

MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DAS ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO BIOMA CERRADO NO ESTADO DE MINAS GERAIS, BRASIL

Guilherme Oliveira Teixeira de Carvalho

Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, Núcleo de Ciências Ambientais, Barbacena, MG, Brasil
guilhermeotc.engambiental@gmail.com

Geraldo Majela Moraes Salvio

Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, Núcleo de Ciências Ambientais, Barbacena, MG, Brasil
geraldo.majela@ifsudestemg.edu.br

Múcio do Amaral Figueiredo

Universidade Federal de São João del Rei, Departamento de Geociências, São João del Rei, MG, Brasil
muciofigueiredo@ufsj.edu.br

RESUMO

As Áreas de Proteção Ambiental (APA) são modelos de Unidades de Conservação (UC) que contêm atributos considerados essenciais para a qualidade de vida humana. No entanto, esta categoria de manejo geralmente apresenta baixo grau de proteção e controle espacial, por ser uma das mais permissíveis as ações antrópicas, tornando-se, assim, locais potencialmente vulneráveis. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo mapear a vulnerabilidade ambiental de três APAs localizadas no bioma Cerrado no estado de Minas Gerais: Cavernas do Peruaçu, Bacia do Rio Pandeiros e Uruana de Minas. Para isso, foram utilizados Sistemas de Informação Geográfica para mapear dados de declividade, geologia, pedologia e uso e cobertura do solo das áreas de estudo, os quais deram suporte para determinação do Índice de Vulnerabilidade Ambiental. Os resultados obtidos identificaram maior grau de vulnerabilidade ambiental na APA Uruana de Minas. As APAs Cavernas do Peruaçu e Bacia do Rio Pandeiros, por sua vez, apresentaram valores predominantes de baixa vulnerabilidade ambiental. Espera-se que este estudo possa subsidiar o poder público e gestores de Unidades de Conservação na tomada de decisões e resolução de problemas, levando em consideração a variação da fragilidade ambiental do meio.

Palavras-chave: Unidades de Conservação. Planejamento territorial. Geotecnologias.

MAPPING OF THE ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF PROTECTED AREAS IN CERRADO BIOME IN THE STATE OF MINAS GERAIS, BRAZIL

ABSTRACT

Environmental Protection Areas (EPA) constitute a category of Conservation Units that have attributes considered essential for the quality of life. However, this category generally presents low degree of protection and spatial control, as it is one of the most permissive categories regarding anthropogenic activities, thus becoming potentially vulnerable areas. In this context, this work aimed to map the environmental vulnerability of three EPAs located in the Cerrado biome in the state of Minas Gerais: Cavernas do Peruaçu, Bacia do Rio Pandeiros and Uruana de Minas. For this purpose, Geographic Information Systems were used to map data on slope, geology, pedology and land use and land cover within the study areas, which provided support for the determination of the Environmental Vulnerability Index. The results obtained identified the greatest degree of environmental vulnerability in Uruana de Minas EPA. EPAs Cavernas do Peruaçu and Bacia do Rio Pandeiros, in turn, presented predominant values of low environmental vulnerability. It is expected that this study may support public authorities and Conservation Unit managers in making decisions and solving problems, taking into consideration the variation in environmental fragility.

Keywords: Conservation Units. Territorial planning. Geotechnologies.

INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, estendendo-se por aproximadamente dois milhões de km² ao longo da região central do continente sul-americano (Colli; Vieira; Dianese, 2020). Considerado um dos principais *hotspots* mundiais de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000), o Cerrado também é reconhecido como a savana mais diversa do mundo, abrigando pelo menos 251 espécies de mamíferos, 267 de répteis, 209 de anfíbios, 850 de aves, 1.300 de peixes e cerca de 12.000 de plantas nativas (Lahsen; Bustamante; Dalla-Nora, 2016).

Apesar da sua grande importância ambiental, estima-se que o Cerrado perdeu cerca de 46% da sua cobertura vegetal nativa, sendo que apenas 19,8% da vegetação remanescente permanece intacta (Strassburg *et al.*, 2017). Entre 1985 e 2023, foram desmatados no Brasil cerca de 381.000 km² de florestas e outras formações naturais não florestais dentro do bioma. Aproximadamente 50% da área total do Cerrado no país está coberto por atividades agropecuárias (Projeto MapBiomas, 2023).

Diante deste cenário, uma das estratégias utilizadas pelo Brasil para proteção e manutenção dos ecossistemas naturais é a criação de Unidades de Conservação (UCs). Elas foram instituídas pela Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000, que cria o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Essa legislação define normas e critérios para criação, implantação e gestão dessas áreas no país. Além disso, o SNUC estabelece as UCs em 12 categorias de manejo (Quadro 1), com características e objetivos específicos, sendo subdivididas em dois grupos, a saber: (i) Proteção Integral, cujo objetivo é preservar a natureza, admitindo-se apenas o uso indireto dos recursos naturais; e (ii) Uso Sustentável, que visa a compatibilização da conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos recursos naturais (Brasil, 2000).

Quadro 1 - Categorias de manejo distribuídas segundo os grupos de Proteção Integral e Uso Sustentável, de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000

Proteção Integral	Uso Sustentável
Estação Ecológica	Área de Proteção Ambiental
Reserva Biológica	Área de Relevante Interesse Ecológico
Parque Nacional	Floresta Nacional
Monumento Natural	Reserva Extrativista
Refúgio de Vida Silvestre	Reserva de Fauna
	Reserva de Desenvolvimento Sustentável
	Reserva Particular do Patrimônio Nacional

Fonte: Brasil, 2000.

Somando-se às áreas terrestres e marinhas federais, estaduais e municipais inscritas no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação - CNUC (Brasil, 2024a), o Brasil conta com 2945 UCs, que cobrem cerca de 2,5 milhões de km² do território brasileiro. Dessas, 927 são de Proteção Integral e 2018 são de Uso Sustentável, protegendo, respectivamente, 670.181,83 km² e 1.918.647,28 km². Dentre todas as categorias de manejo previstas no SNUC, as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) são as mais representativas em termos de extensão territorial, ocupando pouco mais de 50% das áreas cobertas por UCs no país.

As APAs são criadas com o intuito principal de disciplinar o processo de ocupação humana, além de proteger a diversidade biológica e assegurar a sustentabilidade dos recursos naturais (Brasil, 2000). Porém, este modelo de UC é considerado o menos restritivo do SNUC em termos de conservação biológica, pois permite diversos usos antrópicos, além de admitir a presença de terras públicas e privadas (Figueirôa; Salvio, 2020; Melo; Martins, 2020; Vale; Schaeffer-Novelli; Batalha, 2024). Embora seu nome seja atraente e de grande apelo popular, as APAs podem causar uma falsa impressão de que o ambiente está realmente protegido. Esta categoria de manejo em geral tem enfrentado dificuldades de gestão, como falta de recursos humanos e financeiros, inexistência de planos de manejo e programas de educação ambiental, problemas de regularização fundiária e carência de pesquisas científicas (Salvio, 2017).

Diante desse cenário, tais áreas podem se tornar locais potencialmente vulneráveis em virtude do seu baixo grau de proteção e controle espacial, por admitirem várias atividades humanas em seu interior (Martins; Dias, 2017). Nesse sentido, os diagnósticos relacionados a esta temática são considerados

instrumentos fundamentais para o planejamento adequado do território, uma vez que possibilitam identificar áreas com maior susceptibilidade à ocorrência de impactos ambientais, além de avaliar as potencialidades e limitações quanto ao uso do solo (Jordão; Moretto, 2015).

O conceito de vulnerabilidade ambiental pode ser compreendido de forma geral como o grau em que um sistema natural é susceptível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas (Aquino; Paletta; Almeida, 2017; Husna *et al.*, 2019). Segundo Ross (1994), a definição deste termo está intrinsecamente ligada à susceptibilidade dos componentes naturais e aos processos de degradação, especialmente aqueles introduzidos pelas ações antrópicas. Esse autor, apoiado nos preceitos de Tricart (1977), propõe que a análise integrada do meio físico permite hierarquizar níveis de fragilidade. Assim, neste trabalho adota-se a concepção de vulnerabilidade ambiental como a maior ou menor capacidade de um sistema natural de absorver impactos externos, considerando tanto atributos biofísicos intrínsecos (declividade, litologia, pedologia) quanto o padrão de uso e cobertura da terra (Crepani *et al.*, 2001; Trevisan *et al.*, 2018). Esta abordagem hierárquica, derivada da escola de Ross (1994) e, por conseguinte, de Tricart (1977), fornece o arcabouço teórico-metodológico que orienta a seleção das variáveis na presente pesquisa.

Nessa perspectiva, as geotecnologias têm sido cada vez mais utilizadas na elaboração de estudos relacionados à vulnerabilidade ambiental em áreas urbanas, principalmente a partir do final da década de 1980 (Pavanin; Cherubim; Lázaro, 2017). Estas tecnologias permitem mapear os principais atributos ambientais da paisagem, assim como conhecer os processos antrópicos que influenciam nos aspectos naturais de uma área (Scaramussa *et al.*, 2023).

Diversos autores utilizaram geotecnologias na elaboração de diagnósticos e mapeamentos da vulnerabilidade ambiental em UCs de diferentes categorias de manejo, a saber: Parque Estadual Sumaúma/AM (Cavalcante *et al.*, 2010); Monumento Natural do Itabira/ES (Scaramussa *et al.*, 2023); Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba (Barbosa *et al.*, 2022); Floresta Nacional de Palmares/PI (Pereira; Moscardi; Neto, 2023). Outros trabalhos semelhantes contemplaram mais de uma Unidade como área de estudo, como o desenvolvido nas UCs da Amazônia Legal Brasileira (Silva *et al.*, 2024) e nas Áreas de Proteção Ambiental do bioma Mata Atlântica na região sudeste brasileira (Carvalho; Silva; Salvio, 2022).

