








Fragilidade ambiental do Parque Estadual do Pau Furado e os impactos das atividades humanas em sua zona de amortecimento

Anna Caroline Costa FANALLI ^{1*}, Jorge Eduardo Ferreira CUNHA ²,
Marco Antônio Delinardo da SILVA ¹, Luciano Cavalcante de Jesus FRANÇA ¹,
João Vitor Meza BRAVO ²

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, MG, Brasil.

² Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

*E-mail: anna.fanalli@ufu.br

Submetido em 19/02/2024; Aceito em 06/05/2024; Publicado em: 13/05/2024.

RESUMO: A análise do estado de fragilidade das Unidades de Conservação (UCs) permite ações de manejo adequadas à proteção da fauna e flora local e regional, assim como planejamento efetivo. Nesse sentido, o objetivo geral deste trabalho foi mapear a fragilidade ambiental do Parque Estadual do Pau Furado (PEPF) em Minas Gerais, a única unidade de conservação no Triângulo Mineiro na categoria Proteção Integral. Metodologicamente, levantou-se um conjunto de variáveis que melhor se adequassem a explicar a condição de fragilidade no contexto local. Para isso, foram selecionadas as seguintes variáveis: tipo de solo, índice de dissecação do relevo, declividade, áreas prioritárias para conservação e o uso e cobertura da terra. Para o processamento dos dados foi utilizado o software Qgis v.3.16.14, de código aberto. 28,24 % da área apresenta fragilidade potencial média e 48,22% fragilidade emergente alta. Existem características da área de estudo que favorecem sua fragilização, tal como a declividade acentuada com presença topo de morro indicado no índice de dissecação do relevo e, quando adicionado o componente antropogênico, existe intensificação na fragilização desse ambiente, sendo necessário manejo adequado e práticas que promovam conservação/preservação dos ambientes naturais.

Palavras-chave: unidades de conservação; sensoriamento remoto; planejamento territorial; serviços ecossistêmicos; manejo de ecossistemas.

Environmental fragility of the Pau Furado State Park and the impacts of human activities in its buffer zone

ABSTRACT: Analysis of the state of fragility of Conservation Units (CUs) allows for appropriate management actions to protect local and regional fauna and flora, as well as effective planning. In this sense, the general objective of this work was to map the environmental fragility of the Pau Furado State Park (PEPF) in Minas Gerais, the only conservation unit in the Triângulo Mineiro in the Integral Protection category. Methodologically, a set of variables was identified that were best suited to explaining the condition of fragility in the local context. For this, the following variables were selected: soil type, relief dissection index, slope, priority areas for conservation and land use and cover. The open-source software Qgis v.3.16.14 was used to process the data. XX% of the area presents medium potential fragility and xx% high emerging fragility. There are characteristics of the study area that favor its weakening, such as the steep slope with the presence of a hilltop indicated in the relief dissection index and, when the anthropogenic component is added, there is an intensification in the weakening of this environment, requiring appropriate management and practices that promote conservation/preservation of natural environments.

Keywords: conservation units; remote sensing; territorial planning; ecosystem services; ecosystem management.

1. INTRODUÇÃO

O impacto antrópico no meio ambiente gera perturbações ocasionando problemas ambientais, que advêm principalmente do desmatamento de áreas nativas (DEFRIES et al., 2010). As desordens ambientais podem resultar em deslizamentos, enchentes, erosões, inundações e assoreamento de rios (MIRANDA et al., 2015). Além de problemas de ordem climática, com a perda de carbono para a atmosfera e, conseqüentemente, o aquecimento global

(ARSHAD et al., 2020), fazendo com que os efeitos das ações antropogênicas sejam motivo de atenção pública (FRANÇA et al., 2019). Para a realização do planejamento do uso e ocupação da terra, tais perturbações devem ser contabilizadas (França et al., 2019), ou ainda, preferencialmente, estimadas previamente à perturbação (SASAKI et al., 2021).

A fragilidade ambiental é uma medida que descreve a susceptibilidade de um ambiente sofrer alterações, conforme

operam os vetores humanos e naturais (RATCLIFFE, 1971). A valoração da fragilidade ambiental permite que o gestor faça o bom uso dos recursos naturais, sem causar danos exaustivos à dinâmica ecossistêmica local/regional e aos próprios recursos naturais (GRECCHI et al., 2014).

