

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA EXPANSÃO DA EXPLORAÇÃO MINERAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA CONTAGEM-ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE CAFURINGA - DF

Letícia Fontes Borges ¹, Wagner Santos De Almeida ²

¹ Departamento de Engenharia Ambiental/UnB, leticiafontesborges@hotmail.com; ² Departamento de Engenharia Ambiental/UnB, wagnersa_98@yahoo.com

RESUMO

O presente trabalho avalia os impactos ambientais causados pela expansão da exploração mineral na bacia hidrográfica do Córrego da Contagem, inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) de Cafuringa-DF. A metodologia aplicada envolveu a produção de mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1973, 1993, 2007 e 2017, e de um mapa de vulnerabilidade ambiental dos impactos causados por esta mineração para o ano de 2017, obtido por meio da aplicação de análise multicritério baseado na análise hierárquica de processos (AHP) e no método de Ponderação Linear Simples. Os resultados obtidos demonstraram um alto grau de vulnerabilidade ambiental na área no qual há expansão da exploração mineral, sinalizando que as medidas mitigadoras realizadas nas áreas já exploradas pela mineradora não garantem a sustentabilidade ambiental da APA, principalmente na área de expansão futura e já licenciada para essa exploração mineral.

Palavras-chave — Impacto ambiental, vulnerabilidade ambiental, geoprocessamento, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The present study evaluates the environmental impacts caused by the expansion of mineral exploration in the Córrego da Contagem watershed, inserted in the Environmental Protection Area (APA) of Cafuringa-DF. The applied methodology involved the production of land use and land cover maps for the years 1973, 1993, 2007 and 2017 and a map of environmental vulnerability of the impacts caused by this mining for the year 2017 obtained through the application of multicriteria analysis based on the weighted linear combination method followed by hierarchical process analysis (AHP) and map algebra algorithm. The results obtained demonstrated a high degree of environmental vulnerability in the study area in which there is expansion of the mineral exploration, indicating that the mitigation measures carried out in the areas already exploited by the mining company do not guarantee the environmental sustainability of the APA, mainly in the area of future expansion and already licensed for this mineral exploration

Key words — *Environmental impact, environmental vulnerability, geoprocessing, remote sensing.*

1. INTRODUÇÃO

A Região Administrativa de Sobradinho, localizada no Distrito Federal (DF) é uma área na qual existe extração de calcário e argila para produção de cimento. Essa atividade se iniciou na década de 1960 e intensificou-se na década de 1970, quando a fábrica Tocantins S/A iniciou as explorações de minério, e atualmente está expandindo por meio de licenciamento ambiental sua área de exploração. Esse empreendimento está localizado na Área de Proteção Ambiental (APA) de Cafuringa, onde a matéria prima é extraída para fabricar o cimento. Mesmo a APA de Cafuringa sendo uma Unidade de Conservação (UC) sustentável, o que permite o uso controlado em termos de exploração de recursos naturais, a mesma sofre pressões antrópicas derivadas da exploração mineral que causam impactos ambientais como: desaparecimento de córregos de drenagem, desmatamento acentuado, taludes crescentes com elevada possibilidade de deslizamento e aumento de processos erosivos. Diante do histórico das atividades de exploração mineral, é possível avaliar a expansão dessa exploração e as transformações ocorridas no uso e cobertura do solo, bem como dos processos de impactos que essa exploração mineral pode vir a causar. A área de estudo é a área de expansão da exploração mineral da Tocantins S.A, na APA de Cafuringa. O objetivo da pesquisa é executar uma avaliação de impacto ambiental causada pela expansão da exploração mineral e avaliar a vulnerabilidade ambiental em que a área está sujeita.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram imagens do satélite LandSat 1, sensor MSS, resolução de 80 metros, na data de 01/08/1973 [1]; LandSat 5, sensor TM, resolução de 30 metros, na data de 07/08/1993 e 14/08/2007 [1]; LandSat 8, sensor OLI/TIRS, resolução de 30 metros, na data de 25/08/2017 [1]. As imagens LandSat foram utilizadas para elaborar mapas temporais do uso e cobertura do solo referentes aos anos de 1973, 1993, 2007 e 2017 no ArcGis e para classificação temática das imagens, utilizou-se o ENVI. Foram utilizados também produtos cartográficos como mapa de pedologia [2], geologia [2], profundidade do nível d'água [2], textura do solo [2], espessura do solo [2], recarga de aquífero [3], todos

