

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DA PILHA DE DISPOSIÇÃO DE ESTÉRIL (PDE) CONVAP, COMPLEXO MINERADOR DE ITABIRA (MG)

ESTIMATE OF SEDIMENT PRODUCTION FROM THE STERILE PILE (PDE) CONVAP, ITABIRA MINING COMPLEX (MG)

Hermando BRITO¹, Gustavo Ferreira FANTINATTI¹, Rayssa Magdyelli Nogueira da SILVA¹, Rodney SILVA¹, Gerson Luiz Dias da ROCHA JÚNIOR¹, Quintiliano GUERRA¹, Juní Silveira CORDEIRO²

¹Vale S.A., Complexo Minerador de Itabira. Serra do Esmeril, s/n. Zona Rural de Itabira – MG. E-mails: hermando.brito@vale.com; gustavo.fantinatti@vale.com; rayssa.silva1@vale.com; rodney.silva@vale.com; gerson.rocha@vale.com; quintiliano.guerra@vale.com

²Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte - MG. E-mail: juni.scordeiro@gmail.com

Introdução
Metodologia
Localização da área de estudo
Materiais e métodos
Resultados e discussão
Fator erosividade
Fator topográfico
Fator erodibilidade
Fator de uso e cobertura do solo
Taxa de erosão
Considerações finais
Referências

RESUMO - A gestão inadequada na construção e/ou operação de uma pilha de disposição de estéril (PDE) pode resultar em impactos ambientais negativos relacionados, principalmente, à produção de sedimentos. Uma vez que essas estruturas são necessárias à atividade minerária, este artigo buscou avaliar a estimativa de produção de sedimentos da PDE Convap, localizada no Complexo Minerador de Itabira (MG) por meio da aplicação da Equação Universal de Perda de Solos. Considerando os dados da estação pluviométrica Cauê obtidos entre os anos de 1987 e 2020, observou-se uma pluviometria média anual de 1.627,98 mm, resultando em uma erosividade anual de 12.896,34 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹. Quanto ao fator topográfico, os valores obtidos variaram entre 0 e 26,4, com os menores sendo verificados na região do reservatório de CEMIG I. Dados provenientes de furos de sondagem em uma PDE vizinha à Convap indicam uma erodibilidade média de 0,02679 t.MJ⁻¹.h.mm⁻¹. Os principais usos do solo na área analisada correspondem a pastagem degradada (12,2%), corpos hídricos (12,9%), eucaliptos e matas (27,0%) e solo exposto (42,6%). Notou-se que a taxa de erosão da PDE Convap corresponde a 273.871,5 t.ano⁻¹, com média de 1.267,9 t.ha⁻¹.ano⁻¹, sendo compatível com o Plano de Dragagem da Barragem CEMIG I, localizada a jusante desta estrutura.

Palavras-chave: Erosão. Equação Universal de Perda de Solos. Mineração.

ABSTRACT - Improper management in the construction and/or operation of a sterile pile (PDE) can result in negative environmental impacts mainly related to the production of sediment. Since these structures are necessary for the mining activity, this article sought to evaluate the sediment production estimate of the PDE Convap, located in the Minerador Complex of Itabira (MG) through the application of the Universal Soil Loss Equation. Considering the data from the Cauê rainfall station obtained between 1987 and 2020, an average annual rainfall of 1,627.98 mm was observed, resulting in an annual erosivity of 12,896.34 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹. As for the topographic factor, the values obtained ranged between 0 and 26.4, with the smallest being verified in the region of the CEMIG I reservoir. Data from drilling holes in a PDE neighboring Convap indicate an average erodibility of 0.02679 t.MJ⁻¹.h.mm⁻¹. The mainland uses in the analyzed area correspond to degraded pasture (12.2%), water bodies (12.9%), eucalyptus and forests (27.0%) and exposed soil (42.6%). It was noted that the erosion rate of the PDE Convap corresponds to 273,871.5 t.year⁻¹, with an average of 1,267.9 t.ha⁻¹.year⁻¹, being compatible with the Dredging Plan for the CEMIG I Dam, located downstream of this structure.

Keywords: Erosion. Universal Soil Loss Equation. Mining.

INTRODUÇÃO

As pilhas de disposição de estéril (PDEs) correspondem a estruturas geotécnicas formadas pela disposição de agregados naturais constituídos por um ou mais minerais, sem valor econômico, que são retirados para permitir a exploração do minério (Robertson et al., 1985).

Se em um passado recente o projeto e a cons-

trução dessas estruturas recebiam pouca atenção (McCarter, 1990), atualmente as PDEs devem atender às premissas básicas de projeto estabelecidas pela Norma Brasileira (NBR) 13029 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2017), buscando a garantia de segurança e de desempenho geotécnico, e assegurando

condições adequadas para a sua operação ao longo de toda a sua vida útil, até a fase final de descomissionamento.

Por consequência, a construção dessas estruturas deve ser baseada em análises geotécnicas que incorporem as propriedades intrínsecas dos materiais depositados, a morfologia do local de deposição, os índices pluviométricos, as condições de drenagem, o ângulo de repouso dos materiais, dentre outros parâmetros pertinentes.

Além disso, uma PDE deve atender ao volume requerido, contemplando acessos e drenagens, estas últimas com a função de fornecer as condições favoráveis à retenção de partículas em suspensão, visando reduzir os processos erosivos e evitar assoreamento dos cursos hídricos e, consequentemente, transtornos à comunidade (Curi, 2014). Nota-se, assim, que a gestão inadequada na construção e/ou operação de uma PDE pode resultar em impactos ambientais negativos relacionados, principalmente, à produção de sedimentos.

A cidade de Itabira (MG), distante cerca de 104 km de Belo Horizonte, é conhecida como “Cidade do Ferro”, dada a exploração de minério de ferro desde o ano de 1942 (Andrade, 2012). O Complexo Minerador de Itabira é formado por um conjunto de cavas de mineração a céu aberto que abrangem as minas de Conceição, Cauê e do Meio (formada pelas minas Dois Córregos, Esmeril, Onça, Periquito e Chacrinha).

Ainda integram o Complexo Minerador de Itabira quase duas dezenas de pilhas de estéril, barragens de contenção de rejeitos (Itabiruçu, Rio do Peixe e Pontal), além de outras estruturas que visam a retenção de sedimentos provenientes das cavas e das pilhas de estéril, tais como Borrachudo, Jirau, Piabas, CEMIG I e CEMIG II.

Assim, este trabalho visa estimar a taxa de erosão da PDE Convap, localizada nas proximidades da Cava Cauê, e, consequentemente, a capacidade da Barragem CEMIG I para recebimento destes sedimentos.

METODOLOGIA

Localização da Área de Estudo

A PDE Convap está situada a nordeste do “pit” da Mina Cauê, a montante das barragens CEMIG I e CEMIG II (Figura 1). Esta estrutura começou a ser implementada no início da década de 1950, para

receber os estéreis procedentes da Cava Cauê e da Mina do Chacrinha, compostos, em sua maioria, por xistos associados ao Grupo Nova Lima e quartzitos e filitos pertencentes ao Grupo Piracicaba (Petronilho, 2010).

