

PREDIÇÃO DA PERDA DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO BOCAINA, PASSOS-MG

Letícia Bueno de Oliveira Rocha

Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Passos, MG, Brasil
leticiaborocha@gmail.com

Rômulo Amaral Faustino Magri

Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Passos, MG, Brasil
romulo.magri@uemg.br

RESUMO

O objetivo dessa pesquisa foi prever a perda de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina (BHRB), situada no município de Passos-MG. A modelagem foi realizada por meio da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS). Os fatores do meio físico e antrópico influentes no processo de erosão hídrica considerados foram: erodibilidade, erosividade, topográfico e cobertura vegetal e práticas conservacionistas. Todos os fatores foram integrados e espacializados no Sistema de Informação Geográfica (SIG), com auxílio de técnicas de geoprocessamento. Como resultados, o Potencial Atual à Erosão (PAE) apresentou 55,4% da área total da BHRB com perdas de solo menores que 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹, com predomínio da classe “ligeira” e 44,6% da área com perdas maiores que 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹ com predomínio da classe “muito alta”. Há locais com perdas de solo elevadas, principalmente em áreas de culturas agrícolas, com solos mais suscetíveis à erosão e declividades acentuadas. A utilização da EUPS para fins de qualificação de áreas vulneráveis à erosão apresentou vantagens e mostrou uma ferramenta eficaz para avaliar a vulnerabilidade à erosão do solo e auxiliar no planejamento ambiental e conservacionista do uso dos solos e recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

Palavras-chave: EUPS. Erosão hídrica. Geoprocessamento. Erosão laminar.

PREDICTION OF SOIL LOSS BY LAMINARY EROSION IN THE RIBEIRÃO BOCAINA HYDROGRAPHIC BASIN, PASSOS-MG

ABSTRACT

The objective of this research was to predict soil loss due to laminar erosion in the Ribeirão Bocaina watershed (BHRB), located in the municipality of Passos-MG. The prediction was performed using the Universal Soil Loss Equation (USLE). The factors of the physical and anthropic environment influencing the water erosion process considered were: erodibility, erosivity, topography and vegetation cover and conservation practices. All factors were integrated and spatialized in the Geographic Information System (GIS), with the aid of geoprocessing techniques. As a result, Current Potential to Erosion (CPE), presented 55.4% of the total area of BHRB with soil losses below 10 t.ha⁻¹.year⁻¹, with a predominance of the “light” class and 44.6% of the area with losses greater than 10 t.ha⁻¹.year⁻¹ with a predominance of the “very high” class. There are areas with high soil losses, mainly in areas of agricultural crops, with soils more susceptible to erosion and steep slopes. The use of EUPS for the qualification of areas vulnerable to erosion showed advantages and showed an effective tool to assess the vulnerability to soil erosion and to assist in environmental and conservation planning of the use of the soils and water resources of the Ribeirão Bocaina River Basin.

Keywords: USLE. Water erosion. Geoprocessing. Laminar erosion.

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural essencial para a vida na Terra, no entanto a intensificação das atividades antrópicas sobre esse recurso tem resultado em sua degradação. Cerca de 33% dos solos agricultáveis do mundo apresentam algum tipo de degradação e o principal motivo é a erosão acelerada (FAO, 2015).

Estimou-se para o Brasil perdas de 616,5 milhões de toneladas de solo ao ano e custos com nutrientes para restabelecê-lo na ordem de US\$ 1,3 bilhão ao ano, decorrentes do processo de erosão hídrica do solo em lavouras anuais (DECHEN et al., 2015).

Para os programas de política ambiental não seria possível considerar a erosão do solo se não houvessem ferramentas acessíveis para modelagem e mapeamento em grande escala (ALEWEL et al., 2019).

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), em inglês, *Universal Soil Loss Equation* (USLE) é uma modelagem empírica, ferramenta técnica importante, aplicável em pequenas e grandes escalas, em que seus resultados podem nortear e auxiliar no planejamento, gestão e políticas públicas ambientais e territoriais, fornecer subsídios na priorização e implantação de práticas conservacionistas dos solos e seleção de áreas prioritárias ao pagamento por serviços. A predição da perda de solo está associada a mitigação do assoreamento de cursos hídricos e dos custos com o tratamento de água, uma vez que são relacionados aos benefícios gerados pela reposição florestal e manejo adequado dos solos (PEREIRA, 2014; MATOS, 2015; VIEL; ROSA; HOFF, 2017; SOUZA et al., 2019; ALEWEL et al., 2019; LENSE et al., 2019).