A fragilidade ambiental pode ser compreendida através de duas unidades ecodinâmicas principais: a instabilidade/fragilidade potencial e a instabilidade/fragilidade emergente (PERIÇATO; SOUZA, 2019). A fragilidade potencial se refere à tipologia de valoração de fragilidade onde se considera as características naturalmente presentes, como, o tipo de solo, geologia, pedologia, declividade, a inclinação das vertentes (ROSS, 1994). Em contrapartida, a fragilidade emergente refere-se às características naturais do ambiente, em comunhão com o potencial perturbador dos seres humanos, enquanto se apropriam dos recursos naturais (FRANÇA et al., 2019). Nesse sentido, as ações antropogênicas interferem na condição de equilíbrio ecodinâmico, alterando-se a condição da fragilidade ambiental de uma determinada região (GIMENES; FILHO, 2013).

A histórica condição predatória dos recursos naturais no Brasil fez florescer a necessidade de regulamentação do uso dos recursos terrestres, mediante o manejo adequado às diferentes realidades geográficas de cada ecossistema (GRECCHI et al., 2014). No Brasil, importantes áreas naturais e protegidas exercem proteção ambiental são as Unidades de Conservação (UCs). A Lei nº 9.985/2000 regulamenta as UCs no território brasileiro, objetivando a preservação e o uso sustentável de áreas naturais de relevância ambiental, cultural, científica e social (Brasil, 2000). As UCs são áreas naturais que vislumbram proteção ambiental daquele local, e devem ter um plano de manejo específico e adequado à sua realidade. (RIBEIRO et al., 2010).

Apesar do aparato normativo que regulamenta a proteção dessas áreas de preservação, nota-se que, no Brasil, há severa resistência à preservação dessas regiões, especialmente quando há proximidade com ambientes urbanos, como as cidades médias e grandes (CHU et al., 2017). Esse problema é ocasionado, principalmente, pela falta de fiscalização efetiva, devido baixo número de profissionais (COSTA et al., 2009)

Ainda no contexto do Brasil, o bioma Cerrado é o que mais sofre perdas de áreas conservadas, quer seja por atividades agrícolas, quer seja por queimadas ou desmatamento ilegal (KLINK et al., 2005). Importante salientar que o bioma Cerrado contribui com 5% da biodiversidade mundial; todavia, apenas 4% desse bioma encontram-se protegido em UCs (MACHADO et al., 2007). O Parque Estadual do Pau Furado (PEPF) é importante tanto na conservação do Cerrado quanto da Mata Atlântica (IEF, 2011).

Nesse sentido, o objetivo geral do estudo consistiu em mapear a fragilidade ambiental do PEPF, a fim de se analisar as possíveis perturbações ao ambiente natural ocasionados pela componente humana e se essas perturbações ocorrem em áreas naturalmente frágeis ou resilientes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

No contexto do Cerrado mineiro, utilizamos como área de estudo o PEPF. A área de estudo foi delimitada conforme

a Figura 1. O PEPF é uma UC da esfera estadual de proteção integral que permite visitas monitoradas para finalidade relacionada a pesquisas e a educação ambiental, com o intuito de integrar a comunidade do entorno com o meio ambiente. O parque apresenta fitofisionomias de Cerrado e Mata Atlântica, agregando valor de preservação ambiental.

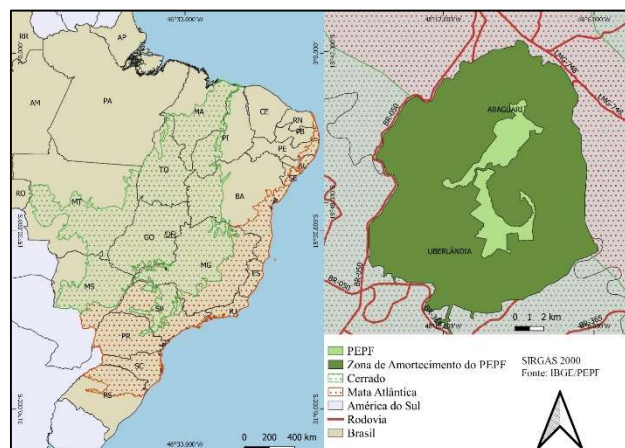


Figura 1. Mapa de localização do Parque Estadual do Pau Furado e suas respectivas fitofisionomias.

Figure 1. Location map of Parque Estadual do Pau Furado and its respective phytophysionomies.

O PEPF encontra-se nas proximidades de um dos grandes centros urbanos brasileiros, a cidade de Uberlândia, Minas Gerais, que contabiliza mais de 700 mil habitantes, segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020). Sua região geográfica possui verão quente e chuvoso combinado de inverno seco, classificado segundo Koppen (1981) como Aw. O parque está situado sob latossolos (Figura 4), com uma variação anual média de chuvas 1.500 e 1.600mm (MENDES, 2001). O PEPF é biodiverso, em sua área foram catalogadas 932 espécies de plantas e animais, incluindo espécies vulneráveis a extinção (IEF, 2011).