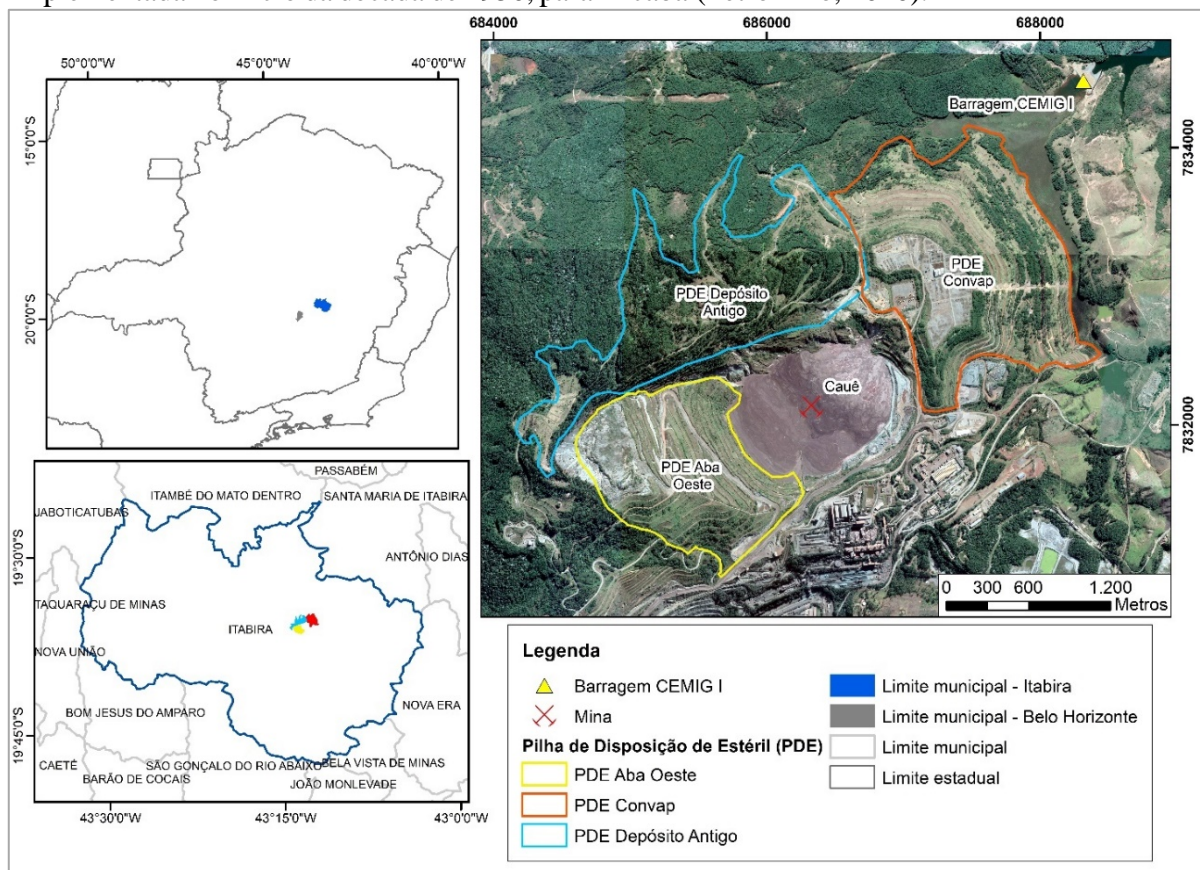


Figura 1 – Visão geral da localização da PDE Convap, município de Itabira (MG). Fonte: Modificado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010); Google Earth, 2021.

O estéril foi disposto pelo método de ponta de aterro até a década de 1980, sem a realização de qualquer tipo de limpeza e/ou tratamento da fundação para a implantação da pilha, tais como a remoção da vegetação e de solos de baixa resistência. Além disso, não foi implantado sistema de drenagem interna e/ou superficial (Petronilho, 2010).

No início da década de 1990 a pilha começou a ser executada pelo método ascendente por meio do contrapilhamento do material já disposto. Para essa segunda etapa de construção da pilha os terrenos da fundação foram preparados de forma adequada e foram implantados os sistemas de drenagem interna e superficial, além de proteção vegetal (Petronilho, 2010).

Ainda de acordo com Petronilho (2010), a PDE Convap possui uma altura de cerca de 180 m, sendo caracterizada por bancos com cerca de 10 m de altura, entremeados por bermas de aproximadamente 12 m de largura e talude final com inclinação média de 14°.

As PDE Depósito Antigo, circunvizinha à PDE Convap, foi a primeira ser implantada no Complexo Minerador de Itabira no início da década de 1950, sendo encerrada de forma definitiva no ano de 1994. Essa estrutura recebeu estéril proveniente da Mina Cauê, constituído por itabiritos de baixo teor e xistos (Petronilho, 2010).

Já a PDE Aba Oeste, ainda em atividade, foi construída nos anos 2000, visando a disposição de estéril (quartzitos, xistos, itabiritos pobres e filitos) procedente da Mina Cauê e das Minas dos Meio.

Materiais e Métodos

A Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation* - USLE) corresponde a um dos modelos de erosão mais utilizados (Pruski, 2009) para a estimativa da erosão entressulcos e no sulco a partir de fatores que representam o solo, o clima, a topografia, o uso e o manejo do solo (Nearing et al., 1990).

A perda média anual de solo pode ser estimada por meio da equação 1:

$$PS = R K LS C P \quad (1)$$

Sendo que:

PS = perda de solo média anual, t.ha⁻¹.ano⁻¹;

R = fator de erosividade da chuva, MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹;

K = fator de erodibilidade do solo, t.ha⁻¹.(MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹);

L = fator de comprimento da encosta, adimensional;

S = fator de declividade da encosta, adimensional;

C = fator de uso e manejo do solo, adimensional;

P = fator de práticas conservacionistas, adimensional.

Apesar de não corresponder a um modelo estritamente baseado em princípios hidráulicos e na teoria da erosão do solo, a USLE se mostra vantajosa em relação aos modelos sofisticados pela sua simplicidade, facilidade de utilização e por não exigir numerosos parâmetros de entrada ou conjuntos de dados extensos para a previsão da erosão (Blanco & Lal, 2008).

Uma vez que a determinação direta da erosão em escala regional é inviável em função de limitações metodológicas e financeiras, de acordo com Panagos et al. (2015a), a aplicação de modelos preditivos da erosão, associados a um Sistema de Informações Geográficas (SIG), consiste em uma intervenção eficiente no controle da erosão.

Nesta pesquisa, para a obtenção dos parâmetros necessários à estimativa da erosão empregando a USLE, foi delimitada, inicialmente, utilizando o *software* ArcGIS 10.5, a bacia hidrográfica correspondente a um exutório localizado na Barragem CEMIG I, caracterizada por área de 11,2 km².

O modelo digital de elevação disponibilizado pela Agência Nacional de Águas - ANA (2020), referente à Bacia Hidrográfica do Rio Doce (resolução de 10 m), foi processado nos *softwares* ArcGIS 10.5 e LS-Tool (Zhang et al., 2013) para obtenção do fator topográfico (fator LS) por meio do algoritmo de direção de fluxo múltiplo.

O *software* LS-TOOL produz segmentos na encosta para a identificação das zonas de erosão e deposição do solo, áreas de fluxo de convergência e redes de canais. O LS-TOOL aplica diferentes algoritmos para obtenção da área de contribuição da unidade como, por exemplo, direção de fluxo único (*single-flow direction* - SFD) e direção de fluxo múltiplo (*multiple-flow direction* - MFD).

De modo geral, os algoritmos de SFD transferem toda a matéria da célula de origem para uma única célula caracterizada por menor declividade, permitindo apenas o escoamento paralelo e convergente, enquanto os algoritmos de MFD podem acomodar fluxos divergentes e de convergência (Desmet & Govers, 1996).

Os dados de precipitação da estação pluviométrica Cauê (código 1943071), com período de amostragem entre 1987 e 2020, foram utilizados para estimar a precipitação média anual e determinar o fator referente à erosividade (fator R). Para isso foi utilizada a equação 2 desenvolvida por Oliveira (2006) para as cidades

de Ferros e Guanhões (MG), localidades com equações disponíveis mais próximas da área de estudo:

$$EI_m = 137,09(Rc)^{0,7717} \quad (2)$$

Em que EI_m corresponde à média mensal do índice de erosão em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$, enquanto Rc representa o coeficiente de chuva, também conhecido como índice de Fournier (Renard & Freimund, 1994), que é determinado a partir do registro dos totais diários das precipitações (equação 3):

$$Rc = \frac{p^2}{P} \quad (3)$$

Em que:

Rc = coeficiente de chuva (mm);

p = precipitação média mensal (mm);

P = precipitação média anual (mm).