com uma escala de 1:100.000 e um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros [4]. Os demais produtos cartográficos foram utilizados para produzir o mapa de vulnerabilidade ambiental. Para a produção dos mapas de uso e cobertura do solo, utilizou-se o sistema ENVI para classificar as imagens Landsat nas classes temáticas de urbano, cerrado, mata de galeria, mineração e solo exposto urbano. Utilizou-se a classificação supervisionada pela segmentação da imagem em objeto no ENVI, permitindo por treinamento de amostras a realização de uma classificação temática supervisionada. Após a classificação ter sido realizada, as informações foram exportada para arquivo em formato *shapefile* para o sistema ArcGis, transformando o arquivo do formato raster para o formato vetor, com posterior edição das classes temáticas. Em seguida, foi feito o mapa de vulnerabilidade ambiental, no qual utilizou-se as variáveis de uso e cobertura do solo obtida com a classificação da temática da imagem Landsat de 2017, profundidade do nível d'água, textura do solo, recarga de aquífero, espessura do solo, pedologia, geologia, erosão linear e erosão laminar. Para cada variável, foram atribuídas 5 classes de vulnerabilidade, e nesse sentido, adotou-se o padrão de classificação de: 0 a 0,3 = muito baixa, 0,3 a 0,7 = baixa, 0,7 a 1 = média, 1 a 3 = alta e 3 a 6,75 = muito alta. Esses valores foram atribuídos às informações de cada classe dos mapas que seriam utilizados para gerar o mapa de vulnerabilidade por ferramentas do ArcGis. Para atribuir esses valores de vulnerabilidade, recorreu-se a literatura para definir as variáveis de profundidade do nível d'água, textura do solo, espessura do solo, pedologia, geologia. Para a variável de declividade do terreno, utilizou-se a metodologia [5] para determinar os intervalos de declividade. Para variável de uso do solo, o critério utilizado foi a interpretação partir de interpretação visual, baseado na análise temporal do uso e cobertura do solo para os anos de 1973, 1993 e 2007 confeccionados anteriormente. Para variável de recarga de aquífero, foi utilizado as informações fornecidas pela fonte do arquivo [3], no qual possuía um campo de informação que atribua um risco de recarga pelas condições de perda de recarga pela área ocupada, que eram classificados de 1 a 5. Para a variável de erosão linear, utilizou-se os mapas já reclassificados pelas classe de vulnerabilidade de pedologia, geologia e o de declividade do terreno; em seguida, foi realizado o cruzamento matricial entre os mapas pedológicos e o geológicos, que resultou no mapa geopedológico, utilizando a álgebra de mapas presente no *raster calculator* do ArcGis. Assim, a variável de erosão linear foi obtida pelo cruzamento entre mapa geopedológico com o mapa de declividade. Para a variável de erosão laminar, foi necessário calcular todas as variáveis da Equação de Perda de Solo, que é:

$$A = R * K * LS * C * P \quad \text{Equação 1}$$

Onde: A= perda de solo em t ha⁻¹ ano⁻¹; R= fator de erosividade da chuva, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹; K= fator de erosividade do solo, em t h MJ⁻¹ mm⁻¹; LS= fator topográfico, integração do fator L, comprimento de rampa, e o fator S,

declividade, (adimensional); C= fator de uso e manejo do solo (adimensional); e, P=fator de práticas conservacionistas (adimensional). O fator R, utilizou-se dados de duas estações pluviométricas (Estação Contagem e Estação Contagem Rua do Mato), com 44 anos de medição de chuva ao total. Para o fator K, utilizou-se o mapa pedológico para atribuir os pesos conforme literatura [6] e [7]. Para o fator C e P utilizou-se o mapa de uso e cobertura do solo (2017) e bibliografia [5], [8]. Para o fator LS, utilizou-se a metodologia [9] que utiliza as equações da Tabela 1 para encontrar as variáveis.

Tabela 1. Equações utilizadas para encontrar o fator LS

$L = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m$ Equação 2	$F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3 \sin \beta^{0,8} + 0,56}$ Equação 4
$m = \frac{F}{(1+F)}$ Equação 3	$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m + D^{m+2} * (22,13)^m}$ Equação 5