2.2. Etapas de execução da pesquisa

Para o presente trabalho foram catalogadas as variáveis para compor o modelo de fragilidade ambiental, na sequência, criou-se e adaptou-se um modelo multicritério para a fragilidade ambiental do PEPF, e, finalmente, analisou-se as regiões frágeis e sua relação com as atividades humanas.

Nesse sentido, a primeira etapa consistiu na catalogação das variáveis que compõem o modelo para o mapeamento da fragilidade ambiental do PEPF.

As variáveis identificadas para o computo da fragilidade ambiental potencial do PEPF foram: tipos de solos, índice de dissecação do relevo, declividade, áreas prioritárias para conservação. Para a fragilidade emergente as variáveis foram: áreas de mineração e uso e ocupação da terra. As variáveis selecionadas, referente à mineração e a área de prioridade para conservação auxiliam no planejamento urbano e territorial. Para cada variável foram determinadas classes variando de muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4) e muito alta (5). Na sequência, apresentamos os resultados segundo a ordem das variáveis mapeadas, para que se organize a discussão.

Uma vez catalogadas as variáveis, foram coletados os dados que representam tais condicionantes. Os dados foram baixados nos formatos vetorial e matricial mediante o uso de

geoserviços WMS (Web Map Service) e WFS (Web Feature Service).

As consultas foram feitas no ano de 2021 no catálogo de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e no catálogo de geoserviços da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE-BR) e no IDE-SISEMA (IDE-SISEMA, 2021), plataforma de dados de interesse público do estado de Minas Gerais. Utilizou-se, ainda o Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM Topodata (Valeriano, 2008) para os dados relativos ao relevo com resolução espacial de 30 metros. Foi utilizado software de livre Qgis para processamento dos dados

Em posse dos dados, os produtos foram processados e organizou-se um conjunto de informações já dispostas à execução da álgebra de mapas para gerar o mapa da fragilidade. Ressalta-se que o conjunto de dados foi homogeneizado quanto ao sistema de referência, de escala e transformado para imagens (formato TIFF) - quando necessário - para realizar as operações algébricas inerentes aos modelos multicritério.

Para a elaboração da tabela de pesos das variáveis de áreas de mineração e dos tipos de solos, foram consultados especialistas com formação e expertise na área de Geografia, Agronomia e Geologia. Os especialistas foram entrevistados, definindo-se os pesos relacionados às variáveis de maneira global, juntamente com obtido pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2018), para a variável solo.

A declividade foi calculada com a utilização MDE, SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e TOPODATA (Valeriano, 2008). Depois de calculada a declividade em ambiente SIG,

suas classes foram reclassificadas conforme os pesos de fragilidade ambiental (Tabela 1). As classes utilizadas para declividades satisfazem as categorias de fragilidade propostas por Ross (1994).

Tabela 1. Esquematização dos pesos calculados para a declividade e a área que cada peso representa no PEPF e sua zona de amortecimento.

Table 1. Schematization of the weights calculated for the slope and the area that each weight represents in the PEPF and its buffer zone

Variável	Categoria	Pesos
Declividade	0-3%	1 - Muito Baixa
	3-8%	2 - Baixa
	8-13%	3 - Média
	13-20%	4 - Alta
	acima de 20%	5- Muito Alta

O mapa de dissecação do relevo foi realizado a partir do entalhamento médio dos vales – amplitude do topo ao fundo de vale e dimensão interfluvial média. Esses dados são morfométricos, onde apresentam soma da dissecação vertical (DV) com a dissecação horizontal (DH), conforme Tabela 2.

Para as variáveis do uso e cobertura da terra, a análise foi realizada por meio de dados provenientes do Mapbiomas coleção 7:1 de 2021, utilizando a classificação, da Tabela 3, ponderada com auxílio de especialistas com formação em Geologia, Agronomia e Geografia.

Área prioritária para conservação (Tabela 4) extraída do IDE-SISEMA está situada na parte superior do PEPF, no município de Araguari – MG.

Tabela 2. Matriz dos pesos de dissecação do relevo.

Table 2. Matrix of relief dissection weights.

(Grau de entalhamento dos vales)	DH		DV		
	Muito Alta (5) >3.750	Alta (4) 1.750 a 3.750	Média (3) 750 a 1.750	Baixa (2) 250 a 750	Muito Baixa (1) <250
Muito Baixa (1) < 20 m	11	12	13	14	15
Baixa (2) 20 a 40 m	21	22	23	24	25
Média (3) 40 a 80 m	31	32	33	34	35
Alta (4) 80 a 160 m	41	42	43	44	45
Muito Alta (5) > 160 m	51	52	53	54	55
Pesos	1 – Muito baixa	2 – Baixa	3 – Média	4 – Alta	5 – Muito Alta

Tabela 3: Classes de pesos referente ao uso e cobertura da terra.