A erodibilidade (fator K) é uma função da textura do solo, do conteúdo de matéria orgânica e da sua permeabilidade, fazendo com que alguns tipos de solo sejam naturalmente mais propensos à erosão do solo.

Dessa forma, o mapa de solos que contempla a área analisada, elaborado pela Universidade Federal de Viçosa – UFV (2010), foi utilizado para a identificação das unidades pedológicas e

posterior determinação do fator K por meio de pesquisa bibliográfica.

O fator K do estéril foi obtido a partir de informações granulométricas de dois furos de sondagens (PI-B2-D e PI-B3-D) realizados na PDE Depósito Antigo e da aproximação algébrica proposta por Wischmeier & Smith (1978) e Renard et al. (1997).

Essa aproximação algébrica considera cinco características diferentes do solo (conteúdo de matéria orgânica, permeabilidade, textura, estrutura e fragmentos grossos), representadas na equação 4:

$$K = \frac{[2,1 \times 10^{-4}(12 - OM) \times M_p^{1,14} + 3,25 \times (s' - 2) + 2,5 \times (p - 3)]}{759,4} \quad (4)$$

Em que:

K = erodibilidade ($t.MJ^{-1}.hmm^{-1}$);

OM = conteúdo de matéria orgânica (%);

s' = estrutura do solo;

p = classe de permeabilidade

Os parâmetros “ s' ” e “ p ” descrevem a estrutura e a permeabilidade do solo, podendo ser observados nas tabelas 1 e 2; e M_p é o parâmetro do tamanho de partícula, que pode ser determinado por meio da equação 5 (Blanco & Lal, 2008):

$$M_p = (\% \text{ silte} + \% \text{ de areia muito fina}) \times (100 - \% \text{ argila}) \quad (5)$$

Tabela 1 - Valores de s' atribuídos aos perfis de solo de acordo com à sua estrutura.

Classe de estrutura do solo	Valores de classe da estrutura do solo (s')
Granular muito fina	1
Granular fina	2
Granular média ou grande	3
Bloco ou maciça	4

Fonte: Wischmeier e Smith (1978).

Tabela 2 - Valores de p atribuídos aos perfis de solo de acordo com suas características de drenagem.

Classe textural ¹	Classe de permeabilidade ²	Valores de permeabilidade (p)
Arenosa	Rápida	1
Areia-franca e franco arenosa	Moderada a rápida	2
Franca, franco-siltosa e siltosa	Moderada	3
Franco-argilo-arenosa e franco-argilosa	Lenta a moderada	4
Franco-argilo-siltosa e argilo-arenosa	Lenta	5
Muito argilosa, argilosa e argilo-siltosa	Muito lenta	6

Fonte: ¹U. S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service - USDA (1983); ²Wischmeier & Smith (1978).

O fator de cobertura vegetal (Fator C) pode ser considerado o elemento mais importante no fenômeno erosivo, uma vez que representa as condições que podem ser mais facilmente gerenciadas visando a redução da erosão (McCool et al., 1995). Por outro lado, é também o fator mais complexo de ser determinado, uma vez que

envolve a interação de diferentes variáveis, como os fatores R e K , culturas, sistemas de cultivo e tipos de preparo e manejo para cada solo (Bertol et al., 2001, 2002).

Neste trabalho o fator C foi determinado por meio de interpretação visual de imagens de satélites obtidas no Google Earth Pro, referentes ao ano de

2019, que possibilitou a definição manual dos usos do solo na área estudada. Os valores do fator C associados às diferentes formas de uso do solo foram definidos a partir da literatura.

O fator de prática conservacionista (fator P) é responsável por práticas de controle que reduzem o potencial de erosão do escoamento superficial uma vez que influencia nos padrões de drenagem, concentração do escoamento, sua velocidade e forças hidráulicas exercidas pelo escoamento na superfície do solo (Renard et al., 1991). Quanto menor o valor do fator P, melhor é a prática para

controlar a erosão do solo (Panagos et al., 2015b).

Dentre as práticas conservacionistas mais comumente utilizadas em culturas anuais podem ser citados o terraceamento, plantio em faixas de contorno, plantio em contorno e alternância de capinas (Bertoni & Lombardi Neto, 2014). Os valores referentes a esse fator podem ser definidos a partir da literatura (e. g. De Maria & Lombardi Neto, 1997; Brady & Weil, 2013; Bertoni & Lombardi Neto, 2014), entretanto, considerou-se que na área analisada inexistem práticas de apoio, fazendo com que o fator P corresponda a 1,0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fator erosividade

Os dados pluviométricos provenientes da estação Cauê, apresentados na tabela 3, indicam uma pluviometria média anual de 1.627,98 mm, com menores valores sendo observados no mês de julho (30,75 mm) e maiores valores verificados no mês de dezembro (297,05 mm). Quanto à erosividade, nota-se um valor anual de 12.896,34 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.

De acordo com Panagos et al. (2017), os maiores valores de erosividade na América do

Sul são observados no Brasil, Colômbia e Equador, sendo superiores a 7.000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Nota-se ainda que o resultado obtido está inserido nos intervalos de erosividade identificados por Silva (2004), Oliveira et al. (2012), Oliveira et al. (2015) e Trindade et al. (2016) para o Brasil, sendo, contudo, superior aos valores apontados por Mello et al. (2007) para o Estado de Minas Gerais, que corresponde a 5.000 a 12.000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹.

Tabela 3 - Valores médios de pluviometria relacionados à estação de monitoramento Cauê e erosividade média associada.

Mês	Média pluviométrica (mm)	Erosividade (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹)
janeiro	277,71	2.691,61
fevereiro	181,00	1.390,24
março	183,43	1.419,12
abril	97,88	538,26
maio	57,47	236,64
junho	32,76	99,38
julho	30,75	90,13
agosto	35,01	110,13
setembro	64,33	281,61
outubro	116,12	700,74
novembro	254,48	2.352,16
dezembro	297,05	2.986,32
Total anual	1.627,98	12.896,34

Fator topográfico

Quanto ao fator topográfico, verificam-se valores entre 0 e 26,4, sendo que os menores podem ser verificados na região operacional destinada à filtração do rejeito e no reservatório de CEMIG I (Figura 2). Já os maiores valores (acima de 25) são observados no entorno da Cava Cauê, incluindo uma porção da PDE Aba Oeste.

Fator erodibilidade

A erodibilidade do solo expressa sua susceptibilidade à erosão, correspondendo à uma

propriedade intrínseca que depende da sua capacidade de infiltração e de armazenamento da água, assim como das forças de resistência aos efeitos da chuva e do escoamento superficial (Pruski, 2009).

De acordo com o mapeamento de solos elaborado pelo Departamento de Solos (DPS)/LABGEO da UFV (2010) na escala 1: 500.000, podem ser reconhecidos na área de interesse desta pesquisa dois conjuntos pedológicos formados pelas unidades LVd8 e LVdf202 (Figura 3).