Em que L(i,j) = fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i,j); A_(i,j) = área de contribuição de uma célula com coordenadas(i,j) (m²); D = tamanho da grade de área de células (m); x(i,j)= valor da direção do fluxo; e, m: coeficiente dependente da declividade. Adotou-se

$$S_m = 10,8 \text{ sen } \theta + 0,03 \quad (S > 9\%) \quad \text{Equação 6}$$

Sendo S a inclinação do declive calculada, β = o quociente entre a erosão em sulcos e entre sulcos e θ = ângulo em graus da encosta. Com todas as variáveis calculadas, aplicou-se o *raster calculator* no ArcGis para encontrar o o mapa de perda de solo resultante da Equação 1. Por fim, após todas as variáveis classificadas de acordo com suas vulnerabilidades, aplicou-se o método AHP para auxiliar na tomada de decisão, a partir de pesos atribuídos ao grau de importância de cada mapa pelas suas características, entre elas a escala cartográfica [10]. Sendo assim, para cada mapa, foi atribuído um valor pela comparação pareada de dois tipos de mapas, nos quais, ao final foi gerada uma matriz, em que se atribuiu um peso para cada fator representado em seu respectivo mapa temático. Por fim, esses pesos resultantes da análise AHP foram usados no método de Ponderação Linear Simples aplicados no ArcGis pelo *raster calculator*, que calculou uma média ponderada dos mapas com seus respectivos pesos. Esse método de Ponderação Linear Simples são padronizados em uma única escala numérica, em que se considera um conjunto de atributos com valores inferiores compensado com outro conjunto de atributos com valores mais altos [5]. Concluiu-se o mapa de vulnerabilidade ambiental pela álgebra de mapas no ArcGis, pela ferramenta de *raster calculator*, demonstrado na Equação 7.

$$\text{Vul.} = Us * 0,402 + Pn * 0,243 + Ra * 124 + Elm * 0,104 + Eln * 0,052 + Tx * 0,039 + Es * 0,036 \quad \text{Equação 7}$$

Sendo que Es é espessura do solo, Tx é textura do solo, Eln é erosão linear, Elm é erosão laminar, Ra é recarga de aquífero, Pn é prof. nível de água, Us é uso do solo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pesos atribuídos a partir da classificação temática dos valores de vulnerabilidade foram: a) Uso e cobertura do solo: campo = 2; cerrado = 3; mata de galeria = 2; mineração = 5; solo exposto = 4 e urbano = 5, representado na Figura 1; b) Profundidade do nível d'água: 1m a 3m = 5; 3m a 10m = 4; 10 a 30 m = 3 e >30m = 5. Textura do solo: Argiloso-Pedregoso = 5; Argiloso – Siltoso = 4; e Arenosa = 1; c) Recarga de aquífero: variou de 1 a 4, adaptado de [5], relacionado a área ocupada dentro da área de estudo. d) Espessura do solo: 0m a 2m = 2; 2m a 5m = 4; 5m a 10m = 3; e) Pedologia: Cambissolo Haplico = 5; Nitossolo Vermelho = 5; Latossolo vermelho amarelo = 3; Latossolo vermelho = 2; Argissolo vermelho eutrofico + chernossolo Haplico = 5; Espodossolo ferriluvico = 2; Plintossolo petrico = 1; f) Geologia: Psamo-Pelito Carbonatada = 4; Metarritmito Arenoso = 1; Grupo Bambuí Base = 5; Quartzitos Médios = 2; Calcifilitos = 1; Filitos = 5; Metarritmito Argiloso = 3; h) Declividade: os valores adaptados de [5] foram com declividade (%) de 0 – 6 = 1; 6 – 12 = 2; 12 – 20 = 3; 20 – 30 = 4; >30 = 5. Todas as variáveis temáticas estão ilustradas na Figura 2. Para erosão linear final o resultado está apresentado na Figura 3. Para erosão laminar, obtiveram-se os valores de variáveis da seguinte forma: os atributos para o fator K foram: Cambissolo Haplico = 0,0237; Nitossolo Vermelho = 0,0197; Latossolo vermelho amarelo = 0,0171; Latossolo vermelho = 0,0263; Argissolo vermelho eutrofico + chernossolo Haplico = 0,0197; Espodossolo ferriluvico = 0,059 e Plintossolo petrico = 0,019. Para o fator C considerou-se: Campo = 0,04; Cerrado = 0,04; Mata de Galeria = 0,04; Mineração = 0,25; Solo exposto = 0,2 e Urbano = 0. Para o fator P, considerou-se o valor 1 para todas as classes de uso do solo, pois foi considerado que não haviam práticas conservacionistas, uma vez que a área não possui atividade agrícola. Para o fator LS, calculou-se as variáveis pelas equações de 2 a 5 e adotou-se valor de β com $S > 9\%$ e $D = 30$ para a Equação 6. Para o fator R, encontrou-se o valor final de 6862,3. Para erosão laminar final, observou-se que perda de solo variou de 0 até 45 t ha⁻¹ ano⁻¹. Vale ressaltar que os espaços vazios apresentados no mapa final de erosão laminar são áreas correspondentes as várzeas, pois no início do processamento essas áreas foram desconsideradas, uma vez que são áreas sujeitas à deposição de sedimentos [11] e, portanto, foram excluídas da estimativa de perda do solo para que não influenciasse no resultado final. Os resultados de todos os processamentos das variáveis de erosão laminar e mapa final estão apresentados na Figura 4. Por fim, para o mapa de vulnerabilidade final, foram obtidos os valores pareados pelo método AHP, representados na Tabela 2.