Frente ao exposto, o presente trabalho teve por objetivo mapear a vulnerabilidade ambiental de três APAs do bioma Cerrado no estado de Minas Gerais, por meio do uso de geotecnologias. Para isso, considerou-se como objetivos específicos: (i) coletar dados cartográficos das áreas de estudo para mapeamento; (ii) elaborar mapas temáticos de declividade, geologia, pedologia e uso e ocupação do solo; e (iii) determinar o Índice de Vulnerabilidade Ambiental, por meio de álgebra de mapas e análise multicritério. Esta pesquisa é resultante de uma dissertação de mestrado referente ao primeiro autor.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização das Áreas de Proteção Ambiental analisadas

A partir da necessidade de reunir informações das APAs existentes no bioma Cerrado no estado de Minas Gerais, realizou-se primeiramente o levantamento para obtenção dos dados por meio do *website* oficial do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC). Esta plataforma é gerida e organizada pelo Ministério do Meio Ambiente com a colaboração dos órgãos gestores, onde são apresentadas as características físicas, gerenciais e os dados georreferenciados das UCs nos âmbitos federal, estadual e municipal, incluindo as áreas privadas (Brasil, 2024a).

Posteriormente, os dados foram tabulados e organizados em planilha eletrônica por meio do *software* Microsoft Office Excel 2021 (Microsoft Corporation, 2021), contendo as seguintes informações das UCs: nome, esfera administrativa, categoria de manejo, unidade federativa, municípios, ano e ato legal de criação, bioma declarado, área, existência de planos de manejo e conselho gestor.

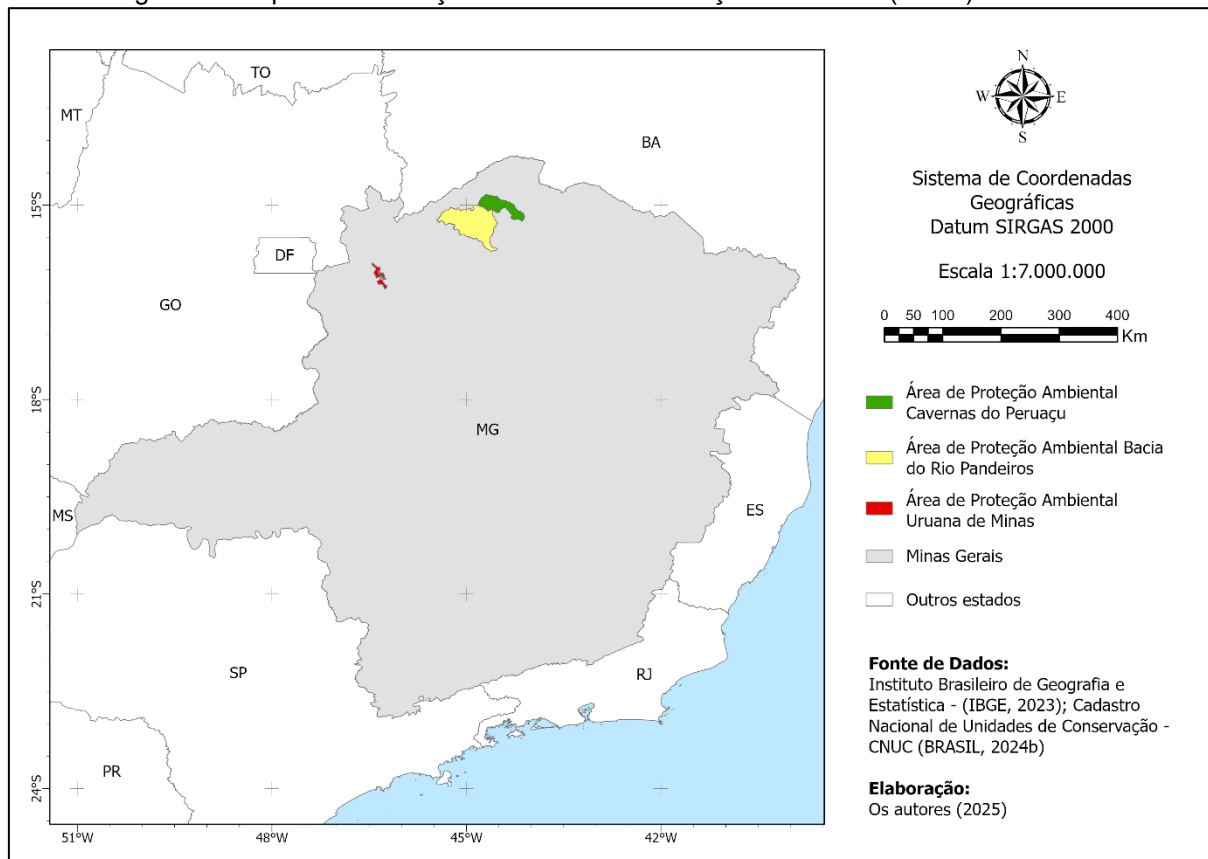
A área de estudo compreendeu três APAs (Quadro 2 e Figura 1) que abrangem os municípios de Januária, Bonito de Minas, Cônego Marinho, Itacarambi e Uruana de Minas, nas Mesorregiões Noroeste e Norte de Minas Gerais. O critério de seleção baseou-se na escolha da maior Unidade em extensão territorial de cada esfera administrativa (federal, estadual e municipal) dentre todas as UC catalogadas no CNUC referentes ao bioma Cerrado em Minas Gerais.

Quadro 2 - Informações gerais sobre as três Áreas de Proteção Ambiental estudadas neste trabalho

Área de Proteção Ambiental	Objetivo de criação	Municípios abrangidos	Área (km²)	Esfera administrativa
Cavernas do Peruaçu	Proteger e preservar as cavernas e demais formações cársticas, sítios arqueopaleontológicos, a cobertura vegetal, a fauna silvestre onde há identificação de rotas de migração e sítios de arribação, cuja preservação é de fundamental importância para o ecossistema da Região.	Bonito de Minas/MG, Cônego Marinho/MG, Itacarambi/MG, Januária/MG	1434	Federal
Bacia do Rio Pandeiros	Tornar efetiva a proteção do Rio Pandeiros; manter o equilíbrio ecológico e a diversidade biológica em ecossistemas aquáticos; proteger paisagens naturais de beleza cênica notável; preservar áreas de significativa importância para a reprodução e o desenvolvimento da ictiofauna; e criar condições para favorecer a educação ambiental e a recreação em contato com a natureza.	Bonito de Minas/MG, Cônego Marinho/MG, Januária/MG	3964	Estadual
Uruana de Minas	Proteger a diversidade biológica, proteger os mananciais, regular o uso dos recursos hídricos e o parcelamento do solo, garantindo o uso racional dos recursos naturais e protegendo o patrimônio ambiental e cultural da região, disciplinando o processo de ocupação e assegurando a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.	Uruana de Minas/MG	300	Municipal

Fonte: Brasil, 1989; 2024a; Minas Gerais, 1995; Instituto Estadual de Florestas (IEF, 2024).

Figura 1 - Mapa de localização das Áreas de Proteção Ambiental (APAs) analisadas



Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir de informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) e Brasil (2024b).

Procedimentos metodológicos

O mapeamento de vulnerabilidade ambiental foi desenvolvido a partir de uma abordagem de pesquisa quantitativa, com o emprego de técnicas de geoprocessamento e utilização de dados secundários. Nesse sentido, este trabalho foi dividido basicamente em quatro etapas, a saber: (i) seleção das variáveis; (ii) aquisição de dados cartográficos; (iii) elaboração de mapas temáticos; e (iv) determinação do Índice de Vulnerabilidade Ambiental.

A elaboração do diagnóstico de vulnerabilidade ambiental baseou-se em adaptações na metodologia proposta por Souza; Vale (2016) e Trevisan *et al.* (2018), que fizeram uso das variáveis dispostas no Quadro 3. A escolha destes indicadores seguiu o modelo teórico de fragilidade ambiental proposto por Ross (1994) e operacionado por Crepani *et al.* (2001). Esse modelo, com base no princípio da Ecodinâmica de Tricart (1977), parte do princípio de que a vulnerabilidade é resultante da interação entre a dinâmica natural (potencial ecológico) e as pressões antrópicas, visando estudar o meio ambiente de forma integrada.

Nesse sentido, procedeu-se às rotinas de geoprocessamento, iniciando pelo levantamento e organização dos materiais cartográficos e posteriormente a elaboração dos mapas temáticos das áreas de estudo. O plano de informação foi georreferenciado no Sistema de Coordenadas Projetadas Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 23 Sul, Datum SIRGAS 2000, com auxílio do *software* ArcGIS Pro, versão 3.0.1, desenvolvido pelo *Environmental System Research Institute* (ESRI, 2022).

Quadro 3 - Variáveis, critérios e fontes utilizados na determinação da vulnerabilidade ambiental

Variáveis	Critério	Fonte
Declividade	Variação da declividade	<i>Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center</i> (ASF DAAC, 2011)
Geologia	Litologia predominante	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG, 2014)
Pedologia	Maturidade pedogenética	Universidade Federal de Viçosa <i>et al.</i> (2010)
Uso e cobertura do solo	Tipo de uso	Projeto MapBiomias (2023)

Fonte: Adaptado de Souza; Vale (2016) e Trevisan *et al.* (2018)

Os arquivos contendo os perímetros das UCs foram obtidos por meio da plataforma virtual do Ministério do Meio Ambiente <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>, disponível nas pastas “Áreas Especiais” > “Unidades de Conservação” > “Unidades de Conservação (todas)”, na escala 1:100.000, em formato *shapefile* (.shp). (BRASIL, 2024b). A delimitação dos municípios e estados brasileiros foi adquirida na “Malha Municipal da Divisão Político-Administrativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), na escala 1.250.000, também em formato *.shp*.

