçuzinho, localizada entre as coordenadas geográficas 10°16'30''S a 10°25'30''S e 48°18'0'' W a 48°4'30''W. A bacia em foco está situada na região sul do município de Palmas, capital do estado de Tocantins (Figura 1). As maiores cotas altimétricas da área de estudo encontram-se no contraforte da Serra do Lajeado, bem como as principais nascentes da bacia.

A bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçuzinho, com uma área aproximada de 211 km², constitui a principal rede tributária da bacia do ribeirão Taquaruçu Grande, responsável por fornecer mais de 70% de todo o abastecimento urbano de Palmas.

Figura 01- Mapa de localização da bacia em estudo.



Fonte: IBGE, 2013 e SEPLAN, 2012. Organizado pelos autores (2021).

Bases de dados

As bases de dados cartográficos no formato shapefile, empregados na produção dos mapas temáticos referentes à área de estudo, foram compiladas da Secretaria de Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins (SEPLAN-TO), do ano de 2012, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do ano de 2018, na escala de 1:250.000, e do Projeto Produtor de Água (PPA) do Ribeirão Taquaruçu Grande.

A base de dados no formato Raster/Matricial, como o SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), foi utilizada na elaboração do mapa de declividade, enquanto as imagens de satélite da série LANDSAT-8, e as bandas 6, 5 e 4 da órbita 222, e ponto 67 de 20 de agosto do ano de 2018, serviram de âncora na produção do mapa de uso e ocupação das terras da bacia, sendo ambas as imagens provenientes do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), com resolução espacial de 30mx30m.

Os dados empregados na elaboração do mapa de erosividade pluviométrica provêm de uma série histórica de 23 anos, referente aos anos de 1995 a 2018, adquiridos do posto pluviométrico de Palmas, com as coordenadas 10°19'S e 48°30'W e código 83033 do Instituto

Nacional de Meteorologia (INMET), e do posto pluviométrico de Taquaruçu, com as coordenadas 10°, 31S e 48°16'W e código 1048005 da Agência Nacional de Água (ANA).

Quanto à base de dados cartográficos utilizada na confecção do mapa de solo da bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçuzinho, esta é provinda do Projeto Produtor de Água (PPA) do Ribeirão Taquaruçu Grande, adquirida junto à Prefeitura Municipal de Palmas, com escala numérica de 1:25.000.

Processamento dos dados

No processamento dos dados cartográficos da bacia hidrográfica em estudo, foi empregado o software de geoprocessamento ARCGIS 10.5, licenciado para o laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Tocantins (UFT) - Campus de Porto Nacional. Dessa forma, foram elaborados os mapas de localização da área de estudo, declividade, uso e ocupação da terra, erosividade pluviométrica, solos e os mapas de fragilidades ambientais potencial e emergente.

Na confecção do mapa de declividade, a partir do modelo do SRTM, foram seguidos os pressupostos metodológicos estabelecidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018), que classifica as formas do relevo de acordo com as classes de declividade, conforme é apresentado na tabela 01.

Tabela 01- grau de fragilidade ambiental da declividade da bacia em estudo

Declividade	Classificação do relevo	Grau de Fragilidade ambiental
0 - 3	Plano*	1,0 (Muito Baixa)**
3 - 8	Suave ondulado	2,0 (Baixa)
8- 20	Ondulado	3,0 (Médio)
20 - 45	Forte Ondulado	4,0 (Alta)
> - 45	Montanhoso	5,0 (Muito Alta)
	Embrapa, 2018	Ross, 1994

Fonte: *Embrapa, 2018; e **Ross, 1994, com adaptações pelos autores (2021).

Considerada uma variável de suma importância na análise ambiental de bacia hidrográfica, o solo é a metamorfose resultante das dinâmicas físicas, químicas e biológicas que ocorrem na paisagem ao longo do tempo (PALMIERI; LARACH, 2017). A tabela 02 representa as classes de solos da bacia em foco e o grau de fragilidade ambiental.

Como principal agente do processo erosional, o índice de erosividade pluviométrica é uma variante bastante empregada na determinação da capacidade da chuva em erodir os solos

sem proteção. Os primeiros estudos com este propósito foram realizados pelos americanos Wischmeier e Smith (1978), os quais foram adaptados posteriormente para os ambientes tropicais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017).

Tabela 02- grau de fragilidade ambiental para as classes de solos da bacia em estudo

Classes de solo	Sigla	Grau de fragilidade ambiental
Plintossolo Pétrico Concrecionário	FFc	3 - (Média)
Plintossolo Háptico Distrófico	FXd	3 - (Média)
Latossolo Amarelo Ácrico	LAW	1 - (Muito Baixa)
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA	2 - (Baixa)
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico	LVAd1	1 - (Muito Baixa)
Latossolo Vermelho Distrófico	LVd1	1 - (Muito Baixa)
Latossolo Vermelho Distrófico Típico	LVd2	1 - (Muito Baixa)
Latossolo Vermelho Distroférrico	LVdf	1 - (Muito Baixa)
Nitossolo Vermelho Distrófico Úmbrico	NVd1	3 - (Média)
Nitossolo Vermelho Distrófico Típico	NVd2	3 - (Média)
Nitossolo Vermelho Distrófico Úmbrico	NVd3	3 - (Média)
Nitossolo Vermelho Eutrófico	NVe1	3 - (Média)
Nitossolo Vermelho Distrófico Típico	NVe2	3 - (Média)
Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico	PVAd	4 - (Alta)
Neossolos Litólicos Distróficos	RLd	5 - (Muito Alta)
Neossolos Litólicos Eutróficos	RLe	5 - (Muito Alta)

Fonte: Projeto Produtor de Água (PPA), 2012; e Ross, 1994, com adaptações.

Na determinação do índice de erosividade, para as várias regiões brasileiras, foram desenvolvidas equações específicas, considerando, no cômputo de análise, o comportamento climático regional, a quantidade e a intensidade pluviométrica. No caso da área em estudo, situada no estado do Tocantins, aplicou-se a equação 01, proposta por Silva (2004) para a região norte do Brasil.

$$EI_{30} = 36.849 * \left(\frac{M^2x}{P} \right)^{1.0852} \quad \text{Equação(01)}$$

Onde:

EI_{30} = média mensal do índice de erosão (MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹);

M^2x = precipitação média mensal (mm);

P = precipitação média anual (mm).