Table 3: Weight classes related to use.

ID	Pesos
Formação Florestal	1
Formação Savânica	2
Silvicultura	3
Formação Campestre	3
Pastagem	4
Cana	4
Mosaico de usos	4
Café	4
Campo Alagado e Área Pantanosa	4
Citrus	4
Outras lavouras perenes	4
Área urbanizada	5
Outras áreas não vegetadas	5
Curso d'água	5
Soja	5
Outras lavouras temporárias	5

A classe de pesos da variável solos foi baseada na classificação de Santos et al., (2018), considerando que

Latossolos são solos profundos, bem drenados, o que confere baixa fragilidade potencial diferente dos cambissolos que apresentam solos mais novos e rasos (Tabela 4). A área prioritária para conservação teve peso 5 de Muita Alta Fragilidade.

Tabela 4. Classes de pesos referente aos solos do PEPF.

Table 4. Weight classes refer to PEPF soils.

Variável	Categoria	Pesos
Solos	Latossolos	1 – Muito Baixa
	Argissolos	3 – Média
	Cambissolos	4 – Alta

Em posse dos dados transformados e dos pesos, a fragilidade ambiental do PEPF foi mapeada. O modelo inferencial multicritério adotado foi o de média ponderada (Tabela 6). A partir da seleção do modelo multicritério e em posse das camadas que descrevem as variáveis importantes ao modelo de fragilidade ambiental, foram estabelecidas as medidas de fragilidade potencial e fragilidade emergente.

Conseqüentemente, foram observadas as regiões cujas fragilidades são potencialmente maiores buscando associação com as atividades humanas próximas (Tabela 5).

Tabela 5. Esquematisação das equações de fragilidade aplicadas ao estudo.

Table 5. Schematization of the fragility equations applied to the study.

Índices	Equações	Id
Fragilidade Potencial	$\frac{C + D + I + S}{4}$	C = Áreas prioritárias para conservação; D = Declividade; I = Índice de dissecação do relevo; S = Solos
Fragilidade Emergente	$\frac{FP + U}{2}$	FP = Fragilidade emergente; U = Uso e ocupação da terra.

A fragilidade potencial foi calculada por meio da soma das variáveis das áreas prioritárias para conservação, declividade, índice de dissecação do relevo e solos divididos por quatro. Mediante o resultado, foi utilizado a ferramenta reclass para transformar os pixels nas categorias proposta de pesos de 1 a 5 do muito baixa fragilidade a muito alta fragilidade, respectivamente.

A fragilidade emergente foi calculada através da soma da fragilidade potencial com o uso e ocupação da terra divididos por dois e utilizada a ferramenta reclass para adequar aos pesos de fragilidade proposto no estudo.

Destaca-se que a metodologia empregada no presente estudo é acessível devido à utilização de software livre e de código aberto e a classificação do Maptiomias, SRTM-Topodata e demais dados disponibilizados pelos órgãos governamentais: todos de forma gratuita. Essa condição aumenta a possibilidade de reprodução deste trabalho.

3. RESULTADOS

O PEPF encontra-se sob solos com boa aptidão agrícola somada a baixa declividade que resulta em uma atratividade para intervenção humana, que estão ocorrendo na sua zona de amortecimento, dentro da plataforma do governo de Minas IDE-SISEMA consta processos “ativos” de mineração (Figura 9) e atividades agrícolas (Figura 6). Observa-se que 29,9% do parque e sua zona de amortecimento se concentra em áreas de 13 a 20% de declividade (Figura 2). O PEPF apresenta um índice de dissecação do relevo alta (Figura 3). A dissecação do relevo é utilizada para mapear situação das paisagens ao longo do tempo, detectar áreas de fragilidade e áreas de risco (MANTOVANI; BUENO, 2021). Quando a dissecação se encontra acentuada, pode-se assumir uma área com vales ou topos estreitos (BERTOLINI; DEODORO, 2018). Ainda, o parque apresenta Cambissolos, Latossolos e Argissolos em seu interior e sua zona de amortecimento conforme Figura 4. Existe área prioritária para conservação dentro do PEPF, (Figura 5).

A fragilidade potencial é o quanto naturalmente o ambiente é frágil e mostra a evidência do ambiente com alta a muito alta fragilidade (Figura 7). A fragilidade emergente contempla além dos fatores naturais, o fator antropogênico sobre os ecossistemas (Figura 8).