Os mapas de declividade foram gerados a partir de imagens *Raster* do Modelo Digital de Elevação da Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), obtidas pelo sensor PALSAR do satélite “*Advanced Land Observing Satellite*” (ALOS). As imagens têm resolução espacial média de 12,5 metros, datadas entre janeiro e maio de 2011, polarização HH e bandas ALPSRP. Os dados foram adquiridos gratuitamente por meio do *website* da *Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center*. Esta plataforma é mantida e operada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e fornece acesso a imagens de radar de abertura sintética (SAR), além de outras informações geoespaciais coletadas por satélites de sensoriamento remoto, como o ALOS PAUSAR, Sentinel-1, RADARSAT, entre outros (ASF DAAC, 2011).

Após a obtenção de todas as imagens, utilizou-se a ferramenta “*Mosaic To a New Raster*”, disponível no *software* ArcGIS Pro (ESRI, 2022), com o intuito de mesclar diversos conjuntos de dados *Raster* em um único arquivo. Em seguida, a declividade do terreno foi calculada em porcentagem por meio da função “*Slope*” e o arquivo gerado foi recortado para as áreas de estudo, com auxílio do recurso “*Extract by Mask*”.

As informações pedológicas foram obtidas por meio do mapeamento pedológico simplificado¹ de Minas Gerais elaborado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em parceria com a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM). Os dados foram extraídos na plataforma da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IDE SISEMA, na escala 1:500.000, ano 2010, em formato “.shp” (Universidade Federal de Viçosa *et al.*, 2010).

Os mapas de geologia foram adquiridos por meio do Mapa Geológico do estado de Minas Gerais, elaborado pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG, 2014), na escala 1:1.000.000, formato “.shp”, por meio da plataforma Portal da Geologia. Por fim, os dados de uso e cobertura do solo foram elaborados a partir da Coleção 9.0 do “Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil”, ano 2023, com resolução espacial média de 30 metros, em formato *Raster* (.tiff), disponíveis gratuitamente no *website* do Projeto MapBiomias (2023).

Para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Ambiental, todas as variáveis descritas no Quadro 3 foram primeiramente convertidas para o formato *Raster* com resolução espacial média de 30 metros, utilizando a ferramenta *Polygon To Raster* do *software* ArcGIS Pro (ESRI, 2022).

¹ O mapa pedológico simplificado apenas mostra o principal componente de cada unidade de mapeamento e no segundo nível categórico mais alto (subordem).

Posteriormente, as áreas foram reclassificadas de acordo com o grau de vulnerabilidade ambiental em um intervalo de 1 a 5, sendo subdivididas em cinco classes: 1 - Muito Baixa, 2 - Baixa, 3 - Média, 4 - Alta e 5 - Muito Alta. Desta forma, diferentes pesos foram atribuídos de acordo com as especificidades de cada compartimento, conforme mostram as Tabelas 1, 2, 3 e 4 a seguir. Os respectivos graus de vulnerabilidade ambiental foram fundamentados nas pesquisas realizadas por Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001).

Tabela 1 - Grau de vulnerabilidade ambiental atribuído para as diferentes classes de declividade nas áreas de estudo

Declividade (%)	Grau de vulnerabilidade ambiental
0 – 6	1: Muito baixa
6,001 – 12	2: Baixa
12,001 -20	3: Média
20,001 -30	4: Alta
>30,001	5: Muito alta

Fonte: Ross (1994, p. 66).

Tabela 2 - Grau de vulnerabilidade ambiental atribuído para as diferentes classes de geologia (litotipo) nas áreas de estudo

Geologia (litotipo)	Grau de vulnerabilidade ambiental
Quartzito, Riólitos, Granitos, Dacitos, Granodioritos, Granulitos, Migmatitos, Gnaisses	1: Muito baixa
Fonólitos, Nefelina, Andesitos, Dioritos, Basalto, Gabro, Peridotito, Quartzo muscovita, Biotita	2: Baixa
Abfibolito, Dunito, Filito, Piroxenito, Xistos granatíferos, Metassilito, Tremolita, Horblenda	3: Média
Ardósia, Metargilito, Mármore, Arenitos quartzosos, conglomerados	4: Alta
Siltitos, Argilitos, Folhelhos, Calcário, Dolomitos, Sedimentos inconsolidados (aluviões, colúvios etc.)	5: Muito alta

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

Tabela 3 - Grau de vulnerabilidade ambiental atribuído para as diferentes classes de pedologia nas áreas de estudo

Pedologia	Grau de vulnerabilidade ambiental
Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo	1: Muito baixa
Nitossolo Vermelho	3: Média
Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo	4: Alta
Gleissolos Háplico, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico	5: Muito alta

Fonte: Adaptado de Ross (1994, p. 68).

Tabela 4 - Grau de vulnerabilidade ambiental atribuído para as diferentes classes de uso e cobertura do solo nas áreas de estudo

Uso e cobertura do solo	Grau de vulnerabilidade ambiental
Florestas – Matas naturais, Florestas cultivadas com biodiversidade	1: Muito baixa
Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso	2: Baixa
Cerrado denso, capoeira, mata homogênea, pastagem cultivada com baixo pisoteio de gado	3: Média
Cultivo de ciclo longo em curvas de nível como café, laranja, cana, silvicultura	4: Alta
Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto, terraplanagem	5: Muito Alta

Fonte: Adaptado de Ross (1994, p. 68-69).

Após os procedimentos citados anteriormente, realizou-se o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) das áreas de estudo a partir do método conhecido como Álgebra de Mapas, que é uma sobreposição cartográfica em que cada elemento terá um peso sobre o outro, resultando na cartografia de síntese (Medeiros *et al.*, 2023). Para isso, utilizou-se a função “*Raster Calculator*” disponível no ArcGIS Pro (ESRI, 2022), de acordo com a equação proposta por Tagliani (2002, p. 1559):

$$IVA = (\text{Declividade} + \text{Geologia} + \text{Pedologia} + \text{Uso e ocupação do solo}) / 4 \quad (1)$$

Por fim, as métricas de paisagens (Quadro 4) foram calculadas utilizando o *software* Fragstats 4.2.6 (McGarigal; Marks, 1995), a fim de obter os valores de área e percentuais dos graus de vulnerabilidade ambiental existentes nas áreas de estudo. Posteriormente, os dados de área foram convertidos de hectare para km², dividindo-se os valores por 100.

Quadro 4 – Métricas da paisagem utilizadas na pesquisa

Escala	Sigla	Nome	Unidade	Descrição
Classe	CA/TA	Total da área	ha	Corresponde à soma das áreas de classe na paisagem
Classe	PLAND	Porcentagem na paisagem	%	Porcentagem da área ocupada pela classe na paisagem

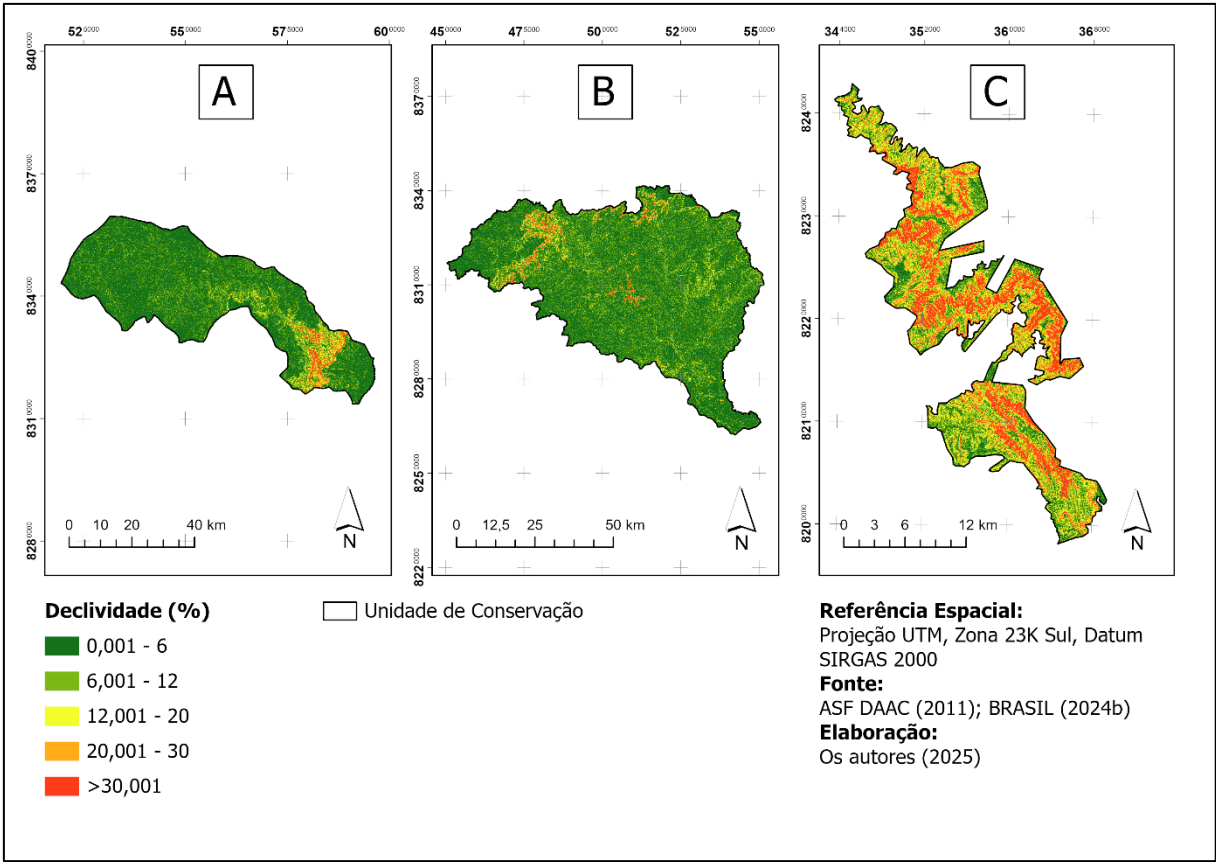
Fonte: McGarigal; Marks, 1995

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Declividade

O termo declividade está diretamente relacionado com a velocidade das massas de água e, consequentemente, a formação de processos erosivos. Ela é medida pela inclinação da reta que une dois pontos do terreno em relação ao plano horizontal, podendo ser utilizada por meio de cartas topográficas ou de forma automatizada, a partir de dados de altimetria em sistemas computacionais. Assim, quanto maior a declividade, maior será a sua capacidade de transporte e maior será a susceptibilidade a erosão dos solos (Crepani *et al.*, 2001). Nesse sentido, com base nos critérios e procedimentos descritos anteriormente, apresentam-se na Figura 2 e Tabela 5, os resultados obtidos da variável declividade das áreas de estudo.