Desse modo, para cada mês analisado, foi definido o índice de erosividade com base nos dados fornecidos pelas estações meteorológicas localizadas em Palmas e Taquaruçu, a partir da aplicação da equação 02.

$$R = \sum_{i=1}^{12} (EI_{30})_i \text{ Equação(02)}$$

Por se tratar de um índice dado em MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹, empregado na Equação Universal de Perda de Solo - USLE, para que o mesmo pudesse ser utilizado na análise da fragilidade potencial e emergente proposta por Ross (1994), teve que ser convertido em tn.mm.ha⁻¹.ano⁻¹, através da divisão por 9,81, conforme apontamento de Cabral et al. (2011). Dessa forma, o índice de erosividade pluviométrica encontrado para a área em estudo foi ajustado às classes preconizadas por Carvalho (2008), conforme é representado na tabela 03.

Tabela 03- Classes de Erosividade pluviométrica da bacia em estudo

Classes de Erosividade	Erosividade
Muito Baixa - (1)	R < 250
Baixa - (2)	250 < R < 500
Média - (3)	500 < R < 750
Alta - (4)	750 < R < 1000
Muito Alta - (5)	R > 1000

Fonte: Ross, 1994; Carvalho, 2008.

No contexto da análise integrada do meio, o fator humano, representado no modelo de uso e ocupação da terra, tem se tornado um componente indispensável, uma vez que as atividades antropogênicas interferem substancialmente nas características morfodinâmicas da paisagem.

Dessa forma, no processo de geração do mapa de uso e ocupação das terras da bacia em estudo, empregou-se a técnica de classificação supervisionada das imagens de satélite Landsat8, a qual consistiu em coletar várias amostras temáticas (áreas de treinamento) sobre as imagens pré-processadas; para tanto, fez-se uso do algoritmo Máximo Verossimilhança (*Maximum-Likelihood*). O mapa gerado no formato raster, posteriormente, foi convertido em polígono para que se fizesse a correção dos pixels que foram comissionados ou omitidos no processo de classificação.

Assim, foram geradas as seguintes classes de uso da bacia: vegetação rala, vegetação densa, pastagem, queimada, urbano e solo exposto. A tabela 04 representa as classes de uso da terra e o grau de fragilidade ambiente conforme Ross (1994).

Tabela 04- Fragilidade ambiental das classes de uso da terra da bacia em estudo

Classes de uso da terra	Grau de fragilidade ambiental
Vegetação rala	2,0 - (Baixa)
Vegetação densa	1,0 - (Muito Baixa)
Pastagem	3,0 - (Média)
Queimadas	5,0 - (Muito Alta)
Urbano	4,0 - (Alta)
Solo exposto	5,0 - (Muito Alta)

Fonte: Ross, 1994, com adaptações pelos autores (2021).

Para validação do mapa de uso da terra, além da execução de trabalho de campo com o uso de aparelho de GPS e máquina fotográfica, aplicou-se o índice de Acurácia Global, conforme se destaca na equação 03, e o índice Kappa, equação 04.

$$AG = \frac{D}{T} \quad \text{Equação 03}$$

Onde:

AG = Acurácia global;

D = Somatória dos elementos da diagonal principal;

T = Número total de pontos.

A equação 04 sintetiza o procedimento que se fez para geração do índice Kappa

$$IK = \frac{D-Q}{T-Q} \quad \text{Equação 04}$$

Onde:

IK= Índice Kappa;

D = Somatória dos elementos da diagonal principal;

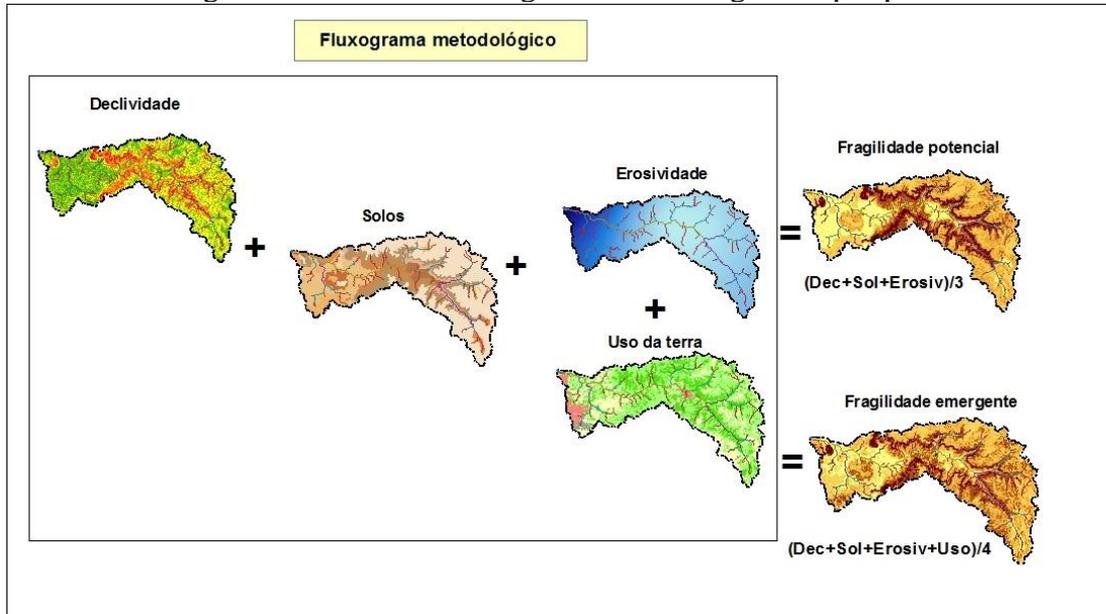
Q = Coeficiente entre o erro de comissão e o erro de omissão;

T= Número total de pontos.

A proposta de Ross (1994) para determinação da fragilidade potencial da paisagem consiste em fazer a sobreposição dos temas geográficos relacionados à declividade, solo e erosividade pluviométrica; com a inclusão do fator de uso e ocupação da terra, representando a ação antrópica, tem-se a determinação da fragilidade ambiental emergente. As equações 05 e

06 sintetizam tal arcabouço metodológico. Na figura 02 apresenta-se o passo a passo seguido no desenvolvimento do fluxograma metodológico da pesquisa.