Tabela 2. Matriz de comparação pareada.

Atributo	Es	Tx	Eln	Elm	Ra	Pn	Us
Es	1	1	0,5	0,25	0,333	0,2	0,125
Tx	1	1	0,5	0,2	0,5	0,2	0,14
Eln	2	2	1	1/3	0,33	0,14	0,14
Elm	4	5	3	1	0,25	0,17	0,2
Ra	3	2	3	4	1	0,33	0,25
Pn	5	5	7	6	3	1	0,25
Us	8	7	7	5	4	4	1
Σ	24	23	22	16,78	9,42	6,04	2,11

Os pesos finais pelo método AHP foram: Es = 0,036; Tx = 0,039; Eln = 0,052; Elm = 0,104; Ra = 0,124; Pn = 0,243; Us = 0,402. Logo, os valores encontrados com os pesos foram: $\lambda = 5,186$, IC = 0,047, RC = 0,034 e IR = 1,350. A razão de consistência (RC) foi menor que 0,1, confirmando que os julgamentos da matriz foram consistentes e que os resultados são seguros. Com relação aos valores obtidos, observa-se que o uso do solo, a profundidade do nível de água e a recarga de aquífero foram os parâmetros mais determinantes para geração do mapa de vulnerabilidade ambiental, pois tiveram maiores pesos. Os maiores valores de vulnerabilidade são aqueles que possuem urbanização, com elevada declividade do terreno e com presença de exploração mineral. O mapa da Figura 5 apresenta classes de baixa vulnerabilidade nas áreas mais planas e com pouca ou nenhuma interferência antrópica. Em áreas de cerrado, mata de galeria, solo exposto e campo, as classes de vulnerabilidade variam bastante, conforme variáveis usadas para análise, dependendo do peso atribuído aquele local. Foi detalhado na Figura 5 a área de exploração mineral que está em exploração, no qual a parte mais a direita é o começo na nova área de exploração e à esquerda as áreas nos quais serão futuramente exploradas. Esse foco na área de mineração evidência que a área que ainda não foi explorada/não possui interferência antrópica, possui baixa vulnerabilidade ambiental, enquanto as áreas exploradas já demonstram índices de alta vulnerabilidade.

4. CONCLUSÕES

Os resultados das análises foram satisfatórias pela utilização do SIG, no qual foi utilizado na maioria dos processamentos das informações. Os softwares de geoprocessamento possibilitaram a manipulação das equações de forma a minimizar os erros durante as etapas de processamento. A ferramenta multicritério (AHP) possibilitou avaliar e comparar quantitativamente e qualitativamente os elementos avaliados, no qual os pesos atribuídos pelo método proporcionaram a interpretação do cenário para uma tomada de decisão coerente. Pelo método de Ponderação Linear Simples, foi possível atribuir os pesos de acordo com sua importância, auxiliou para que o objetivo do trabalho fosse alcançado. Concluiu-se, pelos resultados obtidos, que os maiores graus de vulnerabilidade ambiental estão nas áreas onde ocorre a exploração mineral para fabricação de cimento. As áreas onde não houve exploração ou interferências antrópicas possuem baixo grau de vulnerabilidade. As

consequências dos impactos não são pontuais, afetando áreas diretas e indiretas do ambiente, e causam uma desconectividade em todo ecossistema. O ecossistema em questão onde estão as áreas mais vulneráveis se encontram dentro da Unidade de Conservação, inserida na APA de Cafuringa. Por mais que seja necessário a exploração para fabricação de cimento, a sustentabilidade ambiental da APA de Cafuringa é comprometida pelos impactos causados e afetará o usufruto das gerações futuras caso não haja um plano de recuperação de degradação eficiente na área explorada. Mesmo que o empreendimento esteja buscando formas para minimizar os danos causados pela mineração, é importante que os órgãos ambientais competentes acompanhem a evolução da exploração da área em questão, para certificar que as medidas cabíveis de recuperação estão sendo realizadas de forma eficaz e assim, garantir que a área possa ser recuperada após a exploração.