Figura 2 - Mapa de declividade (%) da Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (A), Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Pandeiros (B) e Área de Proteção Ambiental Uruana de Minas (C)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir de dados da ASF DAAC (2011) e BRASIL (2024b).

Tabela 5 - Valores de área (km²) e frequência (%) para as diferentes classes de declividade existentes na Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (APACP), Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Pandeiros (APABRP) e Área de Proteção Ambiental Uruana de Minas (APAUM).

Declividade (%)	Peso	APACP		APABRP		APAUM	
		Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
0-6	1	1004,91	70,15	2521,47	64,01	45,64	15,19
6-12	2	320,23	22,35	1144,61	29,06	64,99	21,63
12-20	3	60,90	4,25	180,31	4,58	73,24	24,37
20-30	4	25,84	1,80	52,78	1,34	55,30	18,40
>30	5	20,64	1,44	39,40	1,01	61,28	20,39
Total	-	1432,52	100	3938,57	100	300,45	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), a partir do software FRAGSTATS v. 4.2.6 (McGarigal; Marks, 1995)

Com base na Tabela 5 e Figura 2, observa-se que a maior declividade encontrada nas áreas de estudo ocorre na APA Uruana de Minas (APAUM). Cerca de 63% da Unidade apresenta declividades superiores a 12%, o que, segundo a classificação de Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001), corresponde a relevos que vão de ondulados (12–20%) a forte ondulados (20–30%) e montanhosos (>30%). Tais áreas concentram-se principalmente nas regiões central e sul da APAUM, onde a inclinação do terreno pode aumentar a vulnerabilidade ao processo de erosão e dificultar a ocupação humana e a prática de atividades agrícolas.

É importante destacar que a região do entorno do município de Uruana de Minas apresenta altitudes entre 461 e 980 metros (ASF DAAC, 2011). Nas superfícies mais elevadas, sobretudo aquelas

cobertas por vegetação nativa, concentram-se diversas nascentes e cursos d'água que funcionam como zonas de recarga hídrica. Essas áreas específicas do território contribuem para o abastecimento de aquíferos subterrâneos, garantindo a preservação e a manutenção dos recursos hídricos em quantidade e qualidade adequados.

A APA Bacia do Rio Pandeiros (APABRP) apresenta majoritariamente relevo plano, com baixa declividade, localizado em cotas altimétricas consideradas intermediárias que variam entre 450m até 800m. As áreas mais declivosas estão situadas nas bordas norte e noroeste da Unidade, com a presença de chapadas e superfícies tubulares escalonadas na direção norte-sul. Aproximadamente 95% da APACP apresenta declividade inferior a 12%.

Por sua vez, a APA Cavernas do Peruaçu (APACP) dispõe na sua maior parte de relevo aplainado, com ondulações suaves e amplos interflúvios, evoluindo para chapadas, apresentando paisagem de topo plano e densidades de drenagem muito baixas. As áreas com maior declividade foram encontradas na porção sudeste-sul da Unidade.

Geologia

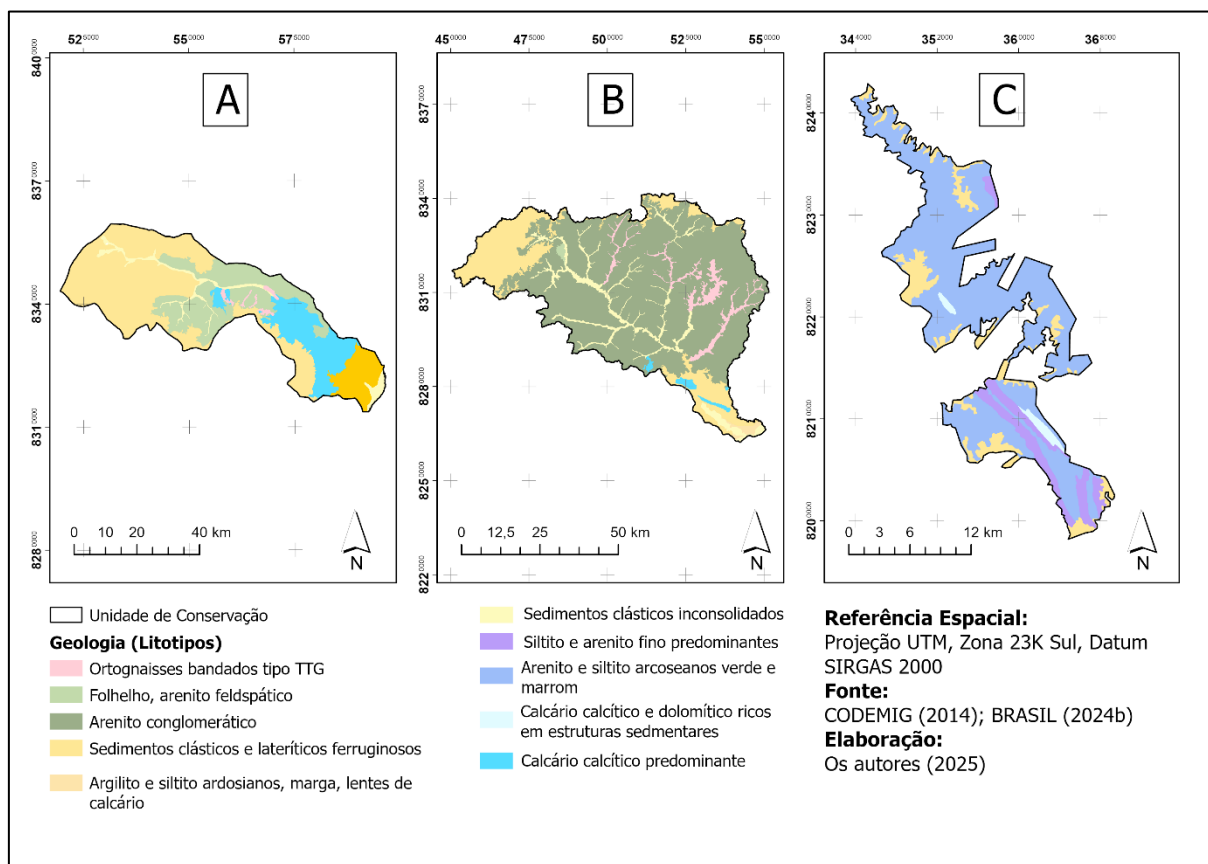
De acordo com Silva; Silva; Lima (2020), as informações geológicas são consideradas importantes, pois ajudam a entender a origem e as transformações do material geológico ao longo do tempo, de forma a compreender a formação, a composição e a estrutura dos solos existentes no local. Desta forma, os resultados para a variável geologia estão quantificados na Tabela 6 e espacializados na Figura 3 a seguir:

Tabela 6 - Valores de área (km²) e frequência (%) para as diferentes classes de geologia (litotipos) existentes na Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (APACP), Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Pandeiros (APABRP) e Área de Proteção Ambiental Uruana de Minas (APAUM)

Geologia (Litotipos)	Peso	APACP		APABRP		APAUM	
		Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Arenitos conglomeráticos, arenito, folhelho ou argilito, conglomerado (K2u)	4	337,70	23,58	2796,05	70,59	-	-
Sedimentos clásticos e lateríticos ferruginosos (ENdl)	3	680,97	47,55	699,90	17,67	45,38	15,10
Ortognaisses bandados tipo TTG, com interações de anfibolito (A3j)	2	15,32	1,09	160,74	4,06	-	-
Argilito e siltito arcoseanos, manga, lentes de calcário (NP3bsh)	5	110,26	7,70	21,59	0,54	-	-
Calcário calcítico predominante, caucilito (NP3bsl)	5	224,00	15,64	34,14	0,86	-	-
Folhelho, arenito feldspático, arenito lítico (K1a)	4	-	-	10,97	0,29	-	-
Sedimentos clásticos inconsolidados (Qa)	5	63,64	4,44	237,34	5,99	-	-
Calcário calcítico e dolomítico (NP3blj)	5	-	-	-	-	5,26	1,75
Arenito e siltito arcoseanos verde e marrom (NP3_C_cortado_btm)	4	-	-	-	-	220,34	73,33
Siltito e arenito fino predominantes, folhelhos, lentes carbonáticas (NP3bss)	4	-	-	-	-	29,48	9,81
Total	-	1431,8	100	3960,73	100	300,46	100

Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir do *software* Fragstats 4.2.6 (McGarigal; Marks, 1995).

Figura 3 - Mapa Geológico (litotipos) da Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (A), Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Pandeiros (B) e Área de Proteção Ambiental Uruana de Minas (C)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir de dados da CODEMIG (2014) e Brasil (2024b).

As áreas de estudo são bem diversas em relação à litologia, com presença de rochas ígneas e sedimentares. Na APACP, predominam os sedimentos clásticos e lateríticos ferruginosos (ENdl), da era cenozoica, período paleógeno. Os sedimentos clásticos são formados por fragmentos de rochas preexistentes (clastos) e têm origem a partir da remoção, transporte e decomposição de partículas de uma área para outra.

A APABRP dispõe na maior parte do território da rocha K2u, do tipo sedimentar, Grupo Urucaia, com presença de arenitos conglomeráticos associados com arenito, folhelho ou argilito. Os arenitos conglomeráticos combinam características do arenito e do conglomerado, composto por grãos de areia e fragmentos maiores, como seixos e calhaus, cimentados naturalmente. Sua formação ocorre em ambientes deposicionais de alta energia, como sistemas fluviais entrelaçados e leques aluviais, onde a correnteza é capaz de transportar e depositar partículas de diferentes tamanhos.