Figura 02-Síntese do fluxograma metodológico da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Na geração do mapa de fragilidade ambiental potencial da bacia do ribeirão Taquaruçuzinho, aplicou-se a equação 05.

$$(Dec+Sol+Erosiv)/3 \quad (\text{equação 05})$$

Onde:

Dec = Declividade em porcentagem

Sol = Solos

Erosiv = Erosividade

Quanto ao mapa de fragilidade emergente, na sua produção, aplicou-se a equação 06.

$$(Dec+Sol+ Erosiv +Uso)/4 \quad (\text{equação 06})$$

Onde:

Dec = Declividade em porcentagem

Sol = Solos

Erosiv = Erosividade

Uso = Uso e ocupação da terra

Por meio do Software ARCGIS 10.5, usando as ferramentas *Map Algebra e Raster Calculator*, foi possível fazer a sobreposição dos rasters de declividade, solo, erosividade

pluviométrica e uso e ocupação da terra, gerando, dessa forma, os mapas de fragilidade potencial e emergente da bacia em estudo.

3 Resultados e discussões

Aspectos físicos da paisagem da bacia em estudo

O diagnóstico da fragilidade ambiental emergente e potencial, segundo os pressupostos da metodologia de Ross (1994), favorece a compreensão das áreas frágeis do ponto de vista geocológico da paisagem, e aquelas que são induzidas pelas atividades antropogênicas.

Aspectos pedológicos da bacia

No diz respeito aos aspectos físicos da bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçuzinho, o mapa pedológico, representado na figura 03, faz uma descrição dos tipos de solos encontrados na bacia em estudo, sendo eles: Plintossolo Pétrico Concrecionário (FFc), Plintossolo Háptico Distrófico (FXd), Latossolo Amarelo Ácrico (Law), Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd1), Latossolo Vermelho Distrófico (LVd1), Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVd2), Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), Nitossolo Vermelho Distrófico Úmbrico (NVd1), Nitossolo Vermelho Distrófico Típico (NVd2), Nitossolo Vermelho Distrófico Úmbrico (NVd3), Nitossolo Vermelho Eutrófico (NVe1), Nitossolo Vermelho Distrófico Típico (NVe2), Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd), Neossolos Litólicos Distróficos (RLd) e Neossolos Litólicos Eutróficos (RLe).

A classe de solo com maior representação espacial no conjunto da área em estudo é do tipo Plintossolo Pétrico Concrecionário, ocupando 89,63km², localizada nas bordas leste da bacia; trata-se de solo com textura arenosa desde a sua superfície até no mínimo 50 cm e no máximo 100 cm de profundidade, normalmente ocorrendo em terrenos plano e suave ondulado (EMBRAPA, 2018).

Situado nas regiões norte/leste da bacia, em terreno ondulado, o Plintossolo Háptico Distrófico ocupação cerca de 0,68 km² no conjunto da área; são solos com textura francoarenosa ou mais fina em um ou mais horizontes desde a sua superfície até o início do horizonte plíntico, que ocorre a uma profundidade maior que 100 cm e menor ou igual a 200 cm (EMBRAPA, 2018).

Com uma área de 38,01km², os Latossolos Vermelho Distrófico e Típico constituem a segunda maior classe de solos da bacia; são solos com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA), segundo a Embrapa (2018). Esses tipos de solos estão situados nas regiões centro-leste da área, entre as declividades de 0 a 3%, configurando terreno plano.

Já o Latossolo Vermelho Distroférico plíntico, localizado a sudoeste da bacia, ocupa uma área de 3,02 km²; trata-se de solo com caráter plíntico ou horizonte plíntico em posição não diagnóstica para Plintossolos dentro de 200 cm a partir da superfície do solo. A declividade dessa classe de solo, na área em estudo, situa-se entre 3% a 8%, representando um relevo plano a suave ondulado.

De maneira geral, as seis classes de latossolos presentes na bacia do ribeirão Taquaruçuzinho ocupam uma área de 46,5 km², o equivalente a 22,04% de toda a bacia. São solos em avançado estágio de intemperismo, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo, sendo, por isso, muito profundos, com a espessura do *solum* raramente inferior a 1 m. (EMBRAPA, 2018). Por essas características, constituem as classes de solos mais estáveis do ponto de vista geofísico da paisagem (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016), cuja classificação da fragilidade ambiental potencial, no presente estudo, foi caracterizada como Muito Baixa a Baixa.

Os Nitossolos Vermelhos Distróficos ocupam aproximadamente 22,68 km² das terras da bacia, representando 9,8% no conjunto da área; esses solos estão distribuídos nas regiões central e leste da bacia, possuindo saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B/BA (EMBRAPA, 2018). Possuem declividades situadas entre 8% a 20%, e terreno considerado como ondulado, constituindo fragilidade ambiental média (ROCHA; BADE; NÓBREGA; CUNHA, 2016).

A classe do Nitossolo Vermelho Eutrófico, com área de 15,74 km² no conjunto da bacia, é um tipo de solo com saturação por bases \geq 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2018). Esse tipo de solo está situado entre as declividades 20% a 45%, em relevo considerado ondulado a forte ondulado, e fragilidade ambiental Média a Alta.

O Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, representando 4,40 km² na área da bacia, é um tipo de solo com morfologia (estrutura e cerosidade) semelhante aos Nitossolos, diferindo desses por apresentar relação textural B/A maior que 1,5 e/ou pela presença de policromia dentro de 150 cm a partir da superfície do solo (EMBRAPA, 2018). Essa classe de solo ocupa o médio-baixo curso da bacia, com predominância das declividades situadas entre 3% a 8%,

nos terrenos planos a suave ondulados. O mencionado solo é considerado de fácil erodibilidade, principalmente por conta do seu horizonte B textural, apresentando, dessa forma, Alta fragilidade ambiental (ALVES; SILVA; ALVAREZ, 2018).

Os Neossolos Litólicos, abrangendo aproximadamente 33,36 km² bacia em estudo, o correspondente a 15,81%, estão localizados principalmente no contraforte da Serra do Lajeado, constituindo as maiores altitudes da área, com declividades > 45%, caracterizando os terrenos mais acidentados e montanhosos da bacia. Por essas características, são solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2018). Esses tipos de solos apresentam fragilidade ambiental considerada Muito Alta (CORADO NETO; SAMPAIO; VELOSO; MATIAS; ANDRADE; LOBATO, 2015).