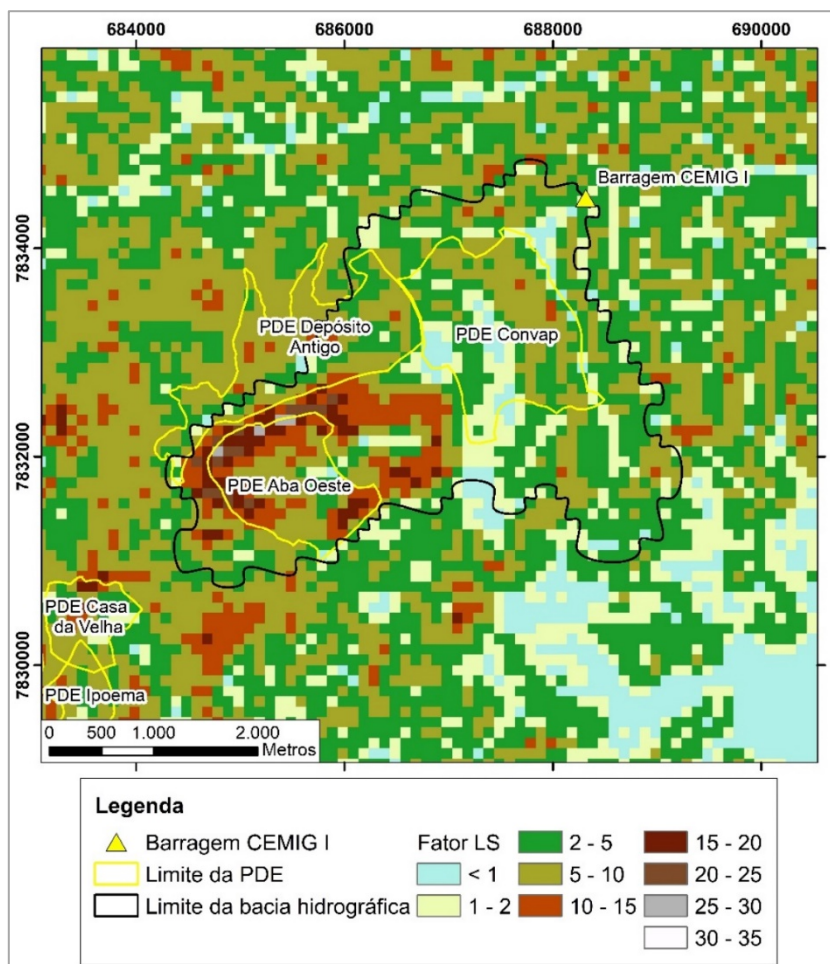


Figura 2 – Fator topográfico (LS - adimensional) observado na bacia hidrográfica que contempla a PDE Convap.

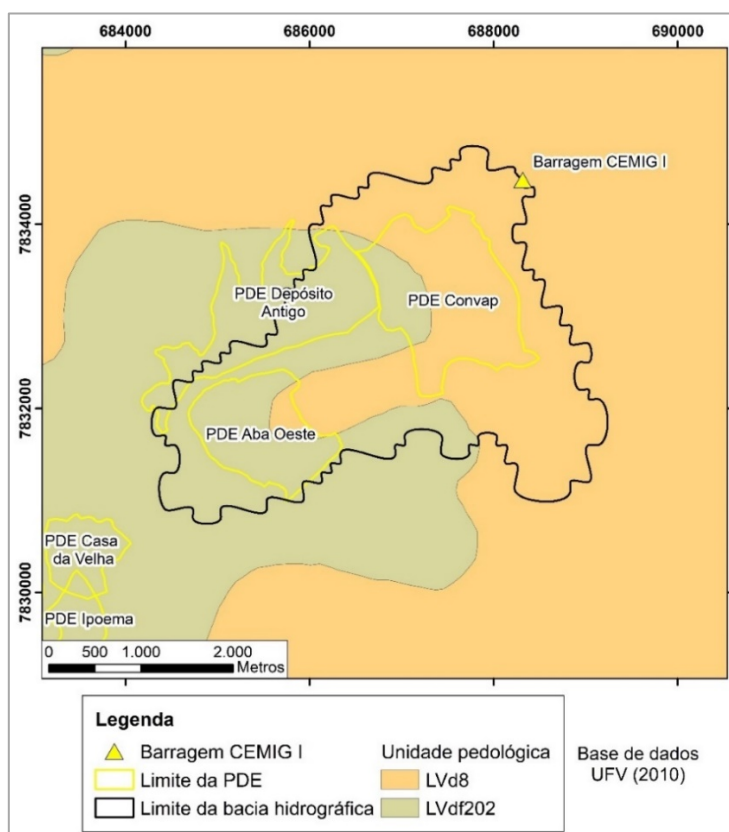


Figura 3 - Unidades pedológicas identificadas na bacia hidrográfica que contempla a PDE Convap e localização dos furos de sondagem realizados na PDE Depósito Antigo utilizados para determinação do fator K. Fonte: Modificado de UFV (2010).

A unidade denominada LVd8 é formada pelo agrupamento de latossolo vermelho distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (50%); cambissolo háplico Tb distrófico latossólico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (25%) e argissolo vermelho distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (25%).

A unidade LVdf202 é representada por uma associação de latossolo vermelho distroférico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso (60%) e cambissolo háplico Tb distroférico típico, A

moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso (40%). Há diversos trabalhos que estimam a erodibilidade dos solos brasileiros considerando diferentes níveis categóricos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Nesta pesquisa, buscou-se identificar a erodibilidade de solos até o 2º nível categórico (Subordem), estendendo-a aos demais níveis sempre que possível. Assim, a tabela 4 exibe a classificação hierárquica dos solos mapeados pela UFV (2010) na área analisada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

A tabela 5 exibe os valores de erodibilidade de cambissolos, latossolos e argissolos identificados na literatura pertinente, obtidos para diferentes localidades brasileiras.

Tabela 4 - Hierarquia dos solos identificados na área de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

1º nível categórico (Ordem)	2º nível categórico (Subordem)	3º nível categórico (Grande Grupo)	4º nível categórico (Subgrupo)
Cambissolo	Háplico	Distrófico	Latossólico
	Háplico	Distroférico	Típico
Latossolo	Vermelho	Distroférico	Típico
	Vermelho	Distrófico	Típico
Argissolo	Vermelho	Distrófico	Típico

Tabela 5 - Valores do fator erodibilidade (K) de cambissolos, latossolos e argissolos.

Solos	Erodibilidade (t. h. MJ ⁻¹ . mm ⁻¹)
Cambissolo háplico	
Distrófico, textura argilosa (Rio Claro/SP)	0,0075 a 0,0171 ⁽¹⁾
Distrófico, típico (Estado de São Paulo)	0,0254 (horizonte A) - 0,0186 (horizonte B) ⁽²⁾
Distrófico, típico (Lavras/MG)	0,0355 ⁽³⁾
Distrófico, típico, textura argilosa pouco-cascalhenta, A moderado (Cachoeiras de Macacu/ RJ)	0,0156 – 0,02118 ⁽⁴⁾
Distrófico, típico, textura argilosa, A moderado (Cachoeiras de Macacu/ RJ)	0,0204 - 0,02115 ⁽⁴⁾
Distrófico, latossólico (Estado de São Paulo)	0,0433 (horizonte A) – 0,0267 (horizonte B) ⁽²⁾
Latossolo vermelho distroférico	
Típico A moderado textura errática (Estado de São Paulo)	0,0071 (horizonte A) - 0,0052 (horizonte B) ⁽²⁾

Nota-se na figura 4 que os valores de erodibilidade possuem mediana de 0,021150 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹ e desvio padrão de 0,009749 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹ quando considerado o cambissolo háplico.

Os latossolos apresentam mediana correspondendo a 0,0116 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹ (latossolo vermelho distroférico) e 0,0333 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹ (latossolo vermelho distrófico), com desvios padrão de 0,0485 e 0,023664 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹, respectivamente. Já o argissolo vermelho distrófico possui erodibilidade com mediana de 0,04624 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹ e desvio padrão de 0,027279 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹.

Quando considerados os conjuntos pedológicos

identificados no mapeamento realizado pela UFV (2010), observa-se que a unidade LVd8 exibe erodibilidade com mediana correspondendo a 0,027050 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹ e desvio padrão de 0,0322299 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹; enquanto a unidade LVdf202 é caracterizada por erodibilidade com mediana de 0,019500 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹ e desvio padrão de 0,037374 t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹ (Figura 5).

As análises granulométricas dos testemunhos das sondagens realizadas na PDE Depósito Antigo indicam, para ambas as amostras analisadas, uma textura areno-siltosa contendo pedregulho e vestígios de argila.