A APAUM é composta basicamente de arenitos e siltitos arcoseanos verde e marrom (NP3_C_cortado_btm), do tipo sedimentar, pertencente à Unidade Supergrupo São Francisco, Grupo Bambuí, Formação Três Marias, era Criogeniano e período Ediacarano. Arenitos e siltitos arcoseanos são rochas formadas predominantemente por grãos de areia e silte com quantidades significativas de feldspato, geralmente associados a ambientes de deposição próximos à fonte de erosão.

Pedologia

Os solos podem ser considerados um fator preponderante na determinação da vulnerabilidade ambiental, uma vez que influenciam diretamente nos processos ecológicos essenciais como infiltração da água, escoamento superficial, retenção de nutrientes, estabilidade da paisagem. Sua composição e estrutura determinam a capacidade de suporte de uso e sua susceptibilidade a

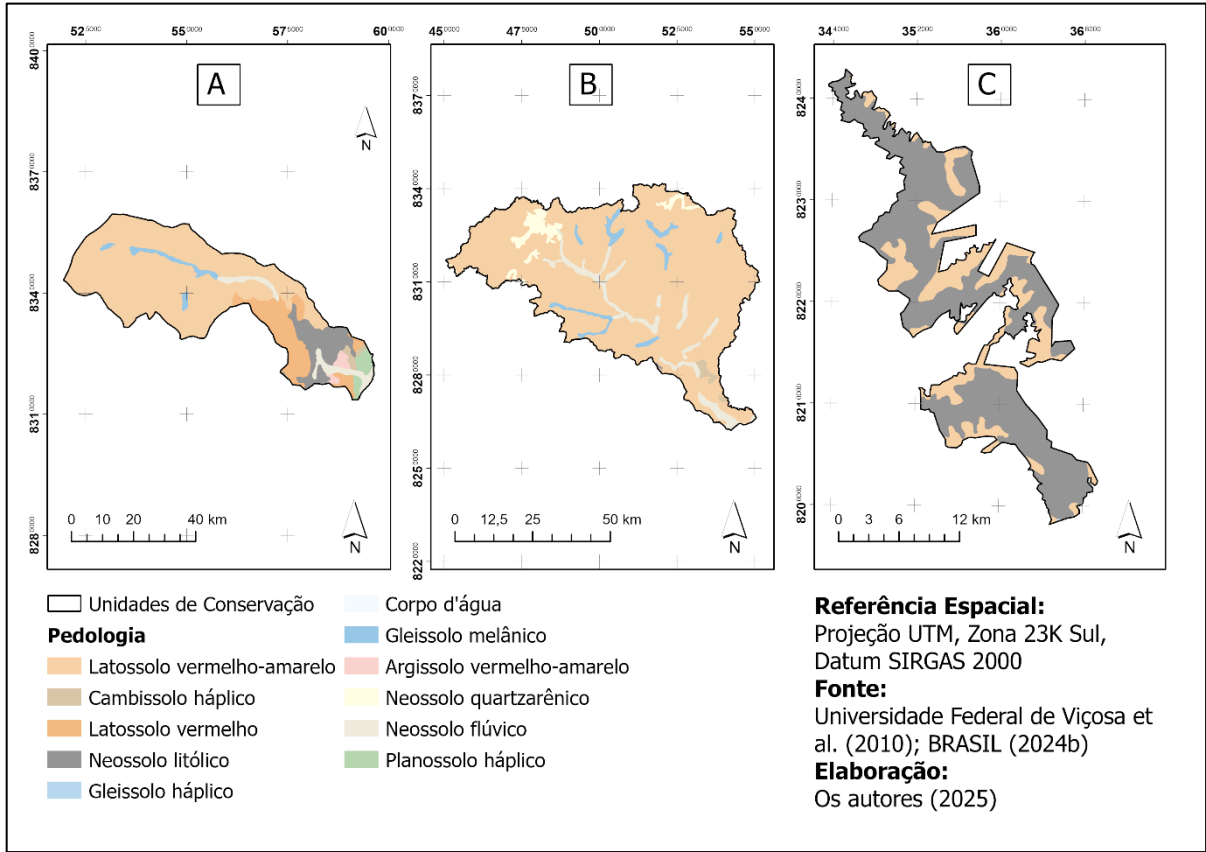
processos de degradação, como erosão e compactação (Silva; Silva; Lima, 2020). Assim sendo, a Tabela 7 e a Figura 4 mostram os resultados obtidos das áreas de estudo para a variável Pedologia.

Tabela 7 - Valores de área (km²) e frequência (%) para as diferentes classes de pedologia existentes na Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (APACP), Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Pandeiros (APABRP) e Área de Proteção Ambiental Uruana de Minas (APAUM)

Pedologia	Peso	APACP		APABRP		APAUM	
		Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Argissolo Vermelho-Amarelo	4	17,71	1,23	-	-	-	-
Cambissolo Háplico	4	12,99	0,90	27,64	0,70	-	-
Corpo d'água	1	1,06	0,07	-	-	-	-
Gleissolo Háplico	5	-	-	-	-	0,83	0,03
Gleissolo Melânico	5	35,62	2,48	118,56	2,99	-	-
Latossolo Vermelho	1	178,30	12,44	-	-	-	-
Latossolo Vermelho-Amarelo	1	970,08	67,71	3462,43	87,41	84,93	28,26
Neossolo Flúvico	5	59,24	4,13	221,16	5,58	-	-
Neossolo Litólico	5	127,35	8,89	1,64	0,04	215,46	71,70
Neossolo	5	0,19	0,01	129,47	3,26	-	-
Quartzarênico							
Planossolo Háplico	3	30,11	2,10	-	-	-	-
Total	-	1432,65	100	3960,90	100	301,22	100

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir do software Fragstats 4.2.6 (McGarigal; Marks, 1995)

Figura 4 - Mapa Pedológico da Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (A), Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Pandeiros (B) e Área de Proteção Ambiental Uruana de Minas (C)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir de informações de Universidade Federal de Viçosa et al. (2010) e Brasil (2024b).

A partir da Figura 4 e Tabela 7, nota-se a predominância dos Latossolos, incluindo o Latossolo vermelho e o Latossolo vermelho-amarelo, nas APACP e APABRP. São solos que ocorrem na maior parte do Brasil, principalmente em regiões equatoriais e tropicais, e que apresentam intemperização intensa. Além disso, têm boas condições físicas para uso agrícola com boa permeabilidade devido à sua alta porosidade (Santos *et al.*, 2018).

Observa-se também a existência de Neossolos Litólicos em praticamente toda a APAUM. Este tipo de solo está geralmente associado à presença de horizontes com pouca profundidade e localizados normalmente em relevos com maior declividade, o que aumenta a possibilidade de formação de processos erosivos (Santos *et al.*, 2018).

Uso e cobertura da terra

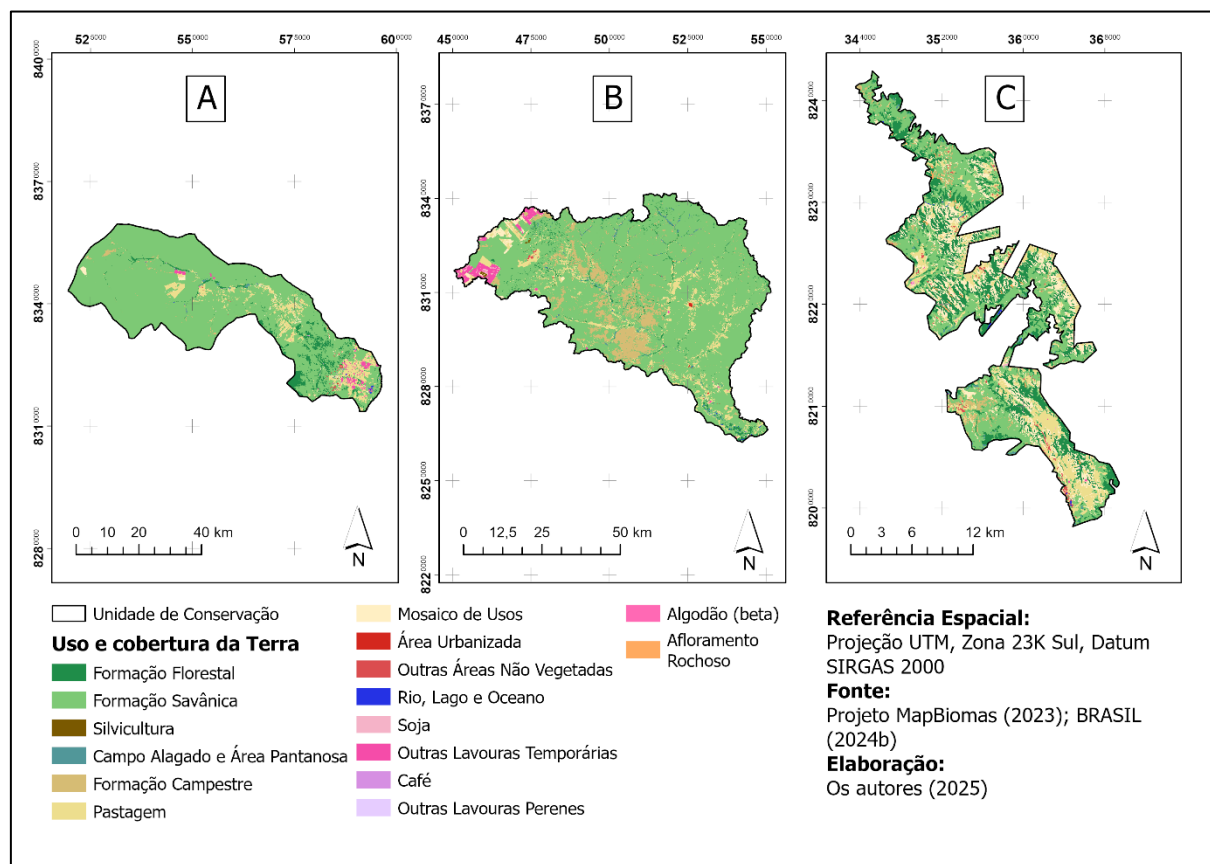
Compreender e identificar os padrões de distribuição do espaço geográfico são primordiais para analisar as fontes potenciais de alteração ambiental, principalmente aquelas causadas pelas ações humanas. Nesse contexto, para entender melhor a dinâmica espacial e as pressões sobre o ambiente, apresentam-se os resultados obtidos das áreas de estudo referentes à variável uso e cobertura do solo (Tabela 8 e Figura 5).