Aspectos da declividade da bacia

Como um parâmetro morfométrico, a declividade é uma variável que discrimina as formas do relevo no que tangencia as inclinações que o terreno apresenta. Tal parâmetro vem sendo utilizado largamente em modelos matemáticos que fazem as previsões de áreas vulneráveis (CREPANI, 2001) e frágeis (ROSS, 1994), do ponto de vista da fragilidade ambiental potencial e emergente.

Conforme pode ser observado no mapa da figura 04, a bacia hidrográfica em estudo apresenta um mosaico de formas diversificadas do relevo, tendo como divisor topográfico as chapadas e colinas (PEREIRA; CRISTO, 2019), ao longo da extensão da Serra do Lajeado.

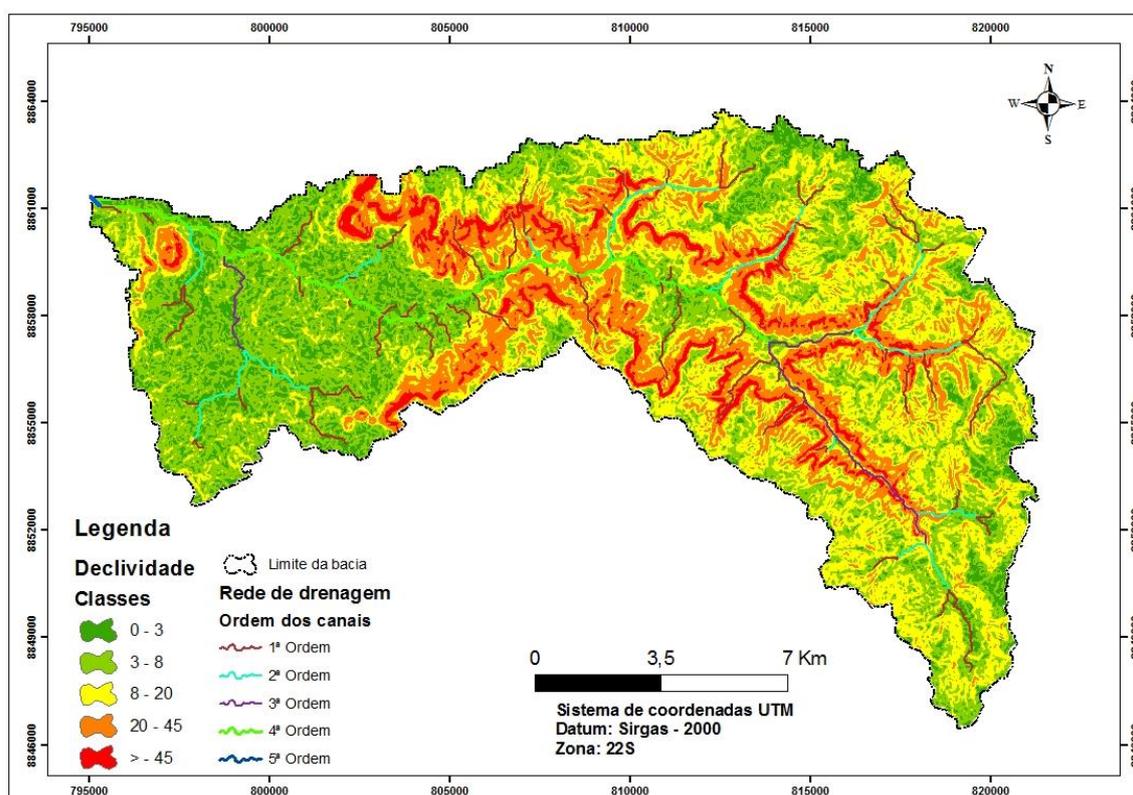
Na tabela 05 constam as características da declividade da bacia em estudo e as áreas representadas em km², bem como o tipo de relevo correspondente e o grau de fragilidade associado.

Assim, as classes com os terrenos mais planos da bacia são constituídas por declividades situadas entre 0 a 3%, com área de 29,05 km², representando cerca de 13,77% no conjunto da bacia. A classe mais representativa do contexto em análise, formada pelo relevo Suave Ondulado, é a declividade entre 3% a 8%, ocupando 71,01 km², o equivalente a 33,65% da bacia. Essas classes de declividade caracterizam os terrenos menos frágeis do ponto de vista ambiental da área em foco.

O relevo classificado como ondulado, com declividade situada entre 8% a 20%, representa, aproximadamente, 62,19 km², o correspondente a 29,47% da bacia. Tal declividade,

conforme escala de fragilidade ambiental potencial (ROSS, 1994), equivale ao grau 3, denominada de Média fragilidade.

Figura 04-Mapa de Declividade da bacia hidrográfica em estudo



Fonte:

USGS, 2018; organizado pelos autores 2021.

Tabela 05- Síntese da Declividade e Grau de Fragilidade Ambiental

Declividade (%)	Área (Km ²)	Classificação do relevo	Grau de Fragilidade
0 - 3	29,05	Plano	1,0 (Muito Baixa)
3 - 8	71,01	Suave ondulado	2,0 (Baixa)
8 - 20	62,19	Ondulado	3,0 (Médio)
20 - 45	38,90	Forte Ondulado	4,0 (Alta)
> - 45	9,86	Montanhoso	5,0 (Muito Alta)
Total	211,00	Embrapa, 2018	Ross, 1994

Fonte: Embrapa, 2018; e Ross, 1994, com adaptações pelos autores (2018).

Á área com relevo Forte Ondulado, com grau de fragilidade ambiental potencial 4, classificada como Forte fragilidade (ROSS, 1994), ocupa cerca de 38,90 km², o que representa 18,46% da bacia. A classe de relevo conceituada como montanhoso (EMBRAPA, 2018) ocupa a menor dimensão espacial da área, cerca de 9,86 km², o equivalente a 4,67% no contexto; a

