

A susceptibilidade geoambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado - Tocantins

The geoenvironmental susceptibility of the Ribeirão Lajeado watershed – Tocantins

Lucas da Silva Ribeiro¹ 

Luis Eduardo de Souza Robaina² 

Sandro Sidnei Vargas de Cristo³ 

Palavras-chave:

Uso e Cobertura da Terra Relevo
 Análise Integrada
 Método AHP

Resumo

O estudo geoambiental através da integração dos elementos naturais com o uso e a cobertura da terra é uma proposta metodológica para o planejamento estratégico. Nesse sentido, o objetivo deste artigo é realizar uma análise da susceptibilidade geoambiental, a partir do uso de análise multicritério, na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado. Para isso, realizou-se a organização de materiais cartográficos: rede de drenagem, a declividade, a litologia, os solos, o uso e a cobertura da terra e as vias de acesso. Foram estabelecidos pesos normalizados a partir da técnica do processo analítico hierárquico (AHP). Esse cruzamento gerou o mapa de susceptibilidade geoambiental, definida em quatro unidades, a saber: I) baixa (área de topo plano com cobertura vegetal e nenhuma proximidade com as vias acessos); II) média (locais com algumas ocupações humanas ou com relevo suave ondulado); III) alta (áreas onde apresentam ampla ocorrência de estradas e rede de drenagem abundante, susceptíveis à intervenção antrópica, relacionadas principalmente as atividades agropecuária e áreas urbanas) e IV) muito alta (locais com estradas e porções de uso agropecuário com declividades maiores que 15%, presença de cicatrizes de fogo e áreas urbanas. Assim, a técnica AHP apresenta-se como uma importante ferramenta para o geoambiental, principalmente na definição de pesos para os fatores analisados.

Keywords

Land Use and Cover
 Relief
 Integrated Analysis
 AHP Method

Abstract

The geoenvironmental study through the integration of natural elements with the use and land cover is a methodological proposal for strategic planning. In this sense, the objective of this article is to perform an analysis of geoenvironmental susceptibility from the use of multicriteria in the watershed of Ribeirão Lajeado. For this, the organization of cartographic materials was carried out, such as the drainage network, slope, lithology, soils, land use and cover and access routes, where normalized weights were established from the technique of the Hierarchical Analytical Process (AHP). This crossing generated the geoenvironmental susceptibility map, defined in four units, namely: I) low (flat top area with vegetation cover and no proximity to the access roads); II) medium (places with some human occupations or with wavy smooth relief); III) high (areas with wide occurrence of roads and abundant drainage network, susceptible to anthropic intervention, mainly related to agricultural activities and urban areas) and IV) very high (places with roads and portions of agricultural use with slopes greater than 15%, presence of fire scars and urban areas. Thus, the AHP technique presents itself as an important tool for geoenvironmental, especially in defining weights for the factors analyzed.

¹ Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria - RS, Brasil. lucassilvaribeiro12@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria - RS, Brasil. lesrobaina@yahoo.com.br

³ Universidade Federal do Tocantins – UFT, Porto Nacional - RS, Brasil. sidneicristo@mail.uft.edu.br

INTRODUÇÃO

A partir da integração das atividades humanas com os elementos naturais é possível desenvolver um zoneamento de susceptibilidades ambientais que possibilita planejar estratégias que auxiliam na conservação da natureza, no planejamento e na gestão estratégica para ocupação e uso humano.

Análise integrada dos dados obtidos e conhecimento do potencial dos recursos naturais incluem estudos de todos os componentes do estrato geográfico, considerando o princípio de que a natureza possui funcionalidade intrínseca entre seus componentes (ROSS, 1994).

Dessa forma, destaca-se o estudo geoambiental, que pode ser entendido como todo processo envolvido na obtenção, análise, representação, comunicação e aplicação de dados e informações do meio físico, considerando as potencialidades e as fragilidades do terreno, bem como os perigos, os riscos, os impactos e os conflitos decorrentes da interação entre as ações humanas e o meio fisiográfico (VEDOVELLO, 2004). Segundo Medeiros e Cestaro (2020) o geoambiental identifica unidades de forma integrada, considerando a compartimentação de um sistema a partir da interação dinâmica de elementos físicos e antrópicos.

Carvalho *et al.* (2021) apontam que o geoambiental tem ganhado importância nos estudos científicos, pois auxilia na compreensão das condições ambientais relacionadas às ações humanas. Destacando o estudo integrado como principal característica do geoambiental, Robaina e Trentin (2021) relatam que a análise dos elementos do substrato rochoso, relevo e solos, no que envolve o uso e a cobertura da terra, é fundamental para a compreensão da dinâmica geomorfológica e no auxílio ao manejo

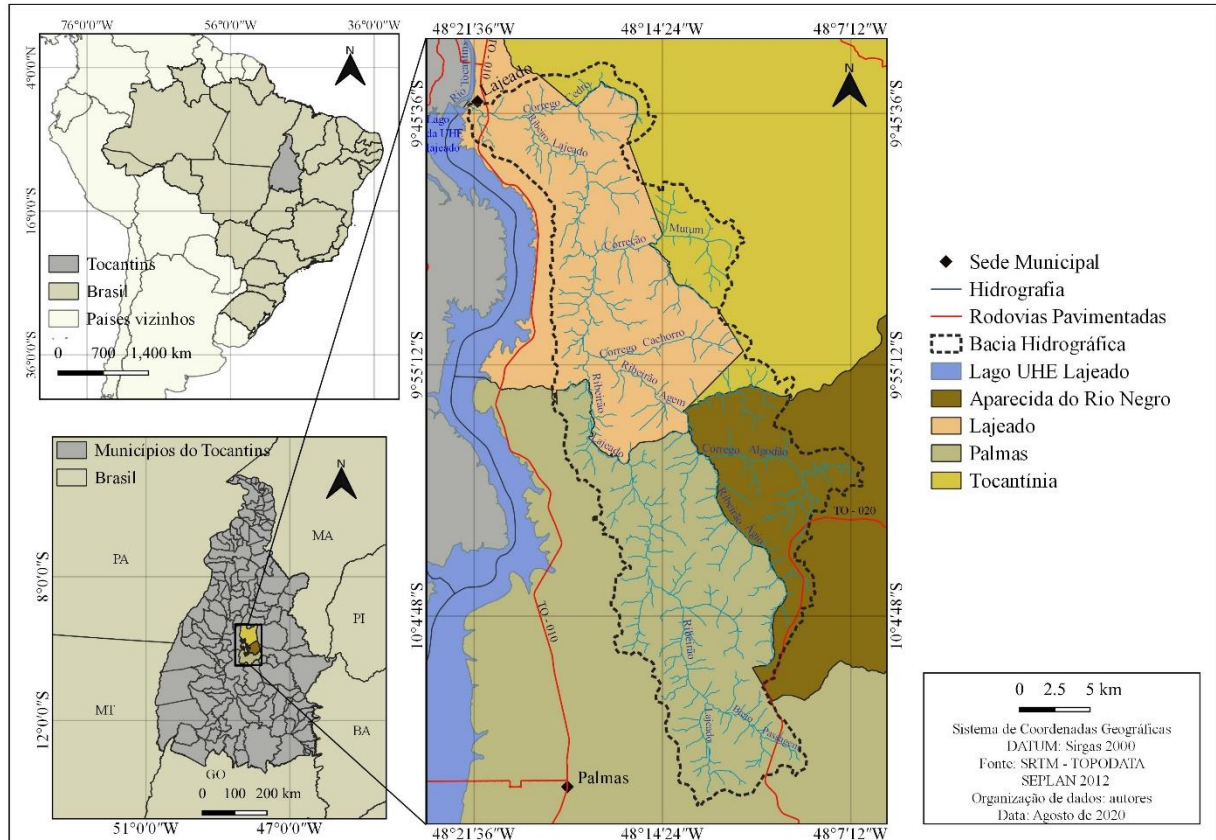
e planejamento de uma área. Para Abreu *et al.* (2020), o geoambiental é uma proposta metodológica fundamental para o planejamento estratégico do território, em seus diferentes usos e níveis de exploração.