Tabela 8 - Valores de área (km²) e frequência (%) para as diferentes classes de uso e cobertura do solo existentes na Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (APACP), Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Pandeiros (APABRP) e Área de Proteção Ambiental Uruana de Minas (APAUM)

Uso e cobertura do solo	Peso	APACP		APABRP		APAUM	
		Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Formação Florestal	1	65,91	4,60	68,93	1,75	73,38	24,43
Formação Savânica	1	1215,07	84,82	3088,57	78,41	114,04	37,96
Silvicultura	3	-	-	3,29	0,08	0,06	0,01
Afloramento Rochoso	4	-	-	-	-	1,40	0,46
Campo Alagado e Área Pantanosa	1	2,42	0,16	26,54	0,67	2,21	0,74
Formação Campestre	2	8,33	0,58	336,58	8,54	8,01	2,67
Pastagem	4	104,88	7,32	288,23	7,32	43,59	14,51
Mosaico de Usos	4	14,97	1,04	49,41	1,25	53,58	17,84
Área Urbana	5	2,88	0,20	1,94	0,04	-	-
Outras Áreas Não Vegetadas	5	0,27	0,01	4,64	0,12	2,48	0,82
Rio, Lago e Oceano	1	1,81	0,12	1,89	0,04	0,45	0,15
Outras Lavouras Temporárias	4	0,88	0,06	60,23	1,53	0,44	0,14
Soja	4	0,59	0,01	8,30	0,22	0,75	0,26
Outras Lavouras Perenes	4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Café	4	0,13	0,01	0,12	0,01	0,03	0,01
Algodão (beta)	4	-	-	0,93	0,01	-	-
Total	-	1418,15	100	3939,61	100	300,43	100

Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir do *software* Fragstats 4.2.6 (McGarigal; Marks, 1995)

Figura 5 - Mapa de uso e cobertura do solo da Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (A), Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Pandeiros (B) e Área de Proteção Ambiental Uruana de Minas (C)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir de dados de Projeto MapBiomias (2023) e Brasil (2024b).

Como se pode observar na Tabela 8 e Figura 5, a APACP apresenta valores predominantes de formação savânica, que representa quase 85% da sua área total. Esse tipo de vegetação é composto por estratos arbóreos e arbustivos-herbáceo bem definidos, caracterizando-se como parte do bioma Cerrado, especificamente dentro do Cerrado Sentido Restrito, que engloba as fitofisionomias: Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre (Projeto MapBiomias, 2023).

Veloso *et al.* (2021) encontrou na APACP aumento das áreas naturais classificadas como “Cerrado” e diminuição do uso de silvicultura e formação de pastagens entre o período de 1986 a 2015, o que mostra que a área protegida tem cumprido seus objetivos de proteção. É importante destacar que a referida Unidade está sobreposta parcialmente ao Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (BRASIL, 2024a), uma categoria de Proteção Integral onde os usos são mais restritivos (BRASIL, 2000).

O mapeamento da APABRP indica também a predominância da formação savânica, ocupando 78,41% da área total da UC. No entanto, os dados referentes ao estudo elaborado por Dias; Moschini; Trevisan (2017) apontam significativa diminuição da cobertura vegetal nativa e aumento expressivo das atividades agrícolas na região desde o ano da criação da Unidade, em 1995. Este cenário sugere uma pressão crescente sobre os ecossistemas naturais, possivelmente impactando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos locais.

Na APAUM, observa-se maior predominância de pastagens e mosaico de usos em relação às outras áreas de estudo. Estas áreas estão localizadas sobretudo na parte central e sul da Unidade. Salienta-se que a mesorregião noroeste de Minas Gerais, onde está situado o município Uruana de Minas, tem sua base econômica voltada para as atividades agrícolas e pecuárias, com destaque para a produção de milho, soja, feijão e criação de gado leiteiro.

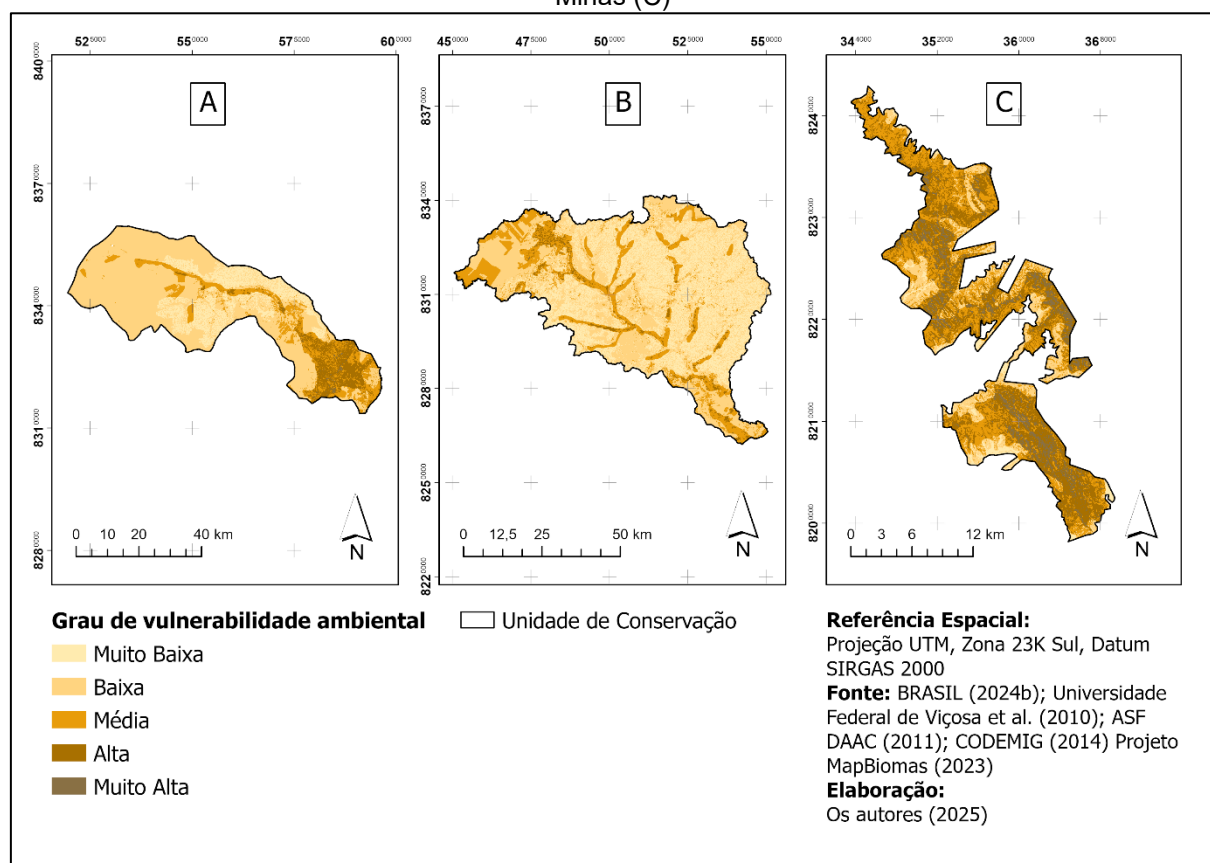
Nota-se que as áreas mais planas do terreno apresentam em geral atividades antrópicas com maior recorrência em virtude das facilidades de acesso a ocupação do solo em relação às regiões mais

íngremes e montanhosas, onde a preservação do bioma é mais notada. Este padrão de uso e cobertura do solo é percebido no estudo elaborado por Santos e Martins (2018) na Bacia Hidrográfica do Rio Claro/GO. Os resultados desta pesquisa mostraram que a maior parte da Bacia é formada por áreas urbanas e agrícolas, incluindo pecuária e silvicultura.

Vulnerabilidade Ambiental

Os resultados do cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental das áreas de estudo (Figura 6 e Tabela 9) evidenciaram a predominância de áreas com baixa vulnerabilidade ambiental nas APACP e APABRP, correspondendo a 73,82% e 75,41% do território das UC, respectivamente. A APAUM apresentou valores significativos de média, alta e muito alta vulnerabilidade, totalizando cerca de 86% da sua extensão. Isto se deve às características naturais e antrópicas presentes na paisagem, que interagem e determinam o grau de susceptibilidade à degradação ambiental.

Figura 6 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruauçu (A), Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Pandeiros (B) e Área de Proteção Ambiental Uruana de Minas (C)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir de informações de Universidade Federal de Viçosa *et al.* (2010), ASF DAAC (2011), CODEMIG (2014), Projeto MapBiomias (2023) e Brasil (2024b).

Tabela 9 - Valores de área (km²) e frequência (%) para os diferentes graus de vulnerabilidade ambiental existentes nas Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu (APACP), Área de Proteção Ambiental Bacia do Rio Pandeiros (APABRP) e Área de Proteção Ambiental Uruana de Minas (APAUM)

Grau de vulnerabilidade ambiental	APACP		APABRP		APAUM	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Muito Baixa	4,29	0,30	48,56	1,23	0,00	0,00
Baixa	1055,93	73,82	2984,75	75,41	40,54	13,56
Média	241,93	16,91	824,78	20,84	123,88	41,46
Alta	125,55	8,78	99,53	2,51	116,07	38,85
Muito Alta	2,65	0,19	0,30	0,01	18,31	6,13
Total	1430,35	100	3957,92	100	298,8	100

Fonte: Elaborado pelos autores (2025), a partir do software Fragstats 4.2.6 (McGarigal; Marks, 1995).