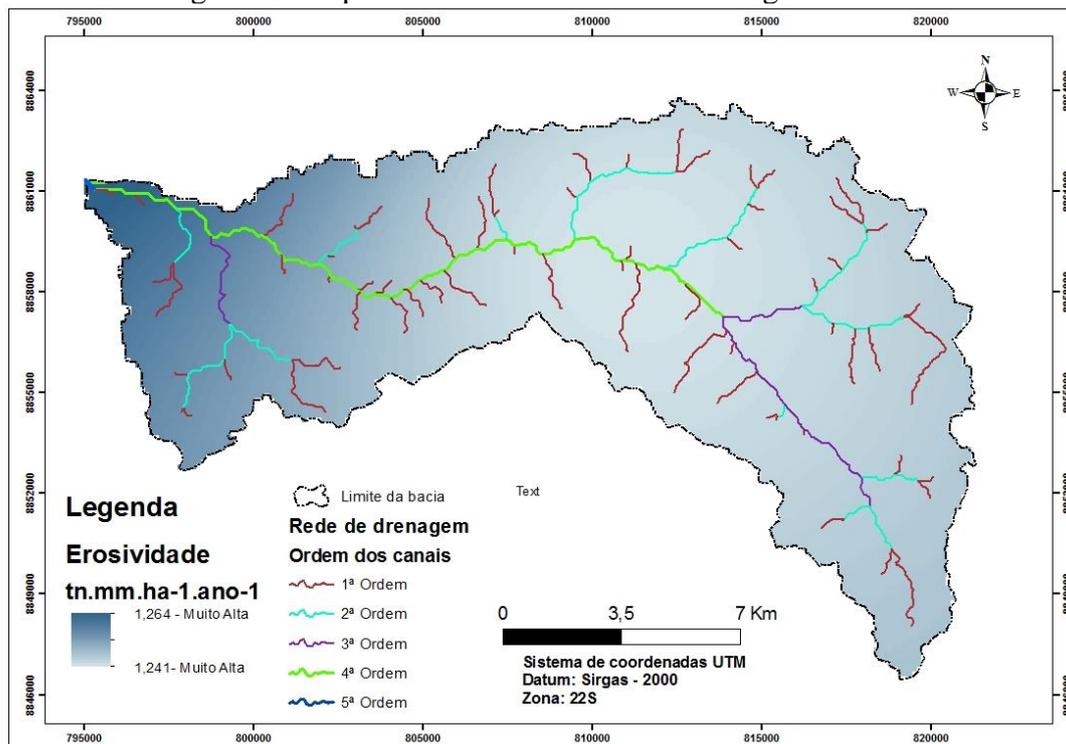
declividade desse tipo de ambienta situa-se acima de 45%, formando o contraforte da Serra do Lajeado, apresentando grau 5 na escala e Muito Forte fragilidade ambiental potencial.

Aspectos da erosividade da bacia

Quanto às variáveis do quadro físico, no contexto da análise integrada da paisagem, o índice pluviométrico é um dos mais empregados nas previsões das vulnerabilidades e fragilidades ambientais. A erosividade pluviométrica sintetiza a capacidade da chuva em erodir os solos sem cobertura vegetal.

No contexto da bacia em estudo, o índice pluviométrico foi determinado com base nos dados fornecidos pelas estações meteorológicas localizadas em Palmas e Taquaruçu. A figura 05 representa o mapa de Erosividade da bacia hidrográfica em foco.

Figura 05-Mapa de Erosividade da bacia hidrográfica em estudo



Fonte:

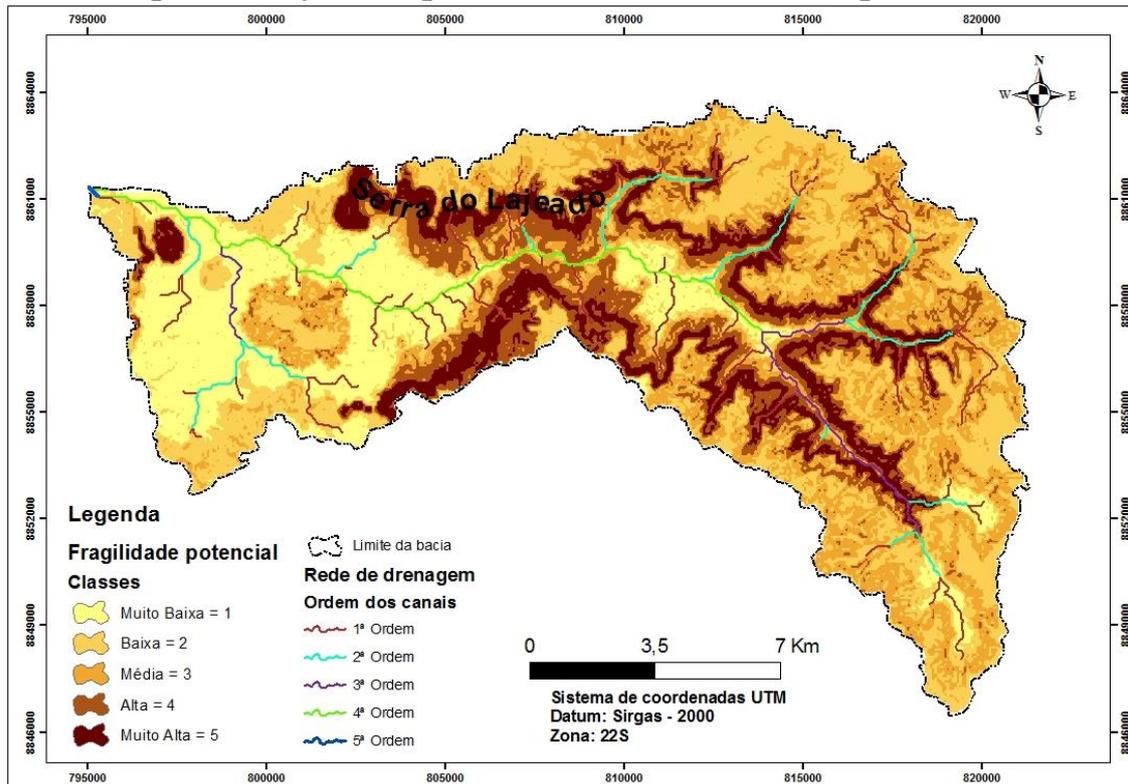
INMET; ANA, 1995 a 2018; organizado pelos autores 2021.

Conforme se percebe na figura 05, com base na proposta de Carvalho (2008) e Cabral et al. (2011), a bacia hidrográfica em foco apresenta grau de fragilidade ambiental potencial considerado Muito Alto, com valores que variaram entre 1,264 a 1,241 tn.mm.ha⁻¹.ano⁻¹ ao longo de sua extensão físico-territorial.

Fragilidade ambiental potencial da bacia

A fragilidade ambiental potencial da bacia em estudo, conforme observado na figura 06, demonstra a distribuição espacial dos diferentes graus de fragilidades que esse ambiente apresenta.