Tabela 5 - Parte 2 - Valores do fator erodibilidade (K) de cambissolos, latossolos e argissolos.

Solos	Erodibilidade (t. h. MJ ⁻¹ . mm ⁻¹)
Dourados (MS)	0,0045 ⁽⁵⁾
Típico (Lavras/MG)	0,0032 ⁽⁶⁾
Típico (Campinas/SP)	0,0116 a 0,0146 ⁽⁷⁾
Típico (Francisco Beltrão/PR)	0,02771 ⁽⁸⁾
Típico, textura argilosa (Dois Irmãos do Buriti/MS)	0,086541 – 0,156667 ⁽⁹⁾
Distroférico e eutroférico típico, textura muito argilosa a argilosa (Dois Irmãos do Buriti/MS)	0,007241 – 0,124910 ⁽⁹⁾
Santa Cruz do Rio Pardo (SP)	0,0012 – 0,044 (horizonte A) ⁽¹⁰⁾ 0,008 – 0,038 (horizonte B) ⁽¹⁰⁾
Latossolo vermelho distrófico	
Típico, A moderado, textura muito argilosa (Estado de São Paulo)	0,0061 (horizonte A) - 0,0038 (horizonte B) ⁽²⁾
Típico, A moderado, textura média (Dois Irmãos do Buriti/MS)	0,041709 ⁽⁹⁾
Típico, textura média (Dois Irmãos do Buriti/MS)	0,011414 ⁽⁹⁾
Típico, A moderado, textura média/argilosa (Dois Irmãos do Buriti/MS)	0,066783 ⁽⁹⁾
Típico, textura média (Noroeste do Estado de São Paulo)	0,0460 (horizonte A) - 0,0333 (horizonte B) ⁽¹¹⁾
Argissolo vermelho distrófico	
Típico, textura arenosa/média (Noroeste do Estado de São Paulo)	0,0581 (horizonte A) - 0,0276 (horizonte B) ⁽¹¹⁾
Típico, textura média (Noroeste do Estado de São Paulo)	0,0537 (horizonte A) - 0,0274 (horizonte B) ⁽¹¹⁾
Típico, textura média/argilosa (Noroeste do Estado de São Paulo)	0,0399 (horizonte A) - 0,0178 (horizonte B) ⁽¹¹⁾
Distrófico típico e latossólico, A fraco, textura média (Dois Irmãos do Buriti/MS)	0,052581 ⁽⁹⁾
Distrófico típico, textura arenosa/média (Dois Irmãos do Buriti/MS)	0,104884 ⁽⁹⁾

Fontes: ⁽¹⁾ Corrêa et al. (2015); ⁽²⁾ Mannigel et al., (2002); ⁽³⁾ Silva et al. (2009); ⁽⁴⁾ Clemente et al. (2017); ⁽⁵⁾ Hernani et al. (1997); ⁽⁶⁾ Silva et al. (2009); ⁽⁷⁾ Silva et al. (2016); ⁽⁸⁾ Vansan (2017); ⁽⁹⁾ Chagas et al. (2011); ⁽¹⁰⁾ Demarchi & Zimback (2014); ⁽¹¹⁾ Lima et al. (2016).

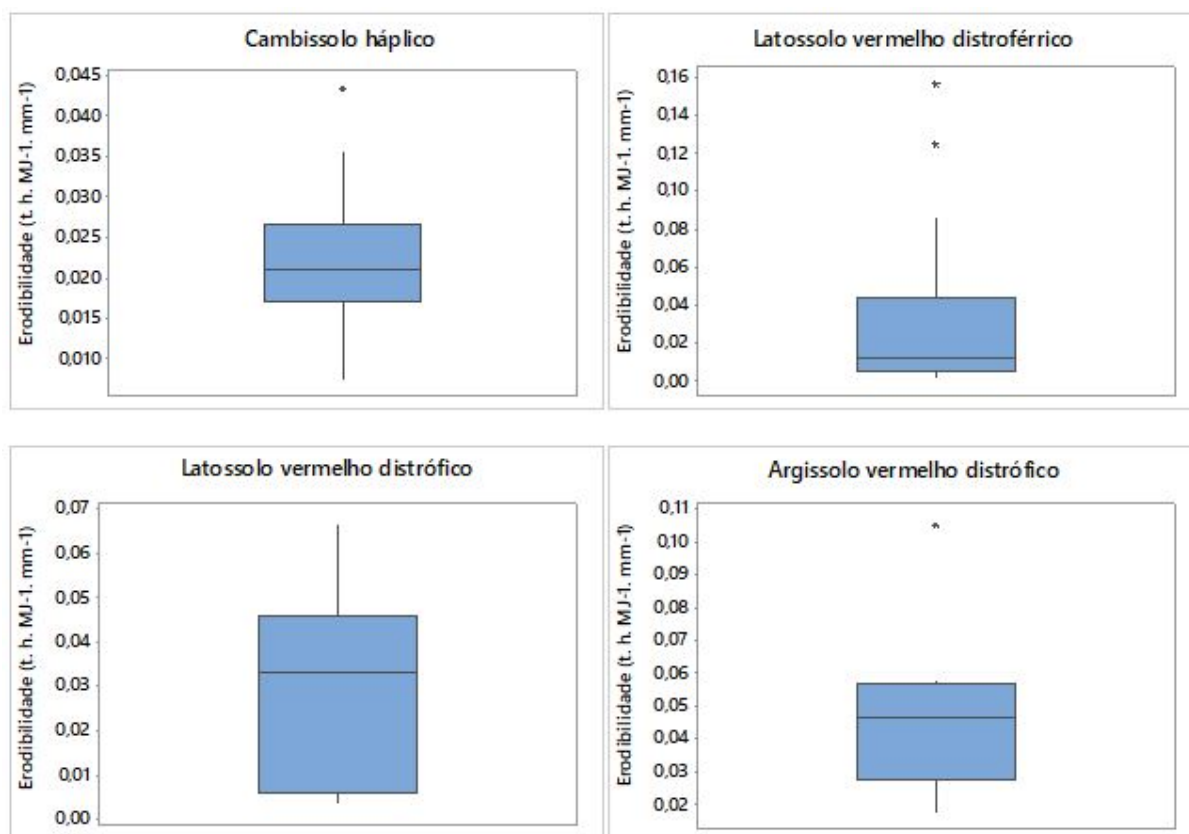


Figura 4 – Valores de erodibilidade de cambissolo háplico, latossolo vermelho distroférico latossolo vermelho distrófico e argissolo vermelho distrófico obtidos na literatura.

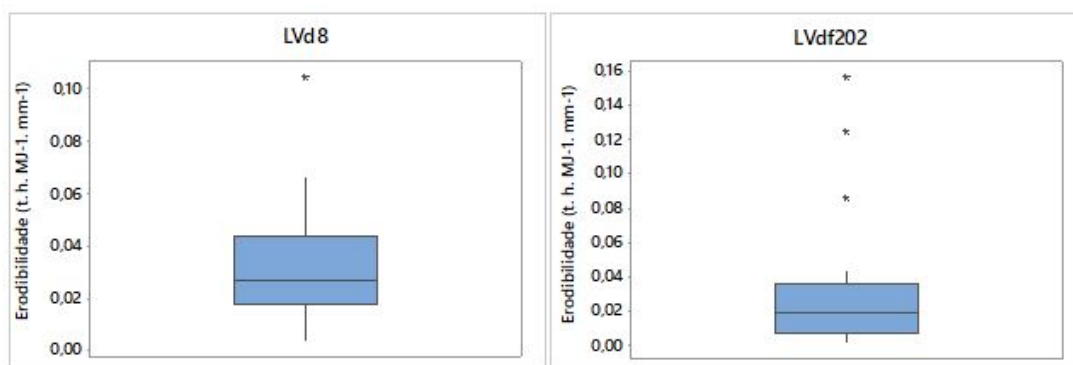


Figura 5 - Distribuição da erodibilidade das unidades pedológicas identificadas na área analisada nessa pesquisa de acordo com mapeamento realizado pela UFV (2010).