As áreas classificadas com vulnerabilidade ambiental muito alta correspondem a apenas 6,12% da APAUM, 0,19% da APACP e 0,01% da APABRP. Essas regiões são caracterizadas, principalmente, por declividades superiores a 50%, presença de Neossolos Litólicos associados a rochas dos tipos arenitos, siltitos arcoseanos e conglomerados, além da formação de pastagens intercaladas com mosaicos de usos, especialmente atividades agropecuárias. Apesar de ocuparem extensões relativamente pequenas, esses locais apresentam diversos riscos que inviabilizam a ocupação humana, tornando essencial a realização de estudos aprofundados para compreender as dinâmicas ecológicas envolvidas (Silva; Silva, Lima, 2020).

As áreas classificadas com vulnerabilidade ambiental alta abrangem 38,84% na APAUM, 8,78% na APACP e 2,51% na APABRP. Analisando o mapa de uso e ocupação do solo apresentado anteriormente (Figura 5), observa-se que esta classe está localizada sobretudo em locais próximos às margens de rios devido principalmente às ações humanas, o que favorece a instabilidade e aumenta o risco de processos erosivos. Áreas no entorno de cursos d'água frequentemente apresentam encostas íngremes e solos rasos, tornando-as mais vulneráveis (Ross, 1994).

As áreas classificadas com vulnerabilidade ambiental média englobam 41,45% na APACP, 75,41% na APABRP e 13,96% na APAUM. Compreende locais com predomínio de formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, solos com características de fraco desenvolvimento estrutural, relevo ondulado a montanhoso e presença de áreas antropizadas, incluindo silvicultura, formação campestre e cultivos agrícolas.

As áreas classificadas com vulnerabilidade ambiental baixa ocupam 73,82% na APACP, 75,41% na APABRP e 13,96% na APAUM. Esta classe é constituída basicamente de Latossolos Vermelho-Amarelo, com cobertura vegetal do tipo savânica, relevo plano a suavemente ondulado e presença de rochas dos tipos arenito, folhelho e sedimentos clásticos. Embora essas regiões apresentem baixa susceptibilidade a processos erosivos e degradação ambiental, o avanço das atividades humanas pode elevar sua vulnerabilidade, caso medidas de manejo adequado não sejam adotadas.

As áreas classificadas com vulnerabilidade muito baixa foram identificadas apenas na APACP e APABRP, ocupando 0,30% e 1,23% do território das UCs. Esta classe é considerada a menos suscetível a processos de degradação ambiental. São regiões que apresentam condições favoráveis à estabilidade ecológica, como solos mais profundos e bem estruturados, baixa declividade e cobertura vegetal bem preservada. Essas regiões geralmente coincidem com fragmentos florestais mais conservados e áreas protegidas, onde a intervenção humana é mínima (Trevisan *et al.* 2018; Medeiros *et al.*, 2023).

Os resultados obtidos evidenciam que a APA Uruana de Minas (APAUM) apresenta vulnerabilidade ambiental acentuadamente superior à das outras áreas de estudo, com mais de 86% de sua superfície nas classes média, alta e muito alta. Esse padrão não decorre apenas de atributos biofísicos (relevo mais declivoso, predomínio de Neossolos Litólicos e litologias sedimentares frágeis), mas também de fatores de gestão e uso da terra. Conforme apontado por Salvio (2017), as UCs da esfera municipal frequentemente carecem de recursos humanos, financeiros e de planos de manejo, o que agrava sua fragilidade. A APAUM, criada em 2018, ainda não tem plano de manejo, instrumento obrigatório pelo SNUC (Brasil, 2000), o que compromete a efetividade da conservação. Além disso, nota-se também carência de informações básicas sobre essa área em bases de dados

oficiais dos órgãos gestores, incluindo a própria plataforma do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação e o *website* da Prefeitura Municipal de Uruana de Minas.

Comparativamente, a APACP (federal) e a APABRP (estadual) exibem baixa vulnerabilidade em mais de 70% de suas áreas. Isto pode ser atribuído à maior presença de vegetação nativa (formações savânicas e florestais) como também à sobreposição da APACP com o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu (categoria de UC de Proteção Integral), que impõe restrições adicionais. O trabalho de Veloso *et al.* (2021) mostrou que no geral as áreas protegidas localizadas na região norte de Minas Gerais, incluindo a APACP e a APABRP, têm sido consideradas eficientes na proteção dos recursos naturais. Apesar disso, Dias; Moschini; Trevisan (2017) detectaram na APABRP redução significativa de áreas de Cerrado e Veredas e, conseqüentemente, aumento de atividades antrópicas agrícolas, o que reforça a necessidade de monitoramentos constantes dos impactos ambientais que vêm ocorrendo nessas áreas.

Desta forma, a predominância de baixa vulnerabilidade encontrada na APABRP e APACP não deve gerar complacência. Como alertam Strassburg *et al.* (2017) e Lahsen *et al.* (2016), o Cerrado tem perdido vegetação nativa rapidamente, e mesmo APAs com baixa fragilidade atual podem se degradar se não houver fiscalização e planos de manejo efetivos. Portanto, é essencial que tanto os gestores quanto o poder público utilizem os mapas gerados neste trabalho para o zoneamento interno, priorizando áreas de vulnerabilidade alta e muito alta para recuperação e restrição de usos.

Outro ponto de diálogo com a literatura é o design das UCs. A APAUM apresenta forma irregular e fragmentada, o que, segundo Moreira; Salvio; Pereira (2024), aumenta o efeito de borda e a suscetibilidade a pressões externas. Em contraste, a APABRP, apesar de extensa, possui polígono mais contínuo, favorecendo a conectividade ecológica. Assim, a simples criação de uma APA não garante proteção; é necessário que seu formato e gestão estejam alinhados aos propósitos conservacionistas.

Há que se considerar também as limitações das bases cartográficas existentes no Brasil: os mapas de geologia (1:1.000.000) e pedologia (1:500.000), por exemplo, são produzidos em escala pequena, o que pode homogeneizar feições e subestimar vulnerabilidades localizadas. Trabalhos como o de Silva; Silva; Lima (2020) e Medeiros *et al.* (2023) também encontraram dificuldades semelhantes ao utilizar dados estaduais para análise de fragilidade em UCs. Futuros esforços devem empregar levantamentos pedológicos e geológicos de maior detalhe, especialmente na APAUM, onde a alta vulnerabilidade merece ações prioritárias de ordenamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento da vulnerabilidade ambiental com a utilização de geotecnologias permitiu classificar, quantificar e mapear a distribuição das diferentes classes de fragilidade existentes nas áreas de estudo. Os resultados indicaram que a maior vulnerabilidade foi encontrada na APAUM, com mais de 85% da sua área classificada como média, alta e muito alta vulnerabilidade ambiental, corroborando com a hipótese deste trabalho de que a esfera administrativa municipal apresenta maior fragilidade em relação às áreas federais e estaduais.

A APAUM possui formato bastante irregular e fragmentado, o que dificulta a implantação efetiva de ações de gestão na Unidade. Percebe-se que os polígonos definidos na criação desta UC podem ter sido mais influenciados por aspectos políticos e econômicos locais do que propriamente por necessidades conservacionistas e características ambientais que integram a paisagem da região. Essa fragmentação implica muitas vezes na perda da biodiversidade. Além disso, constatou-se que a APAUM não dispõe de plano de manejo, instrumento considerado obrigatório para apoiar a gestão de uma UC. Nota-se também a carência de informações básicas sobre a Unidade nas bases de dados, incluindo a plataforma do CNUC, e órgãos públicos como a Prefeitura Municipal de Uruana de Minas.

O Cerrado, considerado um dos principais *hotspots* mundiais de biodiversidade, está protegido por APA, o modelo menos restritivo e mais vulnerável de UC. As Unidades de Proteção Integral correspondem a apenas 2,84% da área total do bioma. Esses números mostram a dificuldade do poder público de criar espaços efetivos para preservar o patrimônio natural como também a preferência pelo grupo de Unidades de Uso Sustentável em razão das diversas flexibilidades quanto ao uso do solo. Isso pode gerar brechas para a degradação ambiental, especialmente em regiões com fiscalização frágil.

É importante salientar também que as bases cartográficas disponíveis no Brasil na maioria das vezes estão desatualizadas e apresentam muitas inconsistências. Muitos mapas apresentam problemas de escala e precisão, o que afeta diretamente a gestão das Unidades de Conservação e a implantação de políticas públicas. As variáveis geologia e pedologia, por exemplo, contam com dados em pequena escala (ex.: 1:1.000.000), onde há simplificação de feições e omissão de detalhes como falhas menores e camadas finas de rochas. Nesse sentido, verificou-se neste estudo grande dificuldade em acessar dados cartográficos confiáveis que possam retratar de forma mais realista as principais características naturais e antrópicas da paisagem.

Além disso, reconhece-se como limitação metodológica deste estudo o uso da média aritmética simples para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA), atribuindo o mesmo peso às quatro variáveis analisadas. Embora essa abordagem seja amplamente adotada na literatura (Souza; Vale, 2016; Trevisan *et al.*, 2018; Medeiros *et al.*, 2023) e garanta comparabilidade com trabalhos fundamentados em Ross (1994) e Crepani *et al.* (2001), ela não considera que, em contextos de forte pressão antrópica, variáveis como uso e cobertura do solo poderiam exercer maior influência sobre a vulnerabilidade. Assim, sugere-se que futuras pesquisas realizem análises de sensibilidade, testando diferentes esquemas de ponderação (por exemplo, atribuindo pesos maiores ao uso do solo ou à declividade), a fim de refinar os diagnósticos de vulnerabilidade e oferecer subsídios ainda mais precisos para a gestão de unidades de conservação.