Esse estudo realiza uma análise geoambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, através do zoneamento, aplicando o Processo Analítico Hierárquico (AHP) com a modelagem espacial em ambiente SIG (Sistemas de informações geográficas) (SAATY, 1991). O processo AHP focaliza o estudo de sistemas por meio de uma sequência de comparações, aos pares, dos condicionantes (elementos) que têm influência no sistema considerado. Marques e Zuquette (2004), Marchiori-Faria e Augusto Filho (2010), Paula e Cerri (2012), França *et al.* (2019) discorrem sobre o emprego do AHP na seleção e priorização de áreas com variados objetivos.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado (Figura 1) abrange uma área com cerca de 616,29 km², e está localizada na porção central do estado do Tocantins, nos municípios de Aparecida do Rio Negro, Lajeado, Tocantínia e Palmas. Destaca-se, a presença de duas Unidades de Conservação da Natureza (UCs), uma de Proteção Integral, o Parque Estadual do Lajeado (PEL) e a outra de Uso Sustentável, APA Serra do Lajeado, demonstrando sua importância por ser o principal sistema hidrográfico das UCs.

As UCs são espaços territoriais que apresentam recursos naturais com características relevantes. Tais áreas são utilizadas como estratégia para a proteção da natureza. É neste contexto que o uso de geotecnologias, como os Sistemas de Informações Geográficas e o Sensoriamento Remoto, otimiza a diagnose e o monitoramento ambiental (DIAS; MARTINS; BARROS, 2020).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Os autores (2020).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo da susceptibilidade geoambiental, realizou-se a integração de informações sobre a rede de drenagem, declividades, litologias, solos e uso e cobertura da terra. Esses dados foram organizados no *software Qgis* na versão 3.14.16, onde foi possível aplicar o cruzamento automático dessas informações a partir de pesos normalizados para cada mapa, definido pelo método do AHP.

A imagem de radar da missão *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)*, com resolução espacial de 30 metros, foi obtida na plataforma topodata, junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esse dado foi utilizado como base para a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) que possibilitou gerar informações sobre a rede de drenagem e a delimitação da bacia e relevo (declividade).

As declividades das vertentes foram definidas com base no trabalho de Ponçano *et al.* (1981), que estabeleceram as classes <5%, 5 – 15% e >15%. Os autores Santos *et al.* (2020) também utilizaram esses mesmos intervalos na compartimentação geomorfométrica da bacia hidrográfica do Rio Jaguarí – Oeste do RS.

As informações litológicas foram obtidas no *site* do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na escala de 1: 250.000 em formato *shapefile* que correspondem às cartas geológicas de Porto Nacional (SC.22-Z-B) e Miracema do norte (SC-22-X -D). Na bacia hidrográfica, foram identificados a Cobertura Detrito Laterítica, a Formação Pimenteiras, a Formação Jaicós e a Granitóides.

Os dados sobre os solos foram obtidos através do trabalho Sousa *et al.* (2012), representando a SEPLAN do Tocantins. Ao analisar as informações de solos e comparando com a declividade na bacia hidrográfica, notou-se a necessidade de realizar alguns ajustes conforme a relação solo-declividade. Segundo Nowatzki e Santos (2014), os diferentes tipos de solos podem ser compartimentados de acordo com as características do relevo. Nesse sentido, os dados de solos foram ajustados com base na declividade e com apoio de trabalhos de campo, definindo-se as seguintes classes: Latossolo, Plintossolo, Associação Neossolo-Cambissolo e Associação Argissolo-Cambissolo.

Por meio do *site* da *United States Geological Survey (USGS)*, realizou-se o *download* da imagem do Landsat 8, do mês de julho de 2021, com resolução espacial de 30 metros. Na sequência, utilizou-se as bandas 6, 5 e 4 na

respectiva ordem para gerar a composição RGB, e assim, gerar a classificação supervisionada, a qual oferece informações do uso e cobertura da terra sobre a bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado nas seguintes classes: Formação Florestal, Formação Savânica-Campestre, Agropecuária, Cicatrizes de Fogo, Corpos d'Água e Áreas Urbanas.

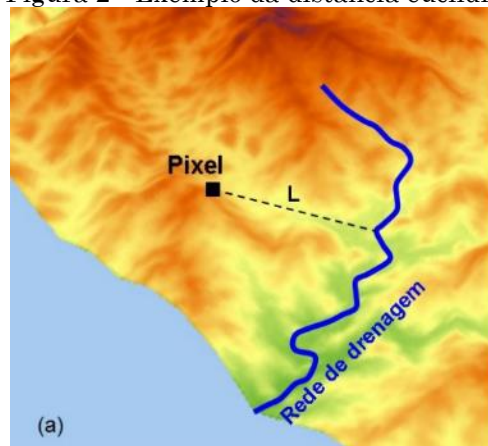
Para ter acesso às informações de estradas na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, foi necessário realizar uma vetorização sobre as imagens de satélites do *Google Earth*, disponível no *plugin Quickmapservices* no *software Qgis*. A

partir desses procedimentos, mapeou-se a espacialização das estradas não pavimentadas.

As informações lineares como estradas e rede de drenagem foram transformadas em *raster* com pixel de 30 metros, utilizando-se um algoritmo que calcula a distância euclidiana, ou seja, em linha reta no plano horizontal.

A distância euclidiana (Figura 2) determina os graus de influência, ou seja, quando a distância de um determinado ponto (L) for próximo da linha do vetor de interesse, maior será a sua influência e, quando o ponto de interesse estiver distante, menor será a influência.