Essas amostras, considerando a metodologia proposta por Wischmeier & Smith (1978) e Renard et al. (1997), apresentam erodibilidades de $0,01982 \text{ MJ}^{-1}.\text{hmm}^{-1}$ (furo de sondagem PI-B3-D) e $0,03376 \text{ t.MJ}^{-1}.\text{hmm}^{-1}$ (furo de sondagem PI-B2-D), resultando em uma erodibilidade média de $0,02679 \text{ t.MJ}^{-1}.\text{hmm}^{-1}$.

Destaca-se que esses valores são semelhantes àqueles obtidos para neossolos litólicos obtidos por Silva-Matos et al. (2020), correspondendo a $0,0196 \text{ t. h. MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, e Morais & Sales (2017), correspondendo a $0,0363 \text{ t. h. MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.

Fator de Uso e Cobertura Do Solo

Uma cobertura vegetal pode absorver a

energia cinética das gotas de chuva e dispersar o seu potencial erosivo. Além disso, a vegetação, por si só, retém uma quantidade significativa da chuva, retardando o escoamento. Assim, o fator C mede o efeito combinado de todas as variáveis de manejo e cobertura de culturas inter-relacionadas, incluindo o tipo de preparo, manejo de resíduos e tempo de proteção do solo exercido pela vegetação (Foth, 1990).

A figura 6 exibe os usos do solo na área analisada, representados, principalmente, por pastagem degradada (12,2%), corpos hídricos (12,9%), eucaliptos e matas (27,0%) e solo exposto (42,6%).

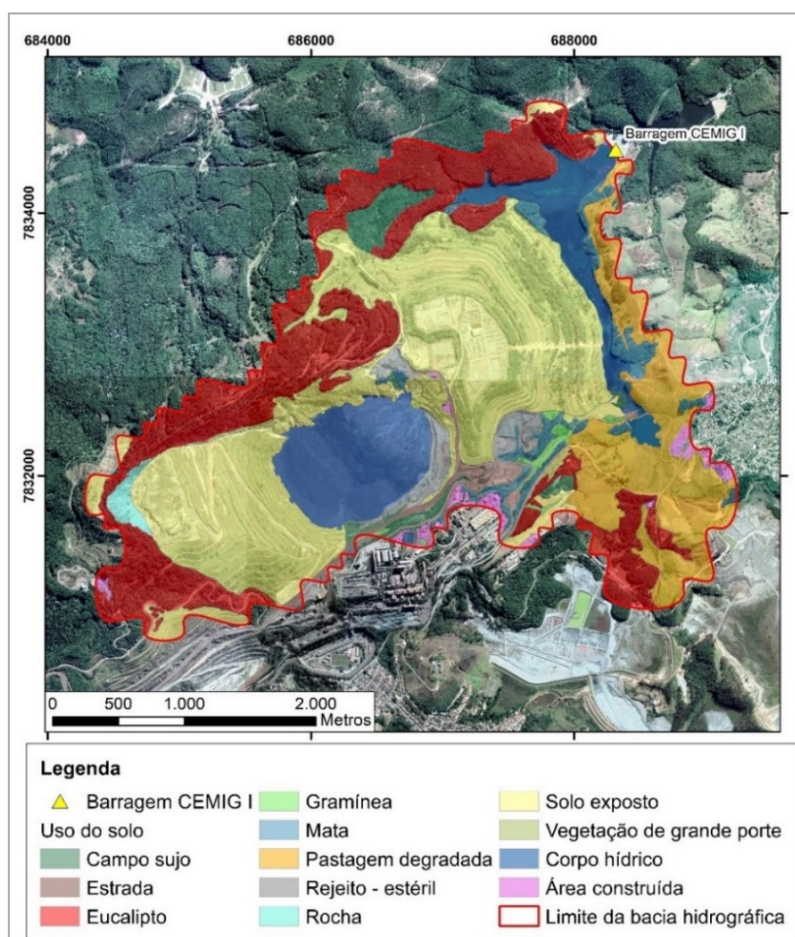


Figura 6 – Usos do solo na bacia hidrográfica que contempla a PDE Convap.

A tabela 6 exhibe as médias anuais do fator C para algumas situações de cobertura do solo. Destaca-se que esses valores foram associados às diferentes formas de uso e cobertura do solo identificados por meio de interpretação visual do mosaico formado por imagens de satélite da bacia hidrográfica aqui analisada.

Tabela 6 - Valores do fator C para situações de cobertura do solo.

Prática/cobertura	Valor médio anual
Solo exposto	1,000 ⁽¹⁾
Área úmida/corpos d'água	0 ⁽¹⁾
Vegetação densa	0,00004 ⁽¹⁾
Pastagem	0,01 ⁽¹⁾ – 0,0080 ^(2,3)
Pastagem degradada	0,0300 ⁽²⁾
Campo sujo	0,25 ⁽¹⁾
Área urbana	0 ⁽²⁾
Eucalipto	0,0001 ⁽²⁾
Matas	0,0001 ⁽³⁾
Vegetação ciliar	0,0001 ⁽³⁾

Fonte: ⁽¹⁾ Stein et al. (1987); ⁽²⁾ Vázquez-Fernandes et al. (1996); ⁽³⁾ Santos (1993).

Taxa de Erosão

A combinação dos fatores R, K, LS e C na USLE, representada na figura 7, permite verificar que as menores taxas de erosão anual na bacia hidrográfica analisada (valores inferiores a 10 t.ano⁻¹) estão associadas, principalmente, às áreas com cultivo de eucalipto na PDE Depósito Antigo.

Por outro lado, as maiores taxas de erosão (valores superiores a 20.000 t.ano⁻¹) estão correlacionadas às porções topograficamente mais elevadas da PDE Aba Oeste e regiões circunvizinhas à Cava Cauê.

Nota-se que a taxa de erosão total da bacia hidrográfica corresponde a 2,3 x 10⁶ t.ano⁻¹, com média de aproximadamente 2.511 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

Quando considerada apenas a área da PDE Convap, nota-se que a taxa de erosão corresponde a 273.871,5 t.ano⁻¹, com média de 1.267,9 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