5. REFERÊNCIAS

[1] INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: outubro de 2017.

[2] Aguiar, R. L. Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Departamento de Geotecnia, São Carlos. 1997.

[3] GDF. In: ZEE-DF - Zoneamento ecológico e econômico do Distrito Federal. Subproduto 3.1 - Relatório do Meio Físico e Biótico. Brasília, 2014.

[4] USGS, *United States Geological Survey*. Disponível em: < <https://www.usgs.gov/>>. Acesso em : outubro de 2017.

[5] Almeida, W. S. ; Diniz, M. S. ; Silva, L. S. ; Camapum de Carvalho, J. ; Silva Junior, E. E. A. ; Souza, N. M. ; Farias, R. J. C. Vulnerabilidade e modelagem ambiental em bacias hidrográficas. In: Maurício Martines Sales, José Camapum de Carvalho, Márcia Maria dos Anjos Mascarenha, Marta Pereira da Luz, Newton Moreira de Souza, Renato Resende Angelim. (Org.). Erosão em bordas de reservatórios. 1ed.Goiania: Universidade Federal de Goiás, v. 3, p. 287-322. 2017.

[6] Gurgel, R. S., De Carvalho Júnior, O. A., Gomes, R. A. T., Guimarães, R. F., Câmara, J. F. A., Sobrinho, D. A., ... & Dos Santos Braga, A. R. Identificação das áreas vulneráveis à erosão a partir do emprego da eups—equação universal de perdas de solos no município de riachão das Neves—ba. *Geografia ensino & pesquisa*, 15(3), 93-112. 2011.

[7] De Sousa Moraes, R. C., & Sales, M. C. L. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica/ Caderno de Geografia, 27(1), 84-105. 2007.

[8] Cavalcante da Silva, V. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 34(3). 2004.

[9] Velásquez, S. Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE). Coronado, Costa Rica: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. 2008.

[10] Simoni, B. S. D. Avaliação do desempenho da recuperação de áreas degradadas pela mineração utilizando análise multicritério- estudo de caso da mina córrego do sítio. 2017.

[11] Olivetti, D. Modelagem temporal e espacial da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Caçús, Alfenas, MG.2014.

6. ILUSTRAÇÕES, GRÁFICOS E FOTOGRAFIAS

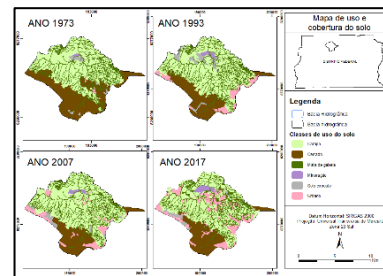


Figura 1. Uso e cobertura do solo dos anos estudados.

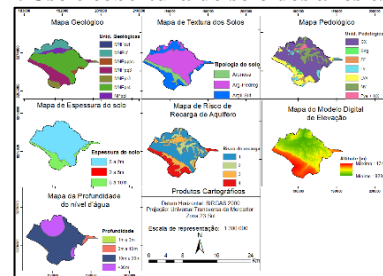


Figura 2. Mapas temáticos.

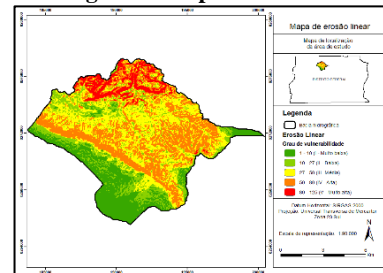


Figura 3. Mapa de erosão linear.

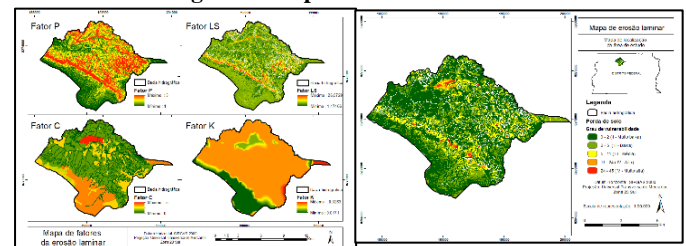


Figura 4. Variáveis do fator LS e mapa de erosão laminar final.

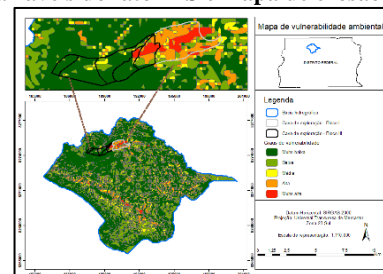


Figura 5. Mapa final de vulnerabilidade ambiental