Figura 06-Mapa de Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica em estudo



Fonte:

Elaborado pelos autores, 2021.

Os pontos mais críticos, no que diz respeito à fragilidade ambiental potencial da bacia, estão localizados ao longo da extensão da Serra do Lajeado, local que conforma um grande número dos rios de primeira e segunda ordem no contexto em foco. Esses pontos críticos são de Muito Alta fragilidade ambiental, principalmente em virtude da declividade, superior a 45%, e dos Neossolos Litólicos Distróficos e Eutróficos que os constituem; tal representação ocupa 27 km² na bacia, o equivalente a 12,80% no conjunto geral da área.

As áreas que apresentam fragilidade ambiental potencial Muito Baixa e Baixa, estão situadas entre as declividades de 0 a 3% a 3% e 8% no contexto, representando aproximadamente 99,09 km², o que corresponde a 46,96% da bacia, sendo formadas pelos diferentes tipos de Latossolos Vermelho Ácrico, Vermelho Amarelo, Vermelho Amarelo Distrófico, Vermelho Distrófico, Vermelho Distrófico Típico e Vermelho Distroférico.

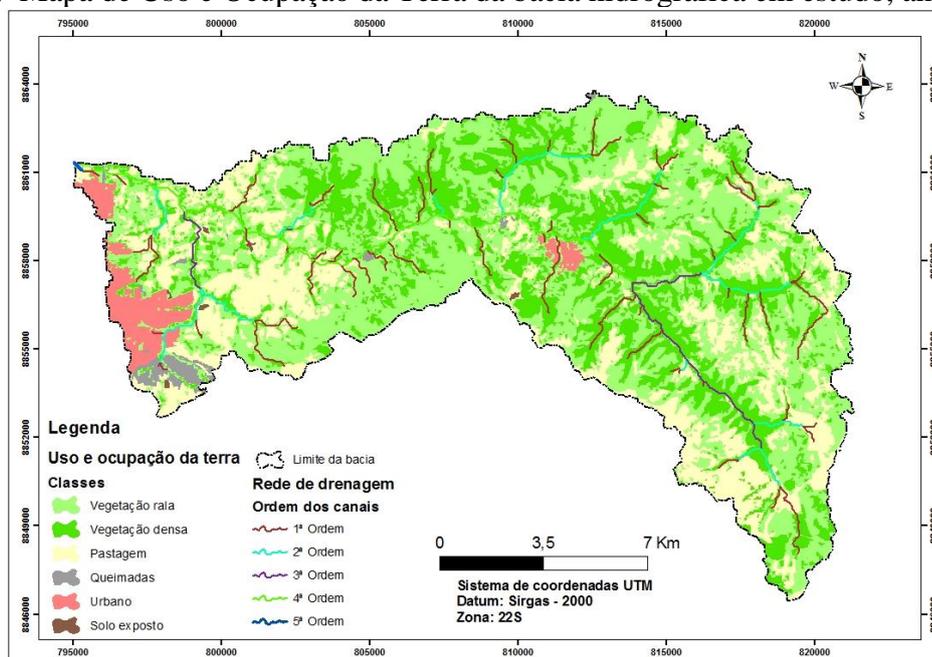
As áreas com fragilidades ambientais Médias estão entre as declividades de 8% a 20%, com relevo Ondulado e correspondendo a 54,51 km² da bacia, o equivalente a 25,83%. Os solos desse ambiente são os dos tipos Nitossolos Vermelho Distrófico Úmbrico, Vermelho Distrófico Típico, Vermelho Distrófico Úmbrico e Vermelho Eutrófico. Nesse contexto de fragilidade ambiental Média, também são encontrados os Plintossolos Pétrico Concrecionário e Háplico Distrófico, nos terrenos tidos como Suave Ondulado a Ondulado.

A Alta fragilidade ambiental potencial da bacia, com 30,40 km², que é correspondente a 14,41% da área, está relacionada aos Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico, e a uma declividade caracterizada entre 20% a 45%.

Aspectos antropogênicos da bacia

No contexto da análise da fragilidade ambiental emergente, incluiu-se o fator antrópico, representado no modelado de uso e ocupação das terras da bacia hidrográfica em questão, conforme demonstrado no mapa da figura 07.

Figura 07-Mapa de Uso e Ocupação da Terra da bacia hidrográfica em estudo, ano de 2018.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

A compreensão do modelo de uso e ocupação das terras de uma bacia hidrográfica tem se tornado cada vez mais prioridade, uma vez que tanto os mecanismos naturais, como, principalmente, os antropogênicos interferem nas propriedades dos solos, sedimentos e nas

características físico-químicas e biológicas dos padrões de qualidade das águas, bem vital para a manutenção e sustentabilidade da vida no planeta Terra (KARALAY; KARA, 2018).

Nesse quesito do mapeamento temático de uso e ocupação da bacia, os índices de Desempenho (Acurácia Global) e o coeficiente Kappa demonstraram uma alta confiança na classificação gerada, com valores superiores a 90% para o ano de 2018, conforme pode ser observado na tabela 05.

Tabela 05 – Valores referentes aos índices de Desempenho Global e Kappa

ÍNDICES		
Ano	Acurácia Global (%)	Coeficiente Kappa
2018	94	92

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

A classe temática denominada de vegetação rala, de acordo com a tabela 04, abrange cerca de 97,65 km² da bacia, o equivalente a 46,28% da área; esse tipo temático, constituído por vegetação secundária ou fragmento florestal, foi classificado como de Baixa fragilidade ambiental. As denominadas de vegetação densa, também tidas na literatura especializada como cerradão, incluindo nesta pesquisa as Áreas de Preservação Permanentes (APPs), ocupam aproximadamente 55,08 km², o correspondente a 26,19% do contexto; segundo a proposta de Ross (1994), adaptada pelos autores, tal classe foi considerada de Muito Baixa fragilidade ambiental.

Os usos da bacia destinados à pastagem, com representação espacial de 47,15 km², equivalem a 22,35% são classificados como de Média fragilidade ambiental Ross (1994). Essa classe distribui-se em todas as regiões da bacia, com predominância nas porções leste/oeste da área. As queimadas, no conjunto da bacia, têm sido potencializadas nas últimas décadas como uma das principais formas de limpeza do terreno para a introdução da pastagem para a criação bovina. Tal prática pode colocar em risco a fauna e flora da bacia, além de comprometer as características referentes à qualidade das águas. A fragilidade ambiental para esse tipo de uso é tida como Muito Alta, uma vez que, ao expor o terreno às intempéries climáticas, favorece a lixiviação do solo, as ravinas e erosões extremas.