Na Tabela 7 é apresentado o cálculo das áreas frágeis referentes à cada categoria de fragilidade, tanto potencial quanto emergente.

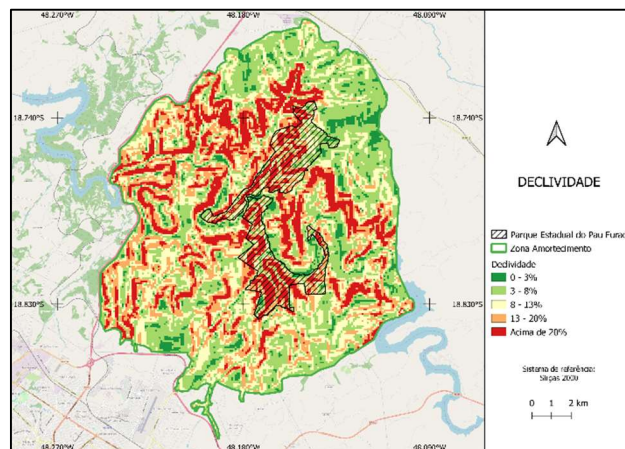


Figura 2. Mapa de declividade do Parque Estadual do Pau Furado. Figure 2. Slope map of Parque Estadual do Pau Furado.

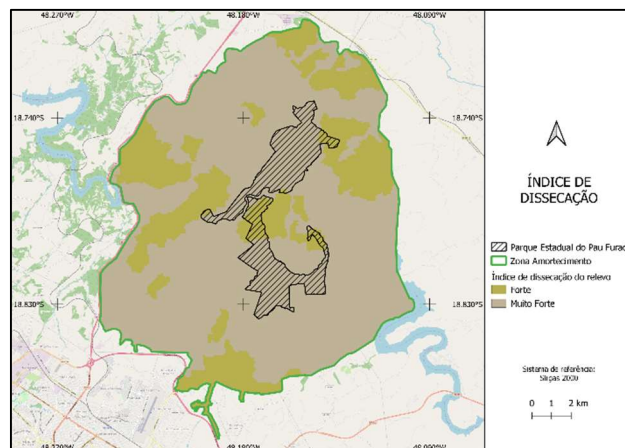


Figura 3. Mapa do índice de dissecação do relevo do Parque Estadual do Pau Furado.

Figure 3. Map of the relief dissection index of Parque Estadual do Pau Furado.

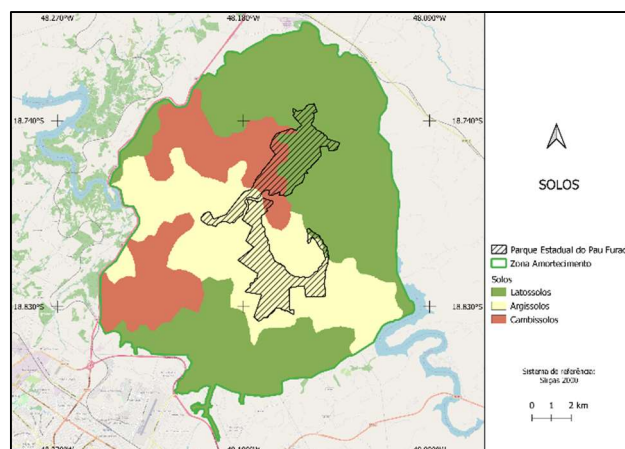


Figura 4. Mapa de solos do Parque Estadual do Pau Furado.

Figure 4. Soil map of the Parque Estadual do Pau Furado.

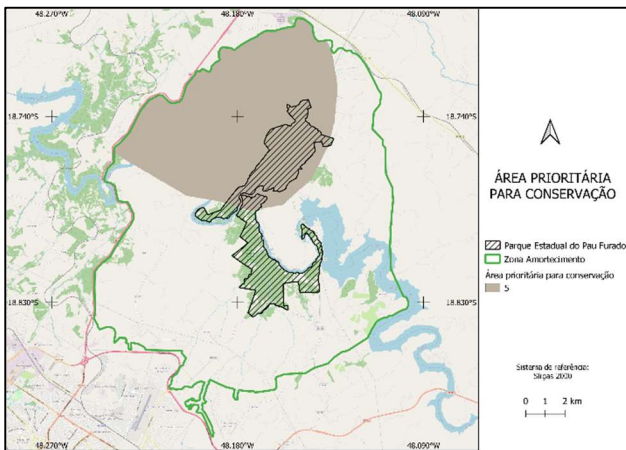


Figura 5. Área prioritária para conservação.
Figure 5. Priority area for conservation.