Figura 2 - Exemplo da distância euclidiana.



Fonte: Sousa *et al.* (2015).

A partir da organização de todos os dados cartográficos, aplicou-se o método do AHP que representa o julgamento ou a comparação pareada entre dois elementos que estão no mesmo par (que formam o par) (SAATY, 1991). A escala numérica de comparação varia de 1 a 9, significando a importância de um critério sobre outro (Quadro 1). Esses julgamentos são representados em uma matriz quadrada, com n

$(n - 1)/2$, organizado em uma matriz $n \times n$, sendo n o número de linhas e colunas, onde os analistas participantes julgam se o elemento (A) domina o elemento (B). Em estudos ambientais, observa-se o trabalho de França *et al.* (2019), que aplicaram esse método para analisar a fragilidade ambiental do município de Capelinha em Minas Gerais.

Quadro 1 - Escala de comparação de critérios.

Intensidade de importância em escala absoluta	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem de forma idêntica para o objetivo
3	Importância moderada de um sobre o outro	A análise e a experiência mostram que um critério é um pouco mais importante que o outro
5	Importância essencial ou forte	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro
7	Importância muito forte	A análise e a experiência mostram que um dos critérios é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os dois adjacentes julgamentos	Quando o compromisso é necessário

Fonte: adaptado de Saaty (1991).

O método do AHP se inicia com a elaboração de uma matriz ponderada, a partir da qual se obtém o cálculo dos pesos normalizados (vetor de

prioridades) para cada critério, calculando-se a média dos valores de cada linha da matriz ponderada. São esses pesos normalizados

(autovetor) que indicam, ao tomador de decisão, quais elementos devem ter maior importância (hierarquia), para o cruzamento automático.

Para atribuir a priorização pela técnica AHP é necessário calcular a matriz ponderada, ou seja, cada elemento da coluna é dividido pela soma dos valores da própria coluna. Os valores obtidos a partir desse procedimento fazem com que a soma de cada coluna seja igual a um (1). Em seguida, utiliza-se a função *matriz.multi* da planilha eletrônica para obtenção do produto, que vai ser dividido pelo autovetor e gerar o *lambda*.

Na coluna do *lambda* realiza-se a *média geométrica*, que é subtraída pela quantidade de elementos analisados. Por fim, dividindo a mesma quantidade de elementos subtraindo por 1, será gerado o Índice de Consistência (IC). O IC mede a coerência dos julgamentos – quanto mais próximo o índice estiver de zero, maior será a consistência global da matriz de comparação.

Desse modo, é gerada a Razão de Consistência (RC), obtida pela divisão do IC pelo Índice de randômico (IR) do AHP, definido em função do número (n) de elementos comparados, segundo Saaty (1994) (Quadro 2).

Quadro 2 - Valores recalculados de IR.

N	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.4	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.57	1.58

Fonte: adaptado de Saaty (1994).

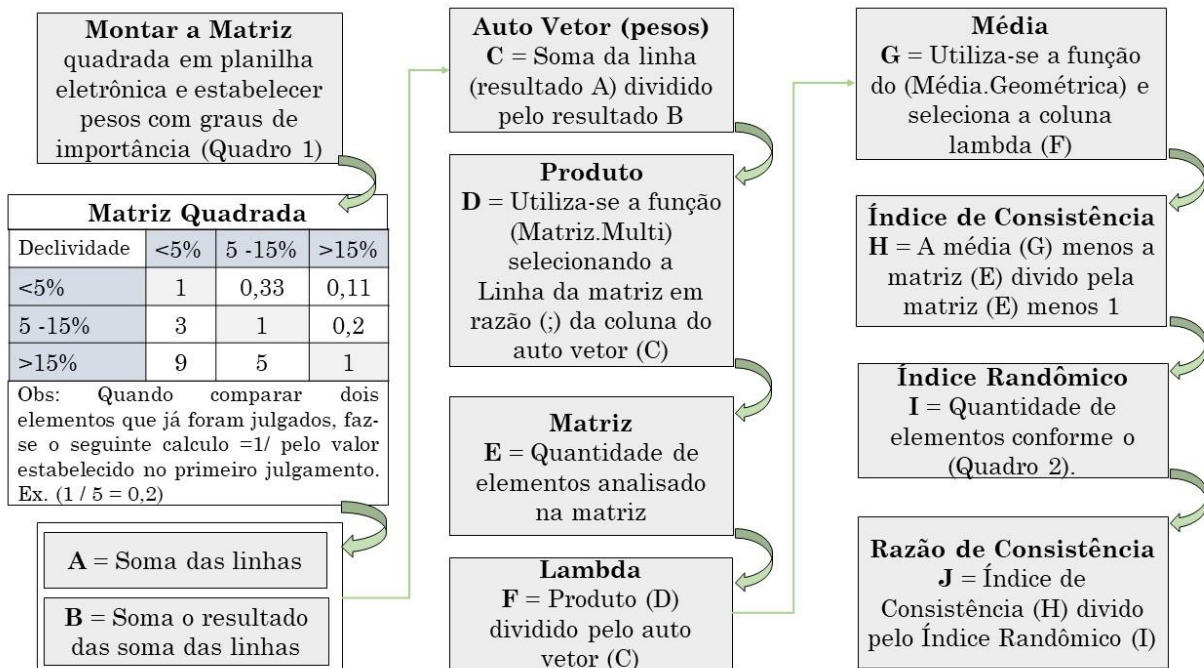
De modo geral, a figura 3 exemplifica a rotina do método AHP para definir os pesos normalizados para o uso e cobertura da terra, a declividade, os solos e as litologias na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado.

As classes de declividade foram julgadas com base em diferentes autores que discutem a formação de voçorocas (ALMEIDA FILHO, 2004; OLIVEIRA, 1994; 2007; MARCHIORO et al., 2016). Portanto a classe menor que 5% tiveram o peso 0,07; a classe de 5 a 15% o peso 0,20 e a classe maior que 15% peso 0,73.

Os julgamentos dos diferentes tipos de solos basearam-se nas informações que estão no trabalho de Silva e Oliveira (2015), observando o grau de erodibilidade. Deste modo, considerou-se o Latossolo com peso 0,04; o Plintossolo peso 0,13; Associação Argissolo-Cambissolo peso 0,32 e Neossolo-Cambissolo com peso 0,51.

As diferentes susceptibilidades das litologias estão relacionadas aos processos de desagregação e erosão. Assim, foram consideradas as rochas Cristalinas com peso 0,05; Formação Pimenteiras peso 0,14; Cobertura Detrito Laterítica com peso 0,30 e a Formação Jaicós peso 0,51.

Figura 3 – Procedimentos da técnica do AHP.



Fonte: Os autores (2022).