O processo de urbanização da mencionada bacia, conforme pode ser observado no mapa da figura 07, está centrado nas regiões leste e central (distrito de Taquaruçu), configurando-se num processo contínuo de remoção da cobertura vegetal do bioma cerrado, e uma ocupação

intensa que, nem sempre, tem respeitado os limites físicos que a paisagem apresenta, ainda que se trate de uma cidade planejada. Tal tema representa 7,56 km², respondendo por 3,6% da área, e apresentando fragilidade ambiental considerada Alta (ROSS, 1994).

A classe de uso denominada de solo exposto, com área de 0,27 km², equivalente a 0,13% da bacia, está distribuída nas porções do médio a baixo curso da bacia, principalmente nas proximidades do perímetro urbano. Essa classe, conforme a proposta de Ross (1994), é caracterizada como sendo de Muito Alta a fragilidade ambiental.

Fragilidade ambiental emergente da bacia

A fragilidade ambiental emergente, conforme os pressupostos da proposta de Ross (1994), consistiu em uma sobreposição das variáveis declividade, solos e erosividade, caracterizando o quadro físico da bacia, com o mapa de uso e ocupação das terras, configurando o aspecto antrópico da paisagem.

Os terrenos com fragilidade emergente (figura 08), considerada Muito Baixa e Baixa, no contexto da bacia, ocupam área aproximada de 142,11 km², o equivalente a 67,35% do conjunto da área. A expansão territorial dessas classes, quando comparadas com as do mapa de fragilidade ambiental potencial, pode se justificar no modelo de uso e ocupação das terras, que, com a promulgação da Lei Estadual 906/1997, teve convertida 73% de toda a área da bacia em Área de Preservação Ambiental (APA, Serra do Lajeado).

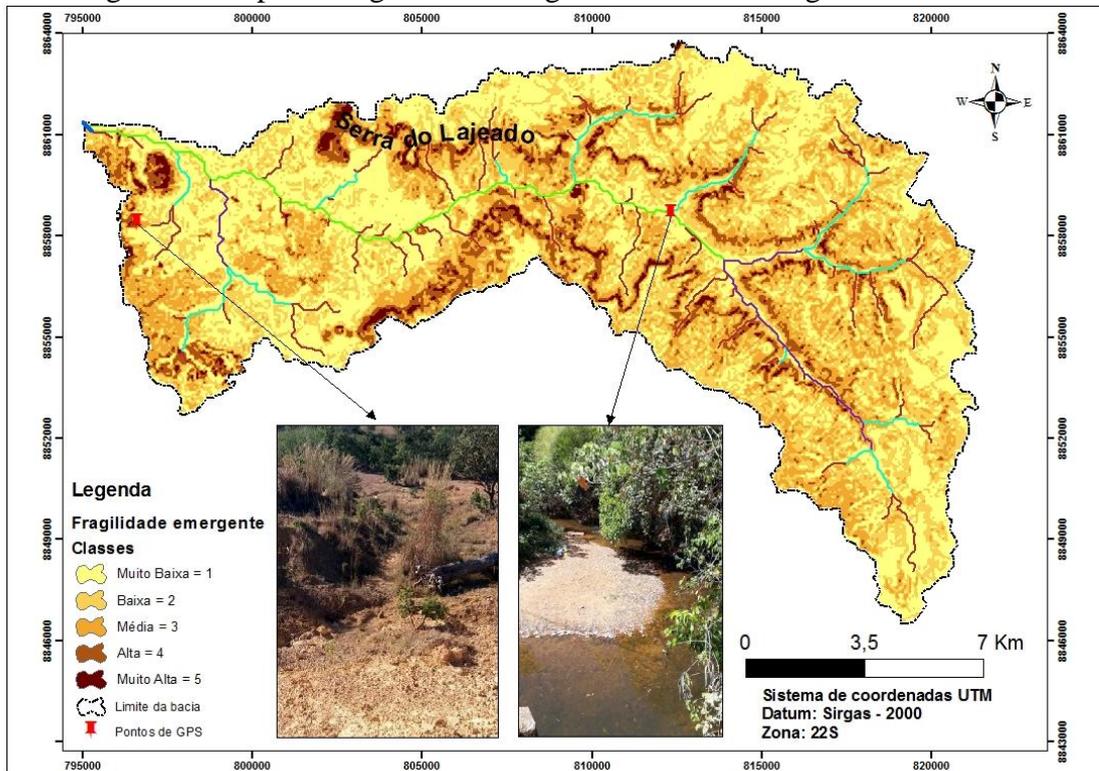
A classe de Média fragilidade ambiental emergente representa 43,76 km², respondendo por 20,74%; a diminuição espacial dessa classe em relação à Média fragilidade Potencial também se explicaria pelo modelo de uso das terras.

As classes de fragilidades ambientais emergentes conceituadas como Alta, no contexto em análise, ocupam uma área aproximada de 17,37 km², o equivalente a 8,23% da bacia. A diminuição do risco dessa classe, em relação aos resultados da fragilidade potencial, pode ser justificada pelo processo de abandono das áreas e a conseqüente regeneração, muito comum no ambiente de Cerrado, até porque são áreas com declividades situadas entre 20% a 45%. Além disso, existem também as áreas que naturalmente estão protegidas em função do uso local, dada as características geofísicas que a paisagem da bacia apresenta.

Os terrenos que apresentam fragilidade emergente considerada Muito Alta distribuem-se por uma área de 3,47 km², o equivalente a 1,64% da bacia em estudo. Nesse tipo de terreno, encontram-se os Neossolos Litólicos Distróficos e Eutróficos, e declividade acima de 45%. A diminuição do risco dessa classe, no comparativo com as classes do mapa de fragilidade

potencial, pode ser explicada pelos mesmos motivos elencados ao uso e ocupação das terras da bacia em estudo.