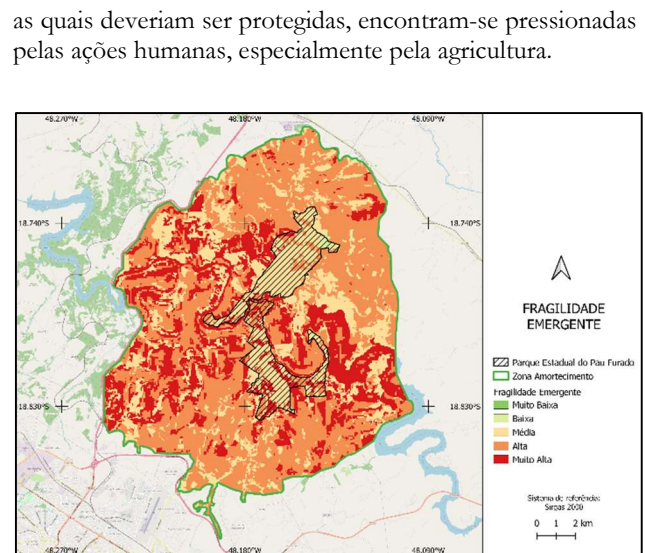


Figura 8. Mapa da fragilidade emergente do Parque Estadual do Pau Furado.

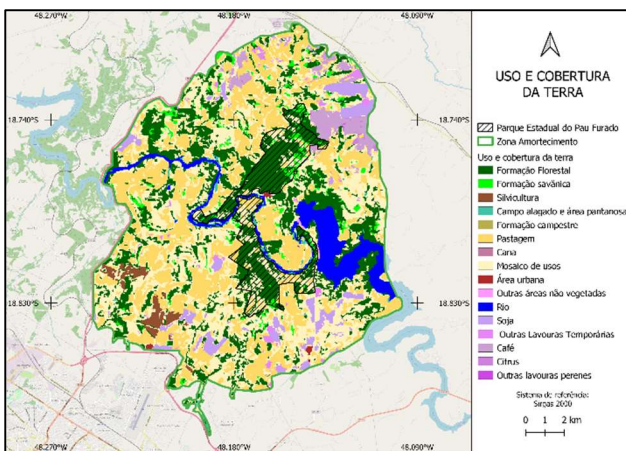


Figura 6. Mapa do uso e cobertura da terra do Parque Estadual do Pau Furado.
Figure 6. Map of land use and coverage of Parque Estadual do Pau Furado.

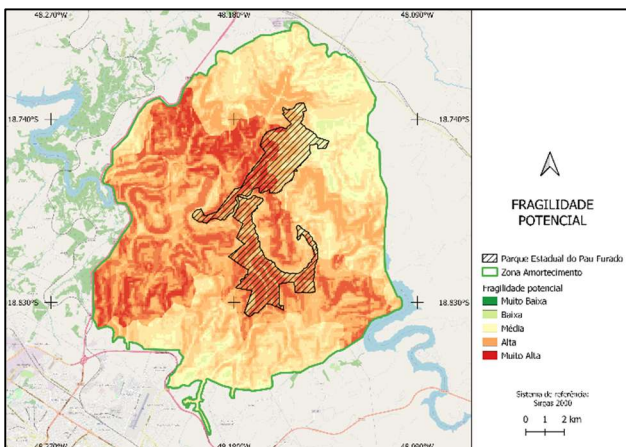


Figura 7. Mapa da fragilidade potencial do Parque Estadual do Pau Furado.
Figure 7. Map of the potential fragility of Parque Estadual do Pau Furado.

4. DISCUSSÃO

No contexto de preservação do bioma Cerrado e de fragmentos de Mata Atlântica, o PEPF presta serviço à conservação ecossistêmicos para a sociedade como regulador do clima, ciclagem de nutrientes, ciclo da água, dentre outros. Entretanto, observa-se que as áreas frágeis em seu entorno,

as quais deveriam ser protegidas, encontram-se pressionadas pelas ações humanas, especialmente pela agricultura.

Figura 8. Mapa da fragilidade emergente do Parque Estadual do Pau Furado.

Tabela 7. Áreas calculadas para as fragilidades potencial e emergente do Parque Estadual do Pau Furado.

Classes	Frag. Potencial	Frag. Emergente
	(%)	(%)
Muito Baixa	0,12	0,33
Baixa	0,05	8,91
Média	28,24	15,27
Alta	57,41	48,22
Muito Alta	14,18	27,27

Especificamente, por suas características naturais - como índice de dissecação do relevo alta, correlacionada a declividade superior a 13% - há favorecimento da fragilização do ambiente, com predisposição natural para surgimento de erosões no solo. Esta predisposição natural torna a região do PEPF uma área intrinsecamente frágil, especialmente quando desprovida de sua cobertura vegetal natural.