No uso e na cobertura da terra, consideraram-se as classes com os seguintes pesos: Formação Florestal peso 0,03; Formação Savânica-Campestre peso 0,08; Agropecuária peso 0,21; Cicatrizes de Fogo com peso 0,28 e Áreas Urbanas peso 0,40.

Após a obtenção dos pesos de cada classe, realizou-se a agregação dos fatores condicionantes através do método da Combinação Linear Ponderada (WLC). Para tanto, os arquivos *raster* de uso e cobertura da Terra, estradas, declividade, rede de drenagem, solos e litologias foram padronizados dentro do intervalo de 0 a 1, utilizando-se a equação 1 na calculadora *raster*.

$(R - \text{menor valor de } R) / (\text{maior valor de } R - \text{menor valor de } R)$ (Equação 1)

R é o *raster* que está sendo ser ponderado.

Os fatores utilizados para a análise geoambiental são: uso e cobertura da terra, estradas, declividade, rede de drenagem, solos e litologias. Por meio desses fatores, os pesos normalizados (Quadro 3) foram obtidos. Assim, os produtos ponderados são multiplicados pelos seus respectivos pesos, alcançados a partir do método AHP, conforme apresentado na Equação 2. Para esse cruzamento, utilizou-se a calculadora *raster* do *software Qgis*.

$$S = (F_{us} * 0,36 + F_e * 0,26 + F_d * 0,18 + F_{rd} * 0,12 + F_s * 0,06 + F_l * 0,02) \text{ (Equação 2)}$$

Onde: S é a susceptibilidade, F_{us} é o uso e cobertura da terra, F_e é a estrada, F_d é a declividade, F_{rd} é a rede de drenagem, F_s é o solo, F_l é a litologia.

Quadro 3 – Valores dos julgamentos e pesos dos fatores.

	Uso da terra	estradas	declividade	rede de drenagem	solos	litologia	pesos
uso cobertura da terra	1	3	3	5	7	9	0,36
estradas	0,33	1	3	3	5	9	0,26
declividade	0,33	0,33	1	3	3	7	0,18
rede de drenagem	0,20	0,33	0,33	1	3	5	0,12
solos	0,14	0,20	0,33	0,33	1	3	0,06
litologia	0,11	0,11	0,14	0,20	0,33	1	0,02
razão de consistência: 0,06							

Fonte: Os autores (2022).

A última etapa para análise da susceptibilidade geoambiental da bacia hidrográfica consistiu na realização de três trabalhos de campo em dezembro de 2021 para a validação das informações levantadas e cruzadas de forma automática em SIG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando as características das variáveis (Figura 4), pode-se observar informações sobre os aspectos naturais e das atividades humanas na bacia hidrográfica.

Rede de Drenagem

A bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado apresenta hierarquia fluvial de 6º ordem, apresentando o canal principal com extensão de 27km. A susceptibilidade é indicada pela distância euclidiana da rede de drenagem (Figura 4A). Os principais canais de drenagem

estão representados pelos Córregos Mutum e Algodão, Ribeirões do Lajeado e Agem como de 5º ordem e, ainda, os Córregos Cedro, Cachorro, Serrinha, Brejo da Passagem e Ribeirão Agem como de 4º ordem.

Declividade

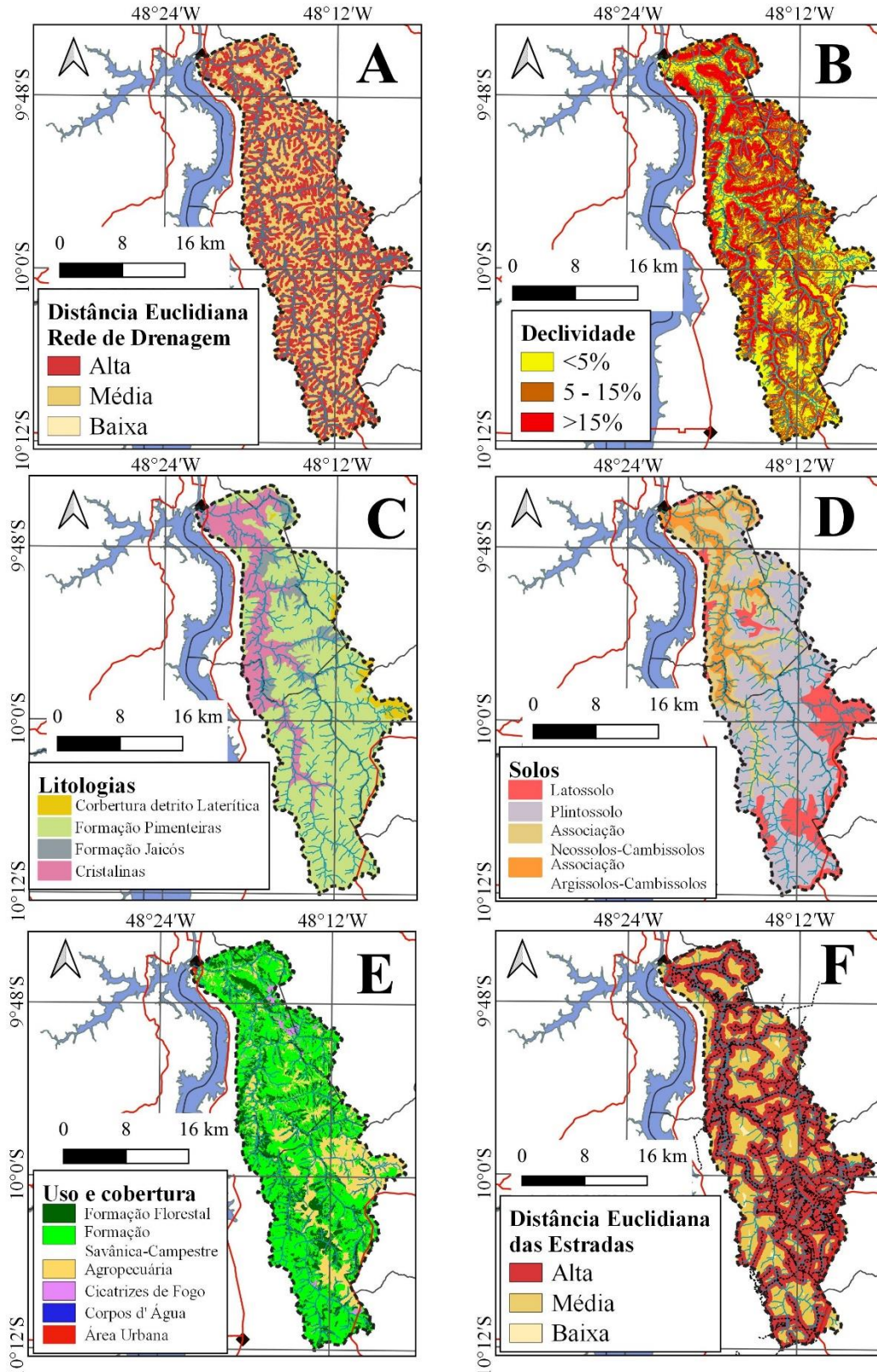
O mapeamento da declividade das encostas (Figura 4B) apresentam que locais com <5% ocupam cerca de 33,23%, com predomínio na planície de inundação do Ribeirão Lajeado e nos topos que marcam as nascentes das drenagens principais da bacia. Declividades entre 5 - 15% abrangem cerca de 37,51%, distribuídas principalmente no médio e baixo curso. As áreas com declividades >15%, abrangem 29,26%, espacializando na borda dos relevos tabulares onde se encontram as encostas escarpadas. Localizam-se principalmente no médio e baixo curso do Ribeirão Lajeado com maior concentração nas porções leste e sudeste da área de pesquisa