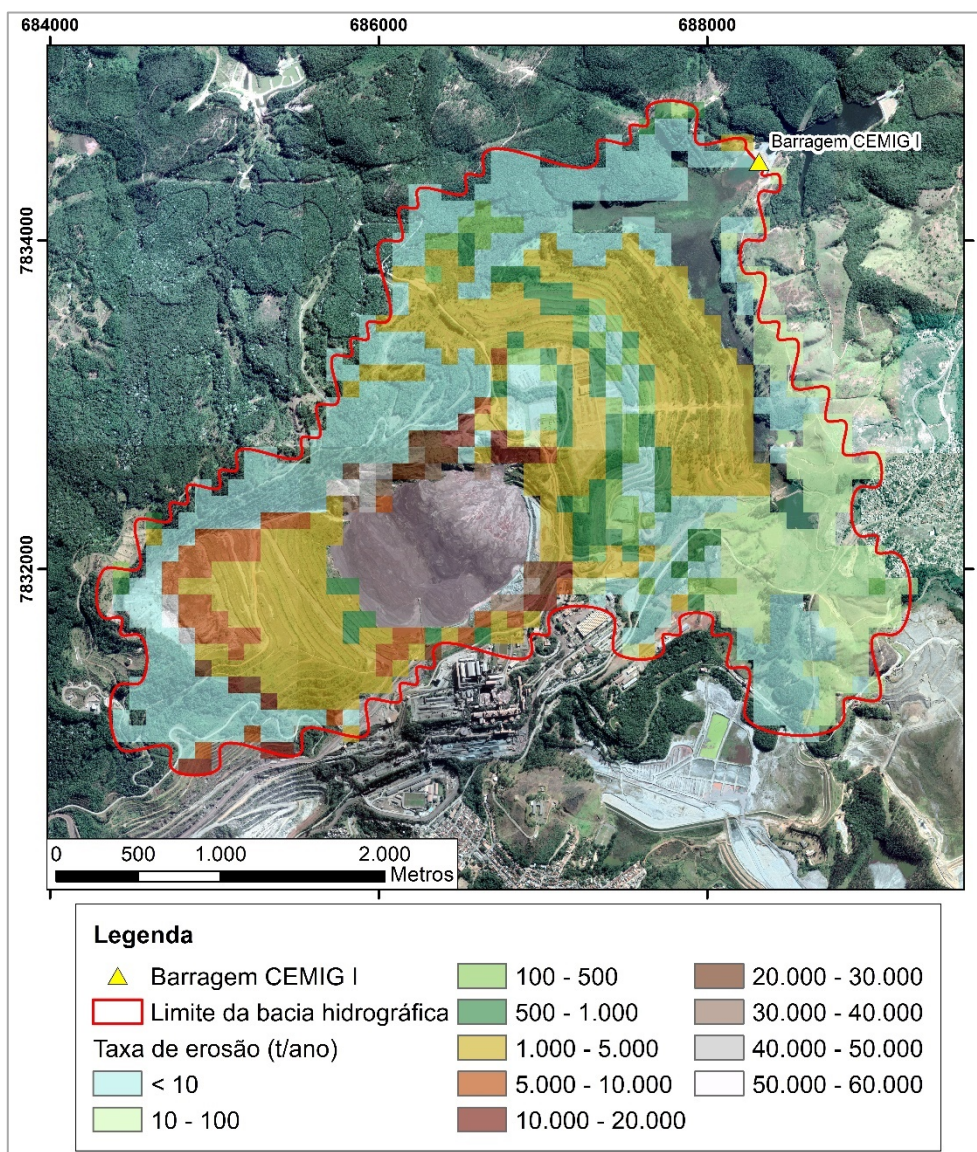


Figura 7 – Estimativa da taxa de erosão na bacia hidrográfica que contempla a PDE Convap.

Os resultados referentes à perda de solo devem ser comparados às taxas máximas aceitáveis, que correspondem à tolerância de perda de solo. Essa tolerância, que varia de acordo com o tipo de solo, representa o valor que possibilita o uso contínuo do solo sem comprometer o seu potencial produtivo (Bertoni & Lombardi Neto, 2014).

A definição do limite admissível de perdas de solo deve considerar aspectos físicos, como o tipo de solo, declividade do terreno e erosão antecedente, além de fatores econômicos e relativos ao tempo necessário para a formação do solo. Apesar desse tempo não ser determinado com precisão, nos Estados Unidos, estima-se são necessários 300 anos para a formação de 25 mm de solo (Pruski, 2009). Dessa forma, para os Estados Unidos, os limites máximos de perda de solo estabelecidos variam de 2 a 11 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (Foth, 1990).

De modo geral, ressalta-se que, sob intenso intemperismo, o tempo requerido para a formação de 25 mm de solo pode ser reduzido para 30 anos, correspondendo a um limite admissível de perdas de solo de 12,5 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em solos profundos, permeáveis e com boa drenagem.

Por outro lado, solos pouco profundos possuem perda admissível de 2 a 4 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (Bertoni & Lombardi Neto, 2014). Ainda neste sentido, Riquier (1982) propôs uma classificação dos valores de degradação relacionados à erosão hídrica e eólica, apresentados na tabela 7, que variam de nula a muito forte.

Destaca-se que as classes III e IV são

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das pilhas de disposição de estéril serem estruturas essenciais à exploração mineral, a gestão inadequada dessas estruturas pode resultar em impactos ambientais negativos relacionados, comumente, à produção de sedimentos.

Assim, este trabalho objetivou avaliar a estimativa de produção de sedimentos da PDE Convap, localizada no Complexo Minerador de Itabira (MG) por meio da aplicação da USLE. Notou-se que os dados de erosividade obtidos são compatíveis àqueles determinados para o Brasil, mas ligeiramente superiores aos valores estimados para o estado de Minas Gerais.

Além disso, verificou-se que os dados de erodibilidade determinados para os materiais

caracterizadas por valores de perda de solo acima daqueles considerados toleráveis, ocorrendo em áreas com intensa degradação, tais como aquelas relacionadas à presença de voçorocas, deslizamentos ou áreas desprotegidas submetidas à forte erosão (Carvalho, 2008).

Tabela 7 - Classes de perda de solo de acordo com a proposta de Riquier (1982).

Classe	Erosão hídrica e eólica (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
I – nula a pequena	até 10
II – moderada	10 a 15
III – forte	50 a 200
IV – muito forte	> 200

Nota-se assim, que a taxa de erosão estimada para a PDE Convap pode ser considerada muito forte. Por outro lado, faz-se importante salientar que grande parte destes sedimentos (cerca de 80%) são depositados na Cava Cauê.

A Barragem CEMIG I, localizada a jusante da bacia hidrográfica delimitada neste trabalho, possui a função reter água e sedimentos provenientes das estruturas situadas a montante. De acordo o seu Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM), esta estrutura possui cerca de 35 m de altura e um volume de reservatório de aproximadamente 12,6 milhões de m³ (Tetra Tech, 2020).

Assim, considerando uma periodicidade de limpeza de 3 anos, o Plano de Dragagem da Barragem CEMIG I busca a manutenção de um volume disponível para recebimento de 876.816 m³ de sedimentos, cerca de 2,2 x 10⁶ t (Vale, 2019), o que é compatível com a taxa de erosão estimada.

dispostos nas pilhas de estéril são equivalentes aos valores encontrados na bibliografia para neossolos litólicos.

As taxas de erosão médias da bacia hidrográfica analisada e da PDE Convap podem ser consideradas muito fortes, com valores superiores a 1.200 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

Apesar disso, esses valores são compatíveis com o plano de dragagem da Barragem CEMIG I, considerando uma periodicidade de limpeza de 3 anos.