Cabe ressaltar que na zona de amortecimento do PEPF, onde diversas atividades antrópicas ocorrem, a preservação da cobertura vegetal se torna crucial para mitigar os impactos adversos, conferindo estabilidade ambiental à região. Entretanto, é uma zona amplamente ocupada por atividades humanas, o que revela, mais uma vez, a pressão humana sobre esta região. Esse problema se estende para a Área Prioritária de Conservação, como se vê nos mapas.

A Área Prioritária para Conservação, região que abrange áreas dentro do parque e na sua zona de amortecimento, têm sido ocupada por atividades humanas impactantes, como o uso para pastagem. É importante destacar que nessa região há espécies vegetais indicadoras de Mata Atlântica e Cerrado que, juntamente com a fauna existente no local (IEF, 2011), deveriam ser mantidas intactas. Com a preservação esperar-se-ia reduzir o impacto de processos erosivos, capturando-se CO² da atmosfera com a vegetação natural e, conseqüentemente, melhorando a qualidade do ar e prestando outros serviços ecossistêmicos como já mencionado.

O PEPF, encontra-se sob uma área de fragilidade potencial alta a muito alta e, quando é adicionado a camada

de uso e cobertura da terra, onde é possível ver a área de mata nativa, evidenciando-se que esta área passa para a categoria de média fragilidade ambiental. Logo constata-se a importância dessa vegetação para a preservação dos ecossistemas naturais da Unidade de Conservação.

Além da pressão exercida pelas atividades agrossilvipastoris, existem processos de mineração dentro da zona de amortecimento do PEPF, constando que estão ativas segundo IDE SISEMA (2021) (Figura 9). Aumentar a exploração mineral nesta região está diretamente em conflito com os objetivos de conservação do parque, ameaçando os ecossistemas e minando os esforços para manter a biodiversidade.

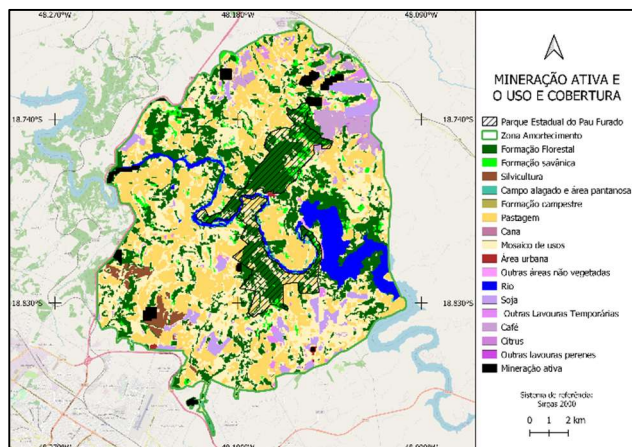


Figura 9. Mapa da mineração ativa do Parque Estadual do Pau Furado.

Figure 9. Map of active mining in Parque Estadual do Pau Furado.

272

5. CONCLUSÕES

Em posse dos resultados concluímos que naturalmente existem características na região do PEPF que o tornam mais frágil. São condições que tornam essa região geográfica mais propícia a sofrer com processos erosivos, por exemplo. Quando se adiciona o componente humano nas análises é possível perceber que as perturbações promovidas pela pastagem, agricultura e até mesmo a mineração, são sobremaneira agressivas a uma região que é naturalmente frágil. Dessa forma, entendemos que há necessidade urgente da revisão do plano de ocupação no entorno do PEPF, para que se evite situações catastróficas como a extinção de espécies ou o completo comprometimento dos recursos naturais disponíveis naquele local.

6. REFERÊNCIAS

ARSHAD, Z.; ROBAINA, M.; SHAHBAZ, M.; VELOSO, A. B. The effects of deforestation and urbanization on sustainable growth in Asian countries. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 9, p. 10065-10086, 2020. doi: 10.1007/s11356-019-07507-7.

BERTOLINI, W. Z.; DEODORO, S. C. Estudo da dissecação do relevo no Alto Rio Piranga (MG). *Revista de Geociências*, v. 37, n. 1, p. 183-192, 2018.

BRASIL. **LEI Nº9.985 DE JULHO DE 2000**. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm#:~:text=LEI%20No%209.985%2C%20DE%2018%20DE%20JULHO%20DE%202000.&text=Regulamenta%20o%20art.,Natureza%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A1ncias. Acessado em: 18 fev. 2024.