Litologias

A bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado está inserida na bacia sedimentar do Parnaíba. Com

base em Ribeiro e Alves (2017) tem a cobertura Detrito Laterítica, rochas da Formação Pimenteiras, rochas da Formação Jaicós e rochas Granitoides (Figura 4C).

Figura 4 - Fatores analisados para a susceptibilidade geoambiental.



Fonte: Os autores (2022).

As coberturas Detrito Lateríticas tratam-se da lateritização, predominantemente, ferruginosa que quando exposta ou exumadas são litificadas, formando *ironstones*. No topo da serra do Lajeado, elas se encontram expostas em vasta área plana em cotas ao redor de 600 m (RIBEIRO; ALVES, 2017). Na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, essa cobertura ocupa uma área com cerca de 3,01%, estando espacializada na porção leste, do médio e baixo curso.

Os folhelhos vermelhos e cinza escuros, com intercalações de arenitos e siltitos brancos a cinza claro da Formação Pimenteira, ocorrem especialmente em direção ao topo da sequência. Representam uma deposição em plataforma rasa dominada por tempestitos (VAZ *et al.*, 2007). A Formação Pimenteira corresponde a 64,15%, sendo a principal litologia em termo de abrangência de área. Localiza-se principalmente no alto curso, enquanto no médio e baixo curso apresenta-se em menores áreas.

Arenitos conglomeráticos e conglomerado da Formação Jaicós são dominantes e constituem grande parte das escarpas verticalizadas da Serra do Lajeado. Na área de estudo representa 13,19%, estando espacializada em uma faixa estreita no alto curso e, a partir do médio curso, alarga-se representando maior concentração em termos de área.

As rochas cristalinas na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado são representadas pelos granitos e gabronoritos. O granito é um extenso corpo que aflora por mais de 60 km e desaparece sob as camadas sub-horizontalizadas das rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba (CHAVES, 2003). As rochas cristalinas na bacia hidrográfica correspondem a 19,65%, ocorrendo a partir do alto e médio curso junto ao Ribeirão Lajeado, alargando-se no baixo curso.

Solos

Os solos na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado podem ser classificados como, Latossolos, Plintossolos, Associação Neossolo-Cambissolo e Associação Argissolo-Cambissolo, apresentado na figura 4D.

Os Latossolos na bacia hidrográfica, representa cerca de 18,67%, espacializando-se no alto curso, porções leste e oeste. No médio e baixo curso, ocupam as áreas da porção oeste dos afluentes do Ribeirão Lajeado e uma parte nos divisores na porção norte.

Os Plintossolos na área de estudo, abrange cerca de 44,37%, espacializando principalmente no alto e médio; no baixo curso (porção leste) é associado a um relevo suave ondulado sobre um substrato de folhelhos com baixa

permeabilidade que restringe a circulação. Além disso, o clima com sazonalidade gera variações do lençol freático e a formação de plintitas no horizonte subsuperficial.

Os solos mal desenvolvidos são os Neossolos e Cambissolos que se caracterizam pela baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos. Na bacia hidrográfica corresponde a 22,30%, localizado no alto curso, acompanhando o canal do Ribeirão Lajeado, no médio e baixo curso abrange outros afluentes e apresentam a maior concentração em termo de área.

A Associação Argissolo-Cambissolo, na área de estudo, ocupa cerca de 14,66%. Em suma, ocorre no médio e baixo curso, acompanhando o canal do Ribeirão Lajeado e outros afluentes no médio e baixo curso.

Uso e Cobertura Vegetal

O uso e a cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado podem ser observados nas seguintes classes: Formação Florestal, Formação Savânica-Campestre, Agropecuária, Cicatrizes de Fogo, Corpos d'Água e Áreas Urbanas (Figura 4E).

A Formação Florestal, correspondendo a 21,48%, é dividida em matas ciliares, matas de galerias, mata seca e cerradão (RIBEIRO; WALTER, 2008).

A Formação Savânica é dividida em Cerrado *stricto sensu*, parque cerrado, palmeiral e vereda. Já Formação Campestre é dividida em campo sujo, campo rupestre, campo limpo (RIBEIRO; WALTER, 2008). Esse tipo de cobertura vegetal (Savânica-Campestre) ocupa cerca de 57,17 % da área de estudo.

O uso Agropecuário representa as atividades agrícolas (plantio de soja, milho e sorgo) e pecuária (criação de gado e cavalo) em cerca de 19,94%. As cicatrizes de fogo, na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, são locais que sofreram ação do fogo (por queimadas ou incêndios florestais) em um determinado período do ano. Assim, foi identificada uma abrangência de 1,13% da área.

Os Corpos d'Água, por sua vez, são áreas que representam os barramentos e tanques escavados relacionados às atividades de piscicultura, que também contribuem para a supressão da cobertura vegetal natural local (FURTADO; CRISTO, 2018).

Na área de estudo, encontra-se a cidade de Lajeado, próxima à foz da bacia hidrográfica, que corresponde a 0,22%. Local que passou por várias transformações econômicas, principalmente com a construção da usina

hidrelétrica de Luís Eduardo Magalhães, inaugurada no ano de 2002 (SEPLAN, 2017).

Estradas

As estradas não pavimentadas estão distribuídas principalmente no baixo e no médio curso, onde apresentam uma extensão de 732,39 km (Figura 4F). A menor concentração de estradas na porção oeste do alto curso ocorre devido ao fato de ser uma área destinada ao PEL. A maior concentração de estradas na porção leste do alto curso pode ser justificada pela presença de chácaras e pelo acesso as áreas de plantios de atividades agrícolas.

Susceptibilidade geoambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado

A susceptibilidade geoambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado (Figura 5 e Tabela 1) foi definida a partir dos cruzamentos dos fatores de uso e da cobertura da terra (peso 0,36), estradas (peso 0,26), declividade (peso 0,18), rede de drenagem (peso 0,12), solos (peso 0,06) e litologias (peso 0,02), multiplicados pelos seus respectivos Observa -se que o uso e as vias de acessos tiveram mais pesos em relação aos outros elementos, pois as ocupações humanas nem sempre são precedidas de estudos que considerem as restrições dos recursos naturais, especialmente relacionadas à fragilidade das litologias e dos solos, quando submetidos a determinados usos (ROBAINA; TRENTIN, 2019).