No entanto, ressalta-se a importância da implantação de medidas associadas ao manejo e conservação do solo na bacia hidrográfica, envolvendo principalmente as áreas das pilhas de disposição de estéril inoperantes.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.029. **Mineração - Elaboração e apresentação de Projeto de Disposição de Estéril em Pilha**. Rio de Janeiro, 7 p., 2017.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Modelo Digital de Elevação (MDE) de moderada resolução espacial (células de 10 m) da Bacia do Rio Doce**. 2020. Disp. em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?uuiid=b4cfe37d-467c-4b67-8aaa-841b4081925b>>. Acesso em: 15 ago. 2021.
- ANDRADE, C.F. **Relevo Antropogênico Associado à Mineração de Ferro no Quadrilátero Ferrífero: Uma Análise Espaço/Temporal do Complexo Itabira (Município de Itabira – MG)**. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 129 p., 2012.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e Fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um cambissolo húmico aluminico. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 451 - 461, 2001.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e Fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 545 - 552, 2002.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9ª ed. São Paulo: Ícone, 355 p., 2014.
- BLANCO, H. & LAL, R. **Principles of soil conservation and management**. Springer, 617 p., 2008.
- BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 686 p., 2013.
- CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª ed., rev., atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 599 p., 2008.
- CHAGAS, C.S.; BHERING, S.B.; SILVA, E.F.; COELHO, M. R.; AMARAL, F.C.S.; ZARONI, M.J.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO JÚNIOR, W.; GONÇALVES, A.O.; DART, R.O.; AGLIO, M.L.D.; LOPES, C.H.L.; DANIEL FILHO, A.C.B.; EARP, C.G.S. Zoneamento Agroecológico do Município de Dois Irmãos do Buriti – MS. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 181, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 61 p., 2011.
- CLEMENTE, E.P.; OLIVEIRA, A. P.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S.; SCHULER, A. E.; FIDALGO, E. C.C.; MONTEIRO, J. M. G. Erodibilidade dos solos da região serrana do Rio de Janeiro obtida por diferentes equações de predição indireta. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 262, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 54 p., 2017.
- CORRÊA, E.A.; MORAES, I.C.; PINTO, S.A. F. Estimativa da erodibilidade e tolerância de perdas de solo na região do centro leste paulista. **Geociências**, v. 34, n. 4, p.848-860, 2015.
- CURI, A. Minas a céu aberto: planejamento de lavra. São Paulo: Oficina de Textos, 223 p., 2014.
- DE MARIA, I.C. & LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de terra e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 263 - 270, 1997.
- DEMARCHI, J.C. & ZIMBACK, C.R.L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energ. Agric., Botucatu**, v. 29, n. 2, p. 102 - 114, 2014.
- DESMET, P.J.J. & GOVERS, G.A. GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.
- FOTH, H. D. **Fundamentals of soil science**. New York: Wiley, 384 p., 1990.
- GOOGLE. Google Earth. Versão 7.1.5.1557. 2017. Nota (Itabira - MG). Disp. em: <<http://www.google.com/earth/download/ge/agree.html>>.
- Acesso em: 02 jul. 2021.
- HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **R. Bras. Ci. Solo**, v. 21, p. 667 - 676, 1997.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Metadados Carta Internacional ao Milionésimo**. 2010. Disp. em: <<http://mapas.ibge.gov.br/interativos/servicos/wms-do-arcgis>>. Acesso em: 12 out. 2021.
- LIMA, C.G.R.; CARVALHO, M.P.; SOUZA, A.; COSTA, N.R.; MONTANARI, R. Influência de atributos químicos na erodibilidade e tolerância de perda de solo na Bacia Hidrográfica do Baixo São José dos Dourados. **Geociências**, v. 35, n. 1, p. 63 - 76, 2016.
- MANNIGEL, A.R.; CARVALHO, M.P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335 - 1340, 2002.
- MCCARTER, M.K. Design and Operating Considerations for Mine Waste Embankments. **Source: Surface Mining**, p. 890-899, 1990.
- MCCOOL, D.K.; FOSTER, G.R.; RENARD, K.G.; YODER, D.C. WEESIES, G.A. **The Revised Universal Soil Loss Equation**. Department of Defense/Interagency Workshop on Technologies to Address Soil Erosion on Department of Defense Lands San Antonio, TX, June 11-15, 9 p., 1995.
- MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C.; CURI, N.; MELLO, J.M.; VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras.**, v. 42, n. 4, p. 537 - 545, 2007.
- MORAIS, R.C. S. & 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**, v. 27, Número Especial 1, p. 84 - 105, 2017.
- NEARING, M.A.; LANE, L.J.; ALBERTS, E.E.; LAFLEN, J.M. Prediction technology for soil erosion by water: Status and research needs, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 54, p. 1702 - 1711, 1990.
- OLIVEIRA, F.P. **Erosão hídrica em áreas florestais no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 105 p., 2006.
- OLIVEIRA, J.P.B.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; ZANETTI, S.S. Espacialização da erosividade das chuvas no Brasil a partir de séries sintéticas de precipitação. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 558 - 563, 2015.
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100, p. 139-147, 2012.
- PANAGOS, P.; BORRELI, P.; POESEN, J.; BALLABIO, C.; LUGATO, E.; MEUSBURGER, K.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 438 - 447, 2015a.
- PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; VAN DER ZANDEN, E.H.; POESEN, J.; ALEWELL. Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. **Environmental science & policy**, 51, p. 23 - 34, 2015b.
- PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; YU, B.; KLIK, A.; LIM, K.J.; YANG, J.E.; NI, J.; MIAO, C.; CHATTOPADHYAY, N.; SADEGHI, S.H.; HAZBAVI, Z.; ZABIHI, M.; LARIONOV, G.A.; KRASNOV, S.F.; GOROBETS, A.V.; LEVI, Y.; ERPUL, G.; BIRKEL, C.; HOYOS, N.; NAIPAL, V.; OLIVEIRA, P.T.S.; BONILLA, C. A.; MEDDI, M.; NEL, W.; AL DASHTI, H.; BONI, M.;

- DIODATO, N.; VAN OOST, K.; MARK NEARING, M.; BALLABIO, C. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. **Scientific Reports**, v. 7, p. 4175, 2017.
- PETRONILHO, M.R. **Avaliação do comportamento geotécnico de pilhas de estéril por meio de análise de risco**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia aplicada à Mineração). Universidade Federal de Ouro Preto, 137 p., 2010.
- PRUSKI, F.F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2ª ed. atual. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 279 p., 2009.
- RENARD, K. G. & FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the R- factor in the revised USLE. **J. of Hydrol.**, n. 174, p. 439 - 444, 1994.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A. MCCOOL, D.K.; YODER, D.C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. U. S. Department of Agriculture (Agriculture Handbook 703), 404 p., 1997.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; PORTER, J. P. RUSLE—revised universal soil loss equation. **J. Soil Water Conserv.**, v. 46, n. 1, p. 30-33, 1991.
- RIQUIER, J. Évaluation globale de la dégradation des sols. **Nature et Ressources**, Paris: Unesco, v. 18, n. 2, 19-23, 1982.
- ROBERTSON, A.M.; STEFFEN & KIRSTEN. Mine Waste Disposal: **An Update on Geotechnical and Geohydrological Aspects**. Vancouver, Canadá, v. 1, 24 p., 1985.
- SANTOS, M.F. **Subsídios para o planejamento conservacionista da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão (São Carlos, Itirapina e Analândia, SP)**. (Dissertação de Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 222 p., 1993.
- SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.
- SILVA, A.M.; SILVA, M.L. N.; CURI, N.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1811-1820, 2009.
- SILVA, L.F.S.; MARINHO, M. A.; ROCCO, E.O.; WALTER, M.K.C.; BOSCHI, R.S. Métodos indiretos de estimativa da erodibilidade de um latossolo vermelho da região de Campinas, SP. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 3, n. 1, p. 51 - 58, 2016.
- SILVA-MATOS, R.R.S.; ALBANO-MACHADO, F.G.; OLIVEIRA, M.M.T. Desenvolvimento tecnológico em ciência do solo. Ponta Grossa, PR: **Atena**, 175 p., 2020.
- STEIN, D.P.; DONZELLI, P.; GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W.L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar natural e antrópica na bacia do Peixe-Parapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4, Marília, 1987. **Anais...**Marília, 1987, p. 105-135.
- TETRA TECH. **Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM) - Barragem CEMIG I**. 87 p., 2020.
- TRINDADE, A.L.F.; OLIVEIRA, P.T.S.; ANACHE, J.A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesq. agropec. bras.**, v. 51, n. 12, p. 1918 - 1928, 2016.
- UFV - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. Soil survey manual. **United States Agriculture Handbook** 18, USDA, Washington, 1983.
- VALE. Dragagem **Barragem CEMIG I**. Documento interno. 2019.
- VANSAN, A.P. **Estudo da erosão hídrica laminar do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego São José, em Francisco Beltrão (PR), utilizando técnicas de geoprocessamento**. Pato Branco, 135 p., 2017. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, G.A.; FORMAGGIO, A.R., EPIPHANIO, J.C.N.; GLERIANI, J.M. Determinação de sequências culturais em microbacia hidrográfica para caracterização do fator C da EUPS, utilizando fotografia aérea. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, VIII, Salvador, 1996. **Anais...**Salvador: INPE, 1996, p. 63 - 67.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook** No. 537. US Department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, DC, USA, 163 p., 1978.
- ZHANG, H.; YANG, Q.; LI, R.; LIU, Q.; MOORE, D.; HE, P.; RITSEMA, C.J.; GEISSEN, V. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. **Comput. Geosci.**, v. 52, n. 0, p. 177 - 188, 2013.

*Submetido em 30 de dezembro de 2021
Aceito para publicação em 25 de fevereiro de 2022*