A EUPS tem aplicação relatada em mais de 109 países, tornando a modelagem de erosão hídrica mais utilizada globalmente (ALEWEL et al., 2019). A utilização da modelagem continua recente, onde os autores observaram em consulta correspondentes às palavras chaves: USLE ou *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) no *site da Web of Science*, para o período de 2007 a 2017, pouco mais de 1.149 publicações com média de citação por item de 7,8.

Atualmente, muitos autores utilizaram a EUPS para predição de perdas de solo em bacias hidrográficas brasileiras de diferentes extensões territoriais (SOARES et al., 2017; RODRIGUES et al., 2017; LIMA; FERREIRA; FERREIRA, 2018; GUIÇARDI, 2018; SALIS; COSTA; VIANA, 2019; SOUSA e PAULA, 2019; CARVALHO, 2019; JARDIM et al., 2020;).

A utilização da EUPS pode fornecer subsídios para o planejamento ambiental e conservacionista da bacia, por meio da indicação de áreas mais suscetíveis ao processo de erosão laminar; o cenário a considerar à utilização de práticas conservacionistas e manejo adequado do solo, comprova a sua importância para mitigação dos processos de erosão laminar e na prevenção da consequência direta do processo, como o assoreamento do curso hídrico.

A gestão adequada do manejo e práticas conservacionistas do solo é um elemento essencial da agricultura sustentável e também fornece uma alavanca valiosa para a regulação climática e um caminho para salvaguardar os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade (FAO, 2015).

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bocaina (BHRB) é o principal manancial de abastecimento pública da cidade de Passos – MG. A bacia tem sido alvo de degradação do solo e de seus recursos hídricos, tanto superficiais, quanto subterrâneos, devido ao uso urbano intensivo, diversidade agrícola e atividades industriais diversas (COLLARES; JACÓ; CARVALHO, 2016).

Diante do pressuposto, a pesquisa teve como objetivo prever a perda de solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, Passos (MG), por meio da aplicação da EUPS com ênfase no planejamento ambiental e manejo do solo da bacia. Para tal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: Mensurar os fatores do meio físico e antrópico considerados intervenientes no processo de erosão laminar; integrar os fatores em um Sistema de Informação Geográfica (SIG); e elaborar o mapa do Potencial Atual à Erosão.

METODOLOGIA

Localização e características gerais da área de estudo

A BHRB se localiza entre as coordenadas geográficas 20°34'39" - 20°55'35"S e 46°35'24" - 46°32'30"O e abrange uma área de 457,9 km² (Figura 1). Compreende uma das 34 sub-bacias que envolvem a Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande (CBH-GD7).

A BHRB está inserida dentro do limite do município de Passos-MG, e possui área total de 1.338,1 km² (IBGE, 2010). A bacia ocupa 34% da área total do município e o Ribeirão Bocaina é o principal manancial de abastecimento público de água da cidade.

Sua nascente localiza-se na comunidade do Tanquinho em Passos-MG nas coordenadas geográficas 20°55'8,50"S e 46°31'19,62"W, com altitude de 1167 metros. Sua foz está localizada no Rio Grande, município de Passos nas coordenadas geográficas 20°34'50,04"S e 46°37'24,39"O. A maior parte das nascentes que define a BHRB surgem nas Serras do Fundão, Jaú, São João, Ventania, Água Azul e da Conquista.