Figura 08-Mapa de fragilidade emergente da bacia hidrográfica em estudo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conclusões

- A aplicação de técnicas de geoprocessamento no diagnóstico da fragilidade ambiental potencial da bacia do ribeirão Taquaruçuzinho demonstrou ser de grande utilidade, pois, permitiu caracterizar que os locais com fragilidade ambiental Muito Baixa, Baixa e Média estão inter-relacionados às declividades entre 0 3% e 3% a 8% e aos solos dos tipos Latossolos Vermelho Ácrico, Vermelho Amarelo, Vermelho Amarelo Distrófico, Vermelho Distrófico, Vermelho Distrófico Típico e Vermelho Distroférico.
- No que diz respeito à fragilidade ambiental emergente, considerada Muito Baixa e Baixa no contexto da bacia, observa-se que houve uma expansão dessa classe quando comparada com a fragilidade ambiental potencial, podendo ser justificada com a implementação de leis ambientais que coíbem certos tipos de uso da bacia a partir da criação da cidade de Palmas nos anos 1990.

- As classes de fragilidades ambientais consideradas Alta e Muito Alta estão presentes ao longo do contraforte da Serra do Lajeado, constituídas por declividades situadas acima de 45%, cujos tipos de solos encontrados são Neossolos Litólicos Distróficos e Eutróficos; a preservação das áreas que apresentam esse tipo de fragilidade é de suma importância no cenário atual da bacia, uma vez que um grande número de canais de primeira e segunda ordem nascem na Serra do Lajeado.
- Com todas as restrições naturais impostas pela bacia hidrográfica em questão, percebe-se que o modelo de uso e ocupação das terras pode comprometer a sustentabilidade desse tipo de ambiente, pois, as queimadas, exposição do solo, remoção da cobertura vegetal e a expansão urbana desordenada podem acelerar os processos de degradação ambiental da bacia, acarretando, a médio e longo prazo, a insustentabilidade do sistema.
- Em virtude dos problemas socioambientais elencados no contexto da bacia supracitada, recomenda-se a implantação de políticas públicas de conservação dos solos e recursos hídricos, bem como a realização de educação ambiental nas escolas municipais e estaduais do município de Palmas.

Referências

- ALVES, R. F.; SILVA, S. A. S.; ALVAREZ, W. P. (2020) Relação de voçorocas e áreas de fragilidade ambiental na microbacia do rio Jarauçú no município de Brasil Novo-Pará. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, v. 22, p. 1-18, 2018. <https://doi.org/10.5902/2236499431450>.
- ANA - Agência Nacional de Água. (2018) *Séries históricas de estações*. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 10 mar. 2018.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (2017) *Conservação do solo*. 10. ed. São Paulo: Ícone.
- BERTRAND, G. (2004) Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Trad. Olga Cruz. *R. RA'É GA*, Curitiba, n. 8, p. 141-152. Editora UFPR. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389/2718>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- CABRAL, J. B. P.; ROCHA, I. R; MARTINS, A. P; ASSUNÇÃO, H. F; BECEGATO, V. A. (2011) Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. *GeoFocus* (Artículos), n. 11, p. 51-69, 2011. Disponível em: <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/212/0>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- CARVALHO, N. O. (2008) *Hidrossedimentologia prática*. 2. ed. rev. atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência.

- CHAVES, H. M. L.(2012) *Projeto produtor de água, bacia do rio Taquarussu*. 2º Relatório de Consultoria, Produto D.1 Consultor: Henrique M.L. Chaves, PhD, TNC-SANEATINS.
- CHIESA, V. B. (2016) *Aplicabilidade de modelos matemáticos na análise de processos de outorga: o caso da bacia do Ribeirão Taquaruçu*. 178 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas-TO. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11612/253>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- CORADO NETO, F. C.; SAMPAIO, F. T. M.; VELOSO, M. E. C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M.G.R. (2015) Variabilidade espacial da resistência à penetração em neossolo litólico degradado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 5, p. 1353-1361, 2015. DOI <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140692>.
- CREPANI, E. M.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. BARBOSA, C. C. F.(2001) *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico*. São José dos Campos - SP: INPE. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2020.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2018) *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências, downloads, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 20 maio 2018.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Dados históricos, (2018). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 10 fev.
- KARALAY, N.; KARA, Ô. (2018) Forestry activities and surface water quality in a watershed. *Eur J Forest Eng*, v. 4, n. 2, p. 70-82. <https://dx.doi.org/10.33904/ejfe.438621>.
- MARTINS, D. D. S.; MARTINS, I. C. M. (2008) Quantificação e qualificação dos problemas ambientais por atores sociais do ribeirão Taquarussu Grande, Palmas – TO. *Revista de Ciências Ambientais*, Canoas, v. 2, n. 2, p. 25-42. <https://dx.doi.org/10.18316/118>.
- PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. (2017) Pedologia e geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B (org.). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 396p.
- PEREIRA, M. D. R; CRISTO, S. S.V. (2019) Análise morfopedológica da bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçu Grande, Palmas (TO). *Revista Interface*, Porto Nacional, v. 17, n. 17, p. 44-58, jun.
- ROCHA, A. S; BADE, M. R; NÓBREGA, M. T; CUNHA, J. E. (2016) Mapeamento da fragilidade potencial e emergente na bacia hidrográfica do Paraná 3. *Estudos Geográficos*, Rio

Claro, n. 14, p. 43-59. Disponível em:

<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/issue/view/1055>. Acesso em: 20 mar. 2020.

ROCHA, A. S.; CUNHA, J. E.; MARTINS, V. M. (2014) Mapeamento das fragilidades potencial e emergente da bacia hidrográfica do córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon-Paraná. *Rev. Perspectiva Geográfica – Unioeste*, v. 8, n. 8. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica/article/view/9593>. Acesso em: 10 mar. 2020.

ROSS, J. L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista Departamento de Geografia, São Paulo*, v. 8, 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.

SEPLAN - Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. (2012) Bases vetoriais. Disponível em: <http://www.sefaz.to.gov.br/zonamento/bases-vetoriais/bases-vetoriais/base-de-dados-geograficos-do-tocantins---atualizacao-2012>. Acesso em: 15 abr. 2018.

SILVA, A. M. (2004) Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, v. 57, p. 251-259, 2004. DOI <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>.

SPORL, C.; ROSS, J. L. S. (2004) Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, v. 15, p. 39-49. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp:2004.123868>.

TRICART, J. (1977) *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: SUPREN/IBGE.

USGS - United States Geological Survey. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 12 jun. 2018.

VALLE, I. C; FRANCELINO, M. R; PINHEIRO, H. S. K. (2016) Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. *Floresta e Ambiente*, v. 23, p. 295-308. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.107714>

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Washington, U.S.: Department of Agriculture, 1978.