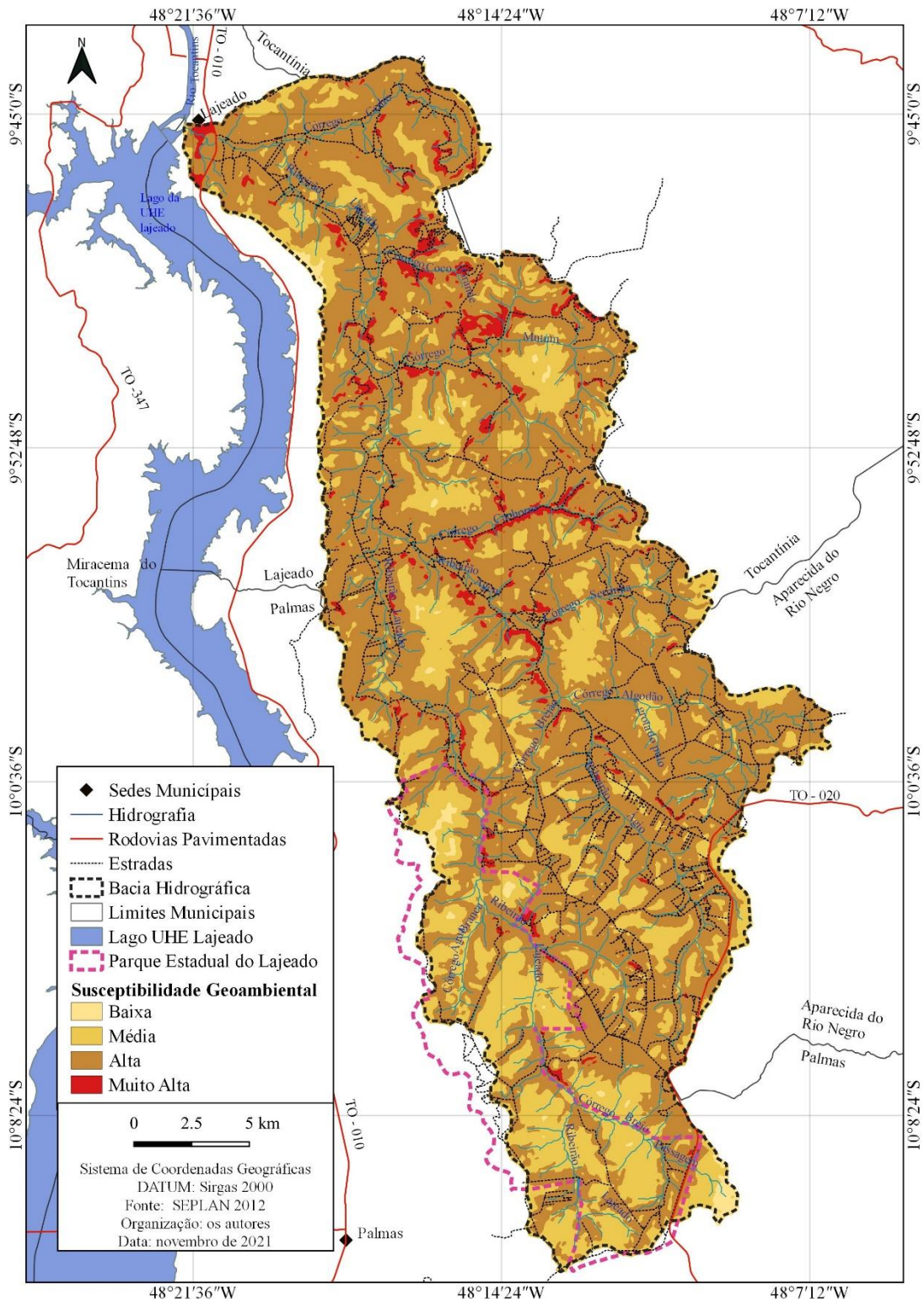
O resultado desses cruzamentos apresentou a susceptibilidade geoambiental em quatro unidades: I baixa, II média, III alta e IV muito alta.

Tabela 1 - Dados de susceptibilidade geoambiental da bacia hidrográfica.

Susceptibilidade Geoambiental	Área (km ²)	Área (%)
Baixa	4,86	0,80
Média	157,78	25,60
Alta	431,81	70,06
Muito alta	21,84	3,54
Total	616,29	100

Fonte: Os autores (2022).

Figura 5 – Susceptibilidade geoambiental da bacia hidrográfica



Fonte: Os autores (2022).

I Baixa susceptibilidade

A Baixa susceptibilidade (Figura 6) ocupa cerca de 4,86 km², ou seja, cerca de 0,80%. Nessa unidade, as principais características são o

predomínio de vertentes com baixas declividades, menor ou igual a 5%, com a presença de cobertura vegetal natural e sem nenhuma proximidade com as estradas.

Figura 6 - Baixa susceptibilidade



Fonte: Os autores (2021).

Nessas áreas, os tipos de solos são Latossolo e Plintossolo, e a litologia predominante é da Formação Pimenteiras.

A unidade de baixa susceptibilidade ocorre no alto curso (em alguns locais dentro do PEL). No médio curso, próximos aos divisores de águas. No baixo curso, surgem alguns locais na porção leste da bacia hidrográfica.

II Média susceptibilidade

A unidade de média susceptibilidade (Figura 7) tem uma área de 157,78 km² que corresponde a 25,60%.

Figura 7 – Média susceptibilidade



Fonte: Os autores (2021).

De maneira geral, são locais onde tem a presença de cobertura vegetal, principalmente do tipo Formação Savânica-Campestre, onde as características de solos, litologias e declividades são importantes para este tipo de unidade e sem nenhuma proximidade com estradas.

As características mais marcantes dessa unidade são as áreas de declividade menor que 15%, especificamente nas áreas de topos dos morros, onde ocorrem predominantemente os solos do tipo Plintossolo, a presença de cobertura vegetal natural e a distância das estradas. A baixa concentração de vias de acesso é uma característica importante dessa unidade que permite a conservação das condições naturais.

No alto curso, as maiores concentrações dessa unidade estão na porção leste, área que pertence ao PEL. No médio curso, ocupam principalmente os divisores de água de alguns afluentes do Lajeado. No baixo curso, as maiores ocupações estão na sub-bacia do Córrego Mutum e nos divisores desse córrego com os afluentes do Ribeirão Lajeado.