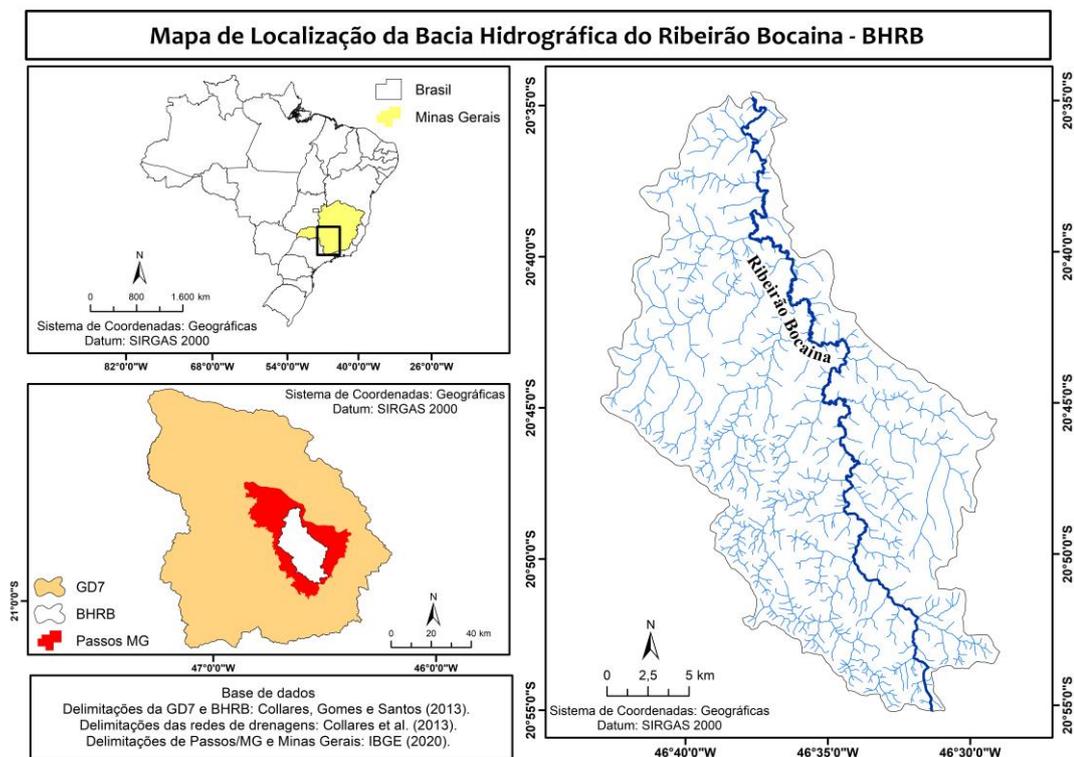
Segundo a classificação zonal de Köppen, a região está localizada em um local de transição entre o clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa) e o clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente (Cwb) (SÁ JUNIOR, 2009; ALVARES et al., 2013). No verão, a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a precipitação média anual é de 1500 mm.

Segundo o censo do IBGE do ano de 2010, o município de Passos-MG tinha população total de 106.290 habitantes, desse total 5.448 habitantes estavam localizados na zona rural. As principais vias acesso para a área de estudo são as rodovias federais BR-265 e BR-146 e a rodovia estadual MG-050.

De acordo com dados do sistema IFDM – Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal, publicado em junho de 2018, considerando como ano-base do estudo 2016, o município de Passos-MG se destaca com um índice consolidado (educação, saúde, emprego e renda) de 0,7547, o que o caracteriza com um desenvolvimento moderado (FIRJAN, 2018).

Sá-Rigolin, Pereira e Pereira (2012) realizaram um estudo da qualidade da água do Ribeirão Bocaina nos anos de 2004 e 2005, onde analisaram 23 parâmetros, segundo a Resolução CONAMA nº 357 de 2005. Através dos resultados das análises, concluíram que a avaliação da qualidade da água mostrou-se alterada, variando entre as classes 3 e 4, segundo a classificação da Resolução CONAMA nº 357 de 2005, atribuindo essa variação às intervenções antrópicas ocorridas na BHRB.

Figura 1 - Passos (MG): Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Bocaina, (2020).



Fonte - Elaboração própria.

Segundo IGAM (2017), considerando o ano de análise 2016, Índice de Estado Trófico (IET) do Ribeirão Bocaina apresentou Eutrófico. Já o Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi classificado como "muito

ruim” e a Contaminação por Tóxicos (CT) como “média”, por influência das variáveis coliformes termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), fósforo total e nitrogênio amoniacal total. Segundo Collares e Gomes (2013) a maior parte da área de estudo é composta pela formação geológica do Grupo Araxá, Complexo da Barbacena e Sequência Greenstone Morro do Ferro, com litologia das unidades geológicas composta por rochas mica-xisto com intercalação de quartzo-xisto, quartzito, anfíbolito e gnaiss e secundariamente por gnaiss e migmatitos com intercalações de anfíbolito ultramáficas e metassedimentos.