Por fim, os resultados deste estudo poderão subsidiar informações necessárias tanto para o poder público quanto para os gestores de UCs, a fim de contribuir no planejamento e gestão das áreas de estudo, principalmente na elaboração e revisão de planos de manejo como também na implantação de políticas públicas e privadas voltadas ao planejamento e ordenamento territorial. Para isso, é fundamental que haja vontade política dos governantes e mais participação da sociedade civil, de forma a priorizar a conservação da natureza.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos membros do Grupo de Pesquisa em Áreas Protegidas (GAP) do Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais – *Campus* Barbacena pelo apoio fundamental na realização desta pesquisa. A Paula Trindade Coimbra Rodrigues pela revisão do texto em inglês. À Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela realização e concessão da bolsa de mestrado do autor principal.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, A. R. DE.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. de. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017. 112 p. <https://doi.org/10.5151/9788580392425>
- ASF DAAC. **Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center**: Alos Pausar. 2011. Disponível em: < <https://search.asf.alaska.edu/#/>>. Acesso em: 15 dez. 2024.
- BARBOSA, D. L. S.; ALMEIDA, K. S.; JÚNIOR, E. L. S.; MORAES, R. C. S.; ROCHA, I. L.; IWATA, B. F. Vulnerabilidade ambiental da Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 6, p. 45227-45239, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n6-175>
- BRASIL. Decreto n. 98.182, de 26 de setembro de 1989. Dispõe sobre a Área de Proteção Ambiental no estado de Minas Gerais e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 27 set. 1989.
- Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Seção 1, p. 45-48.
- Ministério do Meio Ambiente. **Cadastro Nacional do Unidades de Conservação**. Brasília, DF. Ministério do Meio Ambiente, 2024a. Disponível em: < <https://cnuc.mma.gov.br/>>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- Ministério do Meio Ambiente. **Portal de mapas interativos i3GEO**: download de dados cartográficos. Unidades de Conservação. 2024b. Disponível em: < <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 30 mar. 2025.

- CARVALHO, G. O. T.; SILVA, N. C.; SALVIO, G. M. M. Vulnerabilidade ambiental em Áreas de Proteção Ambiental (APA) do Bioma Mata Atlântica na região sudeste brasileira. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1575-1593, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509867261>
- CAVALCANTE, D. G.; PINHEIRO, E. S.; MACEDO, M. A.; MARTINOT, J. F.; NASCIMENTO, A. Z. A.; MARQUES, J. P. C. Análise da Vulnerabilidade Ambiental de um fragmento florestal urbano na Amazônia: parque estadual Sumaúma. **Sociedade e Natureza**, v. 22, n. 2, p. 391-403, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000200012>
- COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, p. 1465–1475, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01967-x>
- CODEMIG - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**. 2014. Disponível em: < <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>>. Acesso em: 12 dez. 2024.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: SAE/INPE, 2001.
- DIAS, L. C. C.; MOSCHINI, L. E.; TREVISAN, D. P. A influência das atividades antrópicas na paisagem da Área de Proteção Ambiental estadual do Rio Pandeiros, MG-Brasil. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 6, n. 2, p. 85-105, 2017. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2017v6i2.p85-105>
- ESRI. Environmental System Research Institute. **Software ARCGIS Pro, versão 3.0.1**. 2022. Disponível em< <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/get-started/download-arcgis-pro.htm>>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- FIGUEIRÔA, C. F. B.; SALVIO, G. M. M. Análise da fragilidade da Área de Proteção Ambiental Alto Rio Doce, MG, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 1008-1018, 2020. <https://doi.org/10.5902/1980509834294>
- HUSNA, A.; SHIDDIQ, I. P. A.; MANESA, M. D. M.; RISTYA, Y. Environmental vulnerability on Tsunami Hazard, Cisolok Village, Sukabumi. **KnE Engineering**, v. 4, n. 3, p. 9-19, 2019. <https://doi.org/10.18502/keg.v4i3.5816>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa Brasileira**. 2023. Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 04 set. 2024.
- IEF. Instituto Estadual de Florestas. UFRBio Noroeste - Núcleo de Apoio Regional de Arinos: **Parecer nº 86/IEF/NAR ARINOS/2024**. 2024. Disponível em: <https://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/consulta-intervencao/uploads/052024/20156_7yynboWo9qGZPQfryCF.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2025.
- JORDÃO, C. O.; MORETTO, E. M. A vulnerabilidade ambiental e o planejamento territorial do cultivo de cana-de-açúcar. **Ambiente e Sociedade**, v. 18, p. 75-92, 2015. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC675V1812015en>
- LAHSEN, M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; DALLA-NORA, E. L. Undervaluing and Overexploiting the Brazilian Cerrado at Our Peril. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, v. 58, n. 6, p. 4-15, 2016. <https://doi.org/10.1080/00139157.2016.1229537>
- MARTINS, A.; DIAS, L. C. Atores e redes na construção de territórios ambientais: o caso da APA da Baleia Franca. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 39-58, 2017.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. **Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure**. Portland, OR: U. S. Department of Agriculture. Forest Service. Pacific Northwest Research Station. 1995. <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>
- MEDEIROS, R. B., SANTOS, L. C. A., BEZERRA, J. F. R., SILVA, Q. D., MELO, S. N. Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Buriticupu, Maranhão – Brasil: o Relevo como Elemento Chave. **Revista Sociedade e Natureza**. Uberlândia, MG, v. 35. 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-66679>

MELO, A. C. A.; MARTINS, P. T. A. Contribuição das áreas de proteção ambiental na conservação do Cerrado. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.242444>

MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Office Excel. 2021**: versão 2502 (build 18.526.20168). Disponível em: < <https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/excel>>. Acesso em: 28 ago. 2024.

MINAS GERAIS. Lei n. 11.901, de 01 de setembro de 1995. **Declara as Áreas de Interesse Ecológico situadas na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros**. Disponível em:< <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/11901/1995/>>. Acesso em: 28 out. 2024.

MOREIRA, F. A.; SALVIO, G. M. M.; PEREIRA, G. Análise do design das Reservas Biológicas federais como indicador para zonas de amortecimento. **GEOgraphia**, v. 26, n. 56, 21 fev. 2024.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C.G.; DA FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p.853–858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>

PAVANIN, E. V.; CHUERUBIM, M. L.; LÁZARO, B. O. Geoprocessamento aplicado ao estudo de vulnerabilidade do solo da bacia hidrográfica do Córrego Guaribas em Uberlândia-MG. **Rede Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 13, n. 2, 2017. <https://doi.org/10.5216/reec.v13i2.42460>

PEREIRA, M. S.; MOSCARDI, M. F. N.; NETO, J. M. M. Diagnóstico da vulnerabilidade ambiental da Floresta Nacional de Palmares, Altos, Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 10, n. 25, p. 581-596, 2023. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2023\)102501](https://doi.org/10.21438/rbgas(2023)102501)

PINHEIRO, C. A. K.; VALE, C. C.; COELHO, A. L. N. Inundação e erosão potencial da APA de Conceição da Barra, Conceição da Barra, Espírito Santo. **Ciência Geográfica**, v. 25, n. 1, p. 81-96, 2021.

PROJETO MAPBIOMAS. **MapBiomas - Coleção 9.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. 2023. Disponível em: <<http://plataforma.mapbiomas.org/map>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 63-74, nov. 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>

SALVIO, G.M.M. **Áreas Naturais Protegidas e Indicadores Socioeconômicos**: O desafio da conservação da natureza. Jundiaí, Paco Editorial, 2017.

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. Brasília, DF: EMPRAPA, 2018. 588p.

SANTOS, P. T.; MARTINS, A. P. Análise da vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (GO) utilizando geotecnologias. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 36, p. 155-170, 2018. <https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.143665>

SCARAMUSSA, L. M.; BORGES, L. A. C.; SANTOS, A. R.; VIEIRA, M. P. L., PAUTZ, C., SCARAMUSSA, M.; SOUZA, R. M. Environmental Vulnerability of Itabira Natural Monument, ES, Brazil. **Revista Árvore**, v. 47, p. e4725, 2023. <https://doi.org/10.1590/1806-908820230000025>

SILVA, E. F; RUIVO, M. L.; LIMA, A. M; SILVA, J. M. P; MEIRELES, R. R. Avaliação da vulnerabilidade ambiental em unidades de conservação da Amazônia Legal Brasileira. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 44, p. e194462-e194462, 2024. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2024.194462>

SILVA, M. V. P; SILVA, B. C. S.; LIMA, I. F. Análise da vulnerabilidade ambiental do município São João da Ponta, Pará: o uso do geoprocessamento na gestão de unidades de conservação. **Cerrados**, v. 18, n. 1, p. 159-188, 2020. <https://doi.org/10.22238/rc2448269220201801159188>

SOUZA, S. O.; VALE, C. C. Vulnerabilidade ambiental da planície costeira de Caravelas (BA) como subsídio ao ordenamento ambiental. **Sociedade e Natureza**, v. 28, p. 147-159, 2016. <https://doi.org/10.1590/1982-451320160110>

STRASSBURG, B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A.E.; OLIVEIRA FILHO, F.J.B.; SCARAMUZZA, C.A.M.; SCARANO, F.R.;

SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 0099, p. 1-3, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>

TAGLIANI, C.R.A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informações. **Anais... SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, Porto Alegre, INPE, v. único, p. 1657 - 1664, 2002.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E.; DIAS, L. C. C.; GONÇALVES, J. C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de São Carlos – SP. **Revista Ra'ega – O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 44, p. 272-288, 2018. <https://doi.org/10.5380/raega.v44i0.50439>

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

VALE, C. C.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; BATALHA, M. L. O. Métricas da paisagem da Área de Proteção Ambiental de Conceição da Barra, litoral norte do Espírito Santo, a partir do levantamento do uso e cobertura da terra para os anos de 1970 e 2012/2014. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 26, n. 2, p. 107-133, 2024. <https://doi.org/10.35701/rcgs.v26.1005>

VELOSO, M. D. M.; BRASIL, M. C. O.; FILHO, R. M.; LEITE, M. E.; FRAZÃO, L. A.; SILVA, J. W. V.; ESPÍRITO-SANTO, M. M. Dinâmica espaço-temporal da cobertura e uso do solo em unidades de conservação no Norte de Minas Gerais, Brasil, entre 1986 e 2015. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 2, p. 1-13, 2022. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v12i2.2032>

Recebido em: 23/04/2025

Aceito para publicação em: 07/05/2026