III Alta susceptibilidade

A unidade de alta susceptibilidade (Figura 7) tem uma área de 431,81 km², isto é, 70,06%. Ocupa a maior classe dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, ocorrendo em

áreas onde o acesso é facilitado pela ampla ocorrência de estradas. A rede de drenagem é

susceptível a intervenção antrópica pelos acessos (Figura 8).

Figura 8 – Alta susceptibilidade ocasionado pela confluência de estradas e rede de drenagem.



Fonte: Os autores (2021).

As concentrações dessa unidade no alto curso estão principalmente na porção leste, onde

ocorre significativa ocorrência de estradas, devido ao acesso para chácaras (Figura 9).

Figura 9 – Alta susceptibilidade estradas e atividades agrícolas.



Fonte: Os autores (2021).

IV Muito Alta susceptibilidade

A Muito alta susceptibilidade tem uma área de 21,84 km² que corresponde a 3,54%, as

principais características são determinadas, pelo tipo de ocupação da terra e as vias acessos em locais de declividade com maior que 15% (Figura 10).

Figura 10 – Alta susceptibilidade em estradas e declividades maior que 15%.



Fonte: Os autores (2021).

Alguns locais (Figura 11) que já está desencadeando um significativo processo erosivo, em que a jusante está ocasionando entulhamento do canal de rede de drenagem. Outros aspectos associados a esta unidade são as áreas com a presença de cicatrizes de fogo e área urbana.

De maneira geral as susceptibilidades ambientais de um determinado ambiente podem acontecer em decorrência de causas naturais ou antrópicas. Assim, alguns locais já têm áreas Susceptíveis devido às causas naturais (tipos de solos, declividade, etc.). Com a participação da atividade humana, tornam-se ainda mais frágeis e desencadeiam os processos erosivos.

Figura 11 – Alta susceptibilidade em estradas com significativos avanços dos processos erosivos.



Fonte: Os autores (2021).

Para Alves e Silva (2017), um dos fatores que podem causar um aumento desta susceptibilidade, de causa antrópica, é a utilização das propriedades rurais para a agricultura e a pecuária.

Essas atividades no Cerrado Brasileiro, segundo Cunha *et al.* (2008), são marcadas pelo uso intensivo de agrotóxicos, fertilizantes e corretivos; irrigação sem controle; pisoteio excessivo de animais; monocultura e cultura em grande escala; uso inadequado de fatores de produção.

Mascarenhas e Farias (2018) destacam a retirada da cobertura vegetal no Cerrado, que está ligada à fragmentação do bioma,

contribuindo para a perda de qualidade ambiental por meio, diminuição das áreas centrais e aumento do isolamento entre os fragmentos remanescentes. Pina *et al.* (2021), relatam a retirada da cobertura vegetal, onde os proprietários normalmente fazem a opção por um retorno de curto espaço de tempo, retirando a madeira e, posteriormente, implantando pastagens exóticas para a criação de gado.

Outros aspectos podem ser associados as vias de acessos, pois são locais que influenciam no aumento das susceptibilidades, devido serem locais onde o fluxo superficial é aumentado, contribuindo para a geração de processos erosivos. Pires e Carmo Junior (2018), apontam

que alguns danos ambientais ocasionados pelas estradas são, muitas vezes, irreversíveis, devido à supressão de vegetação, à exposição do solo, à interferência nos habitats de animais nativos, às modificações no próprio solo, aos desvios das drenagens naturais e aos barramentos de rios.

Em relação às unidades de conservação da natureza, destaca-se que na área do PEL a principal classe foi a de média susceptibilidade, que pode ser justificada pela presença da cobertura vegetal natural e poucas estradas. As demais partes da bacia hidrográfica que pertence à APA Serra do Lajeado encontram-se como principal classe alta susceptibilidade, relacionadas às fragilidades naturais e com a participação das atividades humanas, principalmente, em função das variáveis e dos pesos adotados, pois neste tipo de unidade é permitido o “uso de forma sustentável”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As observações realizadas na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado mostraram a importância dos estudos integrados com cruzamentos automatizados para identificação da susceptibilidade geoambiental. Destaca-se que as características do uso e cobertura da terra, comparadas de maneira integrada com os elementos naturais, possibilitaram mapear as unidades de Baixa, Média, Alta e Muito Alta susceptibilidade.

Assim, um dos aspectos que foram importantes na definição das áreas mais susceptíveis se deu através dessa integração, principalmente dos acessos e dos usos sobre a declividade.

Nesse sentido, as áreas com declividades maiores que 15%, contendo atividades humanas (Agropecuária e Estradas), foram mapeadas como unidades de Muito Alta susceptibilidade. Outros fatores importantes para essa classificação foram as Áreas Urbanas e as Cicatrizes de Fogo. Em suma, podem ser desenvolvidas ações que minimizem esses problemas, principalmente frente às queimadas, pois é uma área de UC que pode ter um maior controle na questão do fogo.

No cruzamento automatizado, a técnica do AHP é considerada uma ferramenta fundamental na análise geoambiental, tendo em vista que é possível definir os graus de importância de cada elemento, a partir de um breve conhecimento sobre a área de estudo, considerando os aspectos específicos de cada um.

Além disso, o AHP é concebido como um método que pode contribuir para o planejamento

e para a gestão territorial, podendo vir a ser um importante recurso na identificação de unidades susceptíveis ao processo erosivo e no auxílio de criação de políticas ambientais que visam à conservação da natureza, seja em bacias hidrográficas, UCs, municípios ou outra área de interesse.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), código de financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

REFERÊNCIAS

- ABREU, W. L. et al. Zoneamento Geoambiental a partir das Unidades de Conservação: subsídios para a Gestão Integrada da Zona Costeira Paraense - Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 06, p. 3042-3059, dez. 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p3042-3059>
- ALMEIDA FILHO, G. S.; SANTORO, J.; GOMES, L. A. Estudo da dinâmica evolutiva da boçoroca São Dimas no município de São Pedro, SP. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., Florianópolis, p. 73-86, 2004.
- ALVES, M. R.; SILVA, J. C. Caracterização e avaliação da susceptibilidade a erosão de uma propriedade rural no município de Álvares Machado-SP. **Colloquium Exactarum**, v. 9, n. 3, jul./set., p. 57-64, 2017. <https://doi.org/10.5747/ce.2017.v09.n3.e204>
- CARVALHO, A. P. P.; PEJON, O. J.; COLLARES, E. G. Geoenvironmental mapping and integrated analysis of the units within a protected area: municipality of Delfnópolis and the Serra da Canastra National Park, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, online, v. 80, p. 1-18, fev. 2021. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09469-x>
- CHAVES, C. L. Caracterização geológica, petrográfica, geoquímica e geocronológica do magmatismo granítico da região de Porto Nacional – TO. 2003. 150 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Para, Belém, PA, 2003.
- CUNHA, N. R. S. et. al. A Intensidade da Exploração Agropecuária como Indicador da Degradação Ambiental na Região dos Cerrados, Brasil. **RER**, Piracicaba, SP, v. 46,