CHU, A.; LIN, Y. C.; CHIUEH, P. T.-E. Incorporating the effect of urbanization in measuring climate adaptive capacity. *Land Use Policy*, v. 68, p. 28-38, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.019>

COSTA, N. M. C. da; COSTA, V. C. da; SANTOS, J. P. C. dos S. **Definição e caracterização de áreas de fragilidade ambiental, com base em análise multicritério, em zona de amortecimento de unidades de conservação**. 2009. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Nuevatecnologias/Sig/08.pdf>. Acessado em: 18 fev. 2024.

DEFRIES, R. S.; RUDEL, T.; URIARTE, M.; HANSEN, M. Deforestation Drive by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, v. 3, n. 1, p. 178-181, 2010. <https://doi.org/10.1038/ngeo756>

FRANÇA, L. C.; MUCIDA, D.; MORAIS, M.; CATUZZO, H.; ABEGÃO, J.; PEREIRA, I. Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados por meio de avaliação multicritério. *Nativa*, v. 7, n. 5, p. 589-599, 2019. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7300>

GIMENES, F. B. Q.; AUGUSTO FILHO, O. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). 2013. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2013. <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0326.pdf>

GRECCHI, R. C.; GWYN, Q. H. J.; BÉNIÉ, G. B.; FORMAGGIO, A. R.; FAHL, F. C. Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: A multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. *Applied Geography*, v. 55, p. 300-312, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.09.014>

IBGE_Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia/panorama>. Acessado em: 18 fev. 2024.

IDE-SISEMA. **Infraestrutura de dados espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acessado em: 18 fev. 2024.

IEF_Instituto Estadual de Florestas. **Plano de manejo do Parque Estadual Do Pau Furado**. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1A0YEUiNz4GWRuAKMAe7ozYKC5RSBUmTk/view>. Acessado em: 18 fev. 2024.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KÖPPEN, W. Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, v. 64, p. 193-203, 1918.

MACHADO, M. P.; OLIVEIRA, A. D.; ROSELEN, V. S. Realidades e desafios da criação do parque estadual do pau furado enquanto medida compensatória da criação das usinas capim branco. In: SBGFA Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, XIII. 2007. *Anais...* Viçosa: UFV, 3p.

MANTOVANI, J. R.; BUENO, G. T. Uma proposta metodológica para mapear a dissecação do relevo e aplicá-la no Parque Nacional da Serra da Canastra-MG. *GEOUSP Espaço e Tempo*, v. 25, n. 1, e170745, 2021.

<https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2021.170745>

- MIRANDA, R.; SCARPINELLA, G.; SILVA, R.; MAUAD, F. Water erosion in Brazil and in the world: a brief review. **Modern Environmental Science and Engineering**, v. 1, n. 1, p. 17-26, 2015.
- PERIÇATO, A. J.; SOUZA, M. L. DE. O estudo da fragilidade potencial e emergente na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, Noroeste do Paraná. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, p. 1064-1082, 2019. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n59p1064>
- RATCLIFFE, D. A. Criteria for the selection of nature reserves. **Advancement of Sciences**, v. 27, p. 294-296, 1971.
- RIBEIRO, M.; AURÉLIO, M.; DE FREITAS, V.; CASTILHO DA COSTA, V. O desafio da gestão ambiental de zonas de amortecimento de unidades de conservação. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física/II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. **Anais...** 2010. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010. Disponível em: https://arquivos.proderj.rj.gov.br/inea_imagens/downloads/pesquisas/Ribeiro_etal_2010.pdf. 11p.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>
- SASAKI, N.; YE` M. Y.; ABE, I.; VENKATAPPA, M. (2021). Predicting carbon emissions, emissions reductions, and carbon removal due to deforestation and plantation forests in Southeast. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, e127728, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127728>

Agradecimentos: Agradecemos a CNPQ pela bolsa de iniciação científica, a Universidade Federal de Uberlândia, ao Grupo de pesquisa: Geoinformação, Território e Conservação (GISTeC), assim como todos os colaboradores do artigo.

Contribuição dos autores: A.C.C.F.: conceituação, metodologia, investigação ou coleta de dados, análise estatística, validação, redação (esboço original), tradução; J.E.F.C.: metodologia; M.A.D.S.: metodologia; L.C.D.F.: validação, redação (revisão e edição), tradução; J.V.M.B.: conceituação, aquisição de financiamento, metodologia, administração ou supervisão, validação, redação (esboço original). Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Bolsa proveniente do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Disponibilização de dados: Os dados do estudo são disponibilizados mediante solicitação direta aos autores.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses. As entidades de apoio não tiveram qualquer papel na concepção do estudo; na coleta, análise ou interpretação de dados; na redação do manuscrito ou na decisão de publicação dos resultados.