- n. 02, p. 291-323, abr./jun. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000200002>
- DIAS, N. O.; MARTINS, F. C. M.; BARROS; K. O. Geotecnologia aplicada à diagnose ambiental: Reserva Biológica de Pinheiro Grosso, Barbacena -MG. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, MG, v.32, p.126-140, 2020. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-45716>
- FRANÇA, L. C. J. et al. Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados por meio de avaliação multicritério. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 5, p. 589-599, set./out. 2019. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7300>
- FURTADO, S. E.; CRISTO, S. S. V. Análise das transformações ambientais no entorno do Parque Estadual do Lajeado, Palmas – Tocantins. **Geografia, Ensino e Pesquisa**, v. 22, e. 13, p. 01-11, 2018. <https://doi.org/10.5902/2236499429699>.
- INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Portal do Topodata**. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- MARCHIORI-FARIA, D. G.; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento de perigo associado a escorregamentos em encostas urbanas utilizando o Processo de Análise Hierárquica (AHP). In: **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental**, Maringá, v. 7, 2010.
- MARCHIORO E.; ANDRADE E. E.; OLIVEIRA J. C. Evolução Espaço-Temporal de Voçorocas no Espírito Santo: Estudo de caso nos Municípios de Afonso Cláudio e Alegre. **Rev. Bras. Geomorfol.** [online], São Paulo, v.17, n.1, jan-mar, p. 191-204, 2016. <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i1.712>
- MARQUES, G. N.; ZUQUETTE, L. V. Aplicação da técnica AHP para seleção de áreas para aterros sanitários – Região de Araraquara (SP), Brasil. In: PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. (eds.), **Cartografia Geotécnica e Geoambiental**. São Carlos. Suprema Gráfica Editora, p. 263-272, 2004.
- MASCARENHAS, I. G. B.; FARIAS, K. M. S. Dinâmica da paisagem e relações com o uso do Solo e fragmentação da cobertura vegetal no município de Flores de Goiás (GO) entre 1985 e 2017. **Élisée, Revista de Geografia da UEG**, Porangatu, v. 7, n. 2, p.115-135, jul./dez, 2018.
- MEDEIROS, J. F.; CESTARO, L. A. Using statistical techniques to conduct the geo-environmental compartmentalization of Serra de Martins-RN, Brazil. **Sociedade e Natureza**, [S. l.], v. 32, p. 404-415, 2020. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-46691>
- NOWATZKI, A.; SANTOS, L. J. C. Mapeamento digital de Solos por pedometria com base em atributos topográficos da bacia hidrográfica do Rio Pequeno-Paraná. **Revista Ra'e Ga – Curitiba**, v.31, p.185-211, dez./2014. <https://doi.org/10.5380/raega.v32i0.33769>
- OLIVEIRA, M. A. T. et al. Morfometria de encostas e desenvolvimento de boçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul. **Geociências**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 9-23, 1994.
- OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T. et al (orgs), **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**, 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 57-99.
- PAULA, B. L.; CERRI, L.E.S. Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para priorização de obras de intervenção em áreas e setores de risco geológico nos municípios de Itapeverica Da Serra E Suzano (SP), São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 31, n. 2, p. 247-257, 2012.
- PINA, J. C.; OLIVEIRA, A. K. M.; BOCCHESE, R. A. Composição florística e potencial de uso das espécies em uma área do bioma Cerrado em Bandeirantes – MS. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11425>
- PIRES, R. R.; CARMO JUNIOR, G. N. R. Processos erosivos em rodovias: uma revisão sistemática sobre os métodos de previsão e monitoramento. **Engineering and Science**, v. 4, ed. 7, 2018. <https://doi.org/10.18607/ES201876853>
- PONÇANO, W.L. et al. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981, 94p.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (org.). **Cerrado: ecologia e flora**. Ecologia e flora. Brasília: Embrapa, 2008. p. 151-222.
- RIBEIRO, P. S. E.; ALVES, C. L. **Geologia e Recursos Minerais da Região de Palmas: Folha Miracema do Norte (SC.22-X-D), Porto nacional (SC.22-Z-B) e Santa teresinha (SC.22-Z-a)**. escala 1:250.000. Goiânia: CPRM, 2017.
- ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Estudos e zoneamento geoambiental do município de São Francisco de Assis – Oeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)**, n.16, março, p. 323-344, 2019. <http://dx.doi.org/10.17127/got/2019.16.014>

- ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Compartimentação Geoambiental no município de São Vicente do Sul, RS, Brasil. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v. 15, p. 1-15, 2021. <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.15.2113645.008>
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista Departamento de Geografia**, São Paulo: USP, p. 63-74, 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>
- SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill Publisher, 1991. 367 p.
- SAATY, T.L. *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. The Institute for Operations Research and the Management Sciences*. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 19-43, 1994. <https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19>
- SANTOS, V. S.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Compartimentação geomorfométrica da bacia hidrográfica do Rio Jaguari - Oeste do RS. **Geosul**, v. 35 n. 76, p.87-106, 2020. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p87>
- SEPLAN - Secretaria de Planejamento do estado do Tocantins. **Perfil socioeconômico dos municípios: Lajeado**. 2017. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/348406/>. Acesso em: 9 set. 2021.
- CPRM - *Serviço Geológico do Brasil*. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- SILVA, G. G.; OLIVEIRA, L. N. Análise da suscetibilidades e potencial à erosão laminar no município de São Miguel do Araguaia – GO. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 2015.
- SOUSA, P. A. B.; BORGES, R. S. T.; DIAS, R. R. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da Gestão Territorial**. Palmas: SEPLAN, 2012. 80p.
- SOUSA, T. M. I.; SARAIVA, A. G. S.; PAZ, A. R. Distâncias relativas à rede de drenagem: euclidiana x caminho de fluxo. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 2015.
- USGS - United States Geological Survey. (2021). Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 11 agosto de 2021.
- VAZ, P. T., RESENDE, N. G. A. M., WANDERLEY FILHO, J. R., TRAVASSOS, W. A., Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro 15, 253-263, 2007.
- VEDOVELLO, R. Aplicações da cartográfica geoambiental. In: **5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**. (org.) PEJON, O. J., ZUQUETTE, L. V. São Carlos: Anais, 2004.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Lucas da Silva Ribeiro concebeu o estudo, organizou os dados para o cruzamento automático, fez o trabalho de campo, analisou as informações e redigiu o texto. Luís Eduardo de Souza Robaina, orientou Lucas da Silva Ribeiro indicando a literatura, participou da organização dos dados para o cruzamento automático e revisou os resultados obtidos. Sandro Sidnei Vargas de Cristo coorientou Lucas da Silva Ribeiro, indicando literatura e participou do trabalho de campo e revisão das informações.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.