De acordo com Magri (2013) a BHRB possui sete unidades de materiais inconsolidados. Mais da metade da área da bacia (57,9%) pertence a Unidade 9, que é descrita por ter o nível de solo maduro entre 1 a 15 metros e é constituído por uma areia argilosa. Sotoposto a este nível, encontra-se o solo Saprolítico constituído por uma argila areno-siltosa e por último o nível Saprolito (silte arenoso). Esta unidade ocorre em relevos colinosos, sustentados por gnaisses e xistos com intercalações de quartzito do Grupo Araxá.

A BHRB possui variação altimétrica de 678 a 1.210 metros. As regiões com altitude acima de 920 metros correspondem a 12,52% da área da bacia, sendo que a maioria dessas regiões se localizam ao Sul da bacia, com destaque para as serras das Posses, do Jaú e da Ventania. As regiões com altitudes entre 820 a 920 metros correspondem a 24,04%. Já os locais com altitudes inferiores a 820 metros são os que predominam na bacia e equivalem a 63,45%, onde também está localizada a área urbana do município de Passos.

O relevo e o grau de limitação por suscetibilidade à erosão da região são caracterizados a seguir, segundo classificação da EMBRAPA (1995):

- As áreas com declividades inferiores a 3% correspondem a 12,5% da área total da bacia. São áreas com relevo plano, consideradas de boa permeabilidade, onde o escoamento superficial é muito lento. São classificadas como áreas nulas quanto ao grau de limitação por suscetibilidade a erosão.
- Os locais que apresentam relevo suave ondulado são representados na classe de 3 a 8%, correspondem a 30,5% da área, são caracterizados pelo escoamento superficial lento, sendo terrenos favoráveis ao uso agrícola mecanizado. São classificados, quanto ao grau de limitação, como áreas de ligeira suscetibilidade à erosão.
- O percentual de 22,9% do terreno da bacia corresponde a classe de declividade de 8 a 13%. São considerados terrenos com relevo moderadamente ondulado, nos quais o escoamento superficial pode variar de médio a rápido e podem apresentar problemas de erosão superficial. São classificadas como áreas moderadas quanto ao grau de limitação por suscetibilidade a erosão.
- As áreas com relevo ondulado representam 16,9% da área e correspondem a classe de declividade de 13 a 20%. São áreas que possuem escoamento superficial de rápido a muito rápido e na maioria dos casos o controle à erosão depende de práticas conservacionistas intensivas. São classificados como áreas de forte limitação por suscetibilidade a erosão.
- As áreas com declividade maiores que 20% correspondem a 17,2% da área em estudo. São terrenos com escoamento superficial muito rápido e relevo variando de forte ondulado e montanhoso a escarpado. São classificados como áreas muito e extremamente fortes quanto ao grau de limitação por suscetibilidade a erosão.

Materiais

Estão listados na Tabela 1 os materiais utilizados neste trabalho que correspondem a mapas básicos, mapas temáticos, imagem de satélite, estações pluviométricas, *softwares* e informações complementares da área de estudo.

Tabela 1 - Passos (MG): Materiais utilizados na pesquisa, (2020).

Mapas		
Tipo de mapa	Escala	Fonte
Delimitação da bacia hidrográfica e das sub-bacias	1:50.000	Collares, Gomes e Santos (2013)
Rede de Drenagem	1:50.000	Collares et al. (2013)
Delimitações dos municípios e do estado de Minas Gerais	1:250.000	IBGE (2020)
Uso e cobertura da Terra	1:50.000	Carvalho (2017)
	1:10.000 (área urbana)	
Solos	1:250.000	IBGE e EMBRAPA (2019)
Cartas Topográficas dos Municípios de Passos, Fortaleza de Minas e Alpinópolis (Folhas SF-23-V-A-VI-2, SF-23-V-A-VI-4, SF-23-V-B-IV-3)	1:50.000	IBGE (1970)
Imagens de satélite		
Satélite	Câmera	Data
CBERS-4A	WPM	29/07/2020
Softwares utilizados para os processamentos dos dados espaciais e para criação de produtos cartográficos e escrita do trabalho		
- ArcGIS® versão: 10.5.1* (ESRI, 2017) - Word (MICROSOFT, 2016) - Excel (MICROSOFT, 2016)		
Dados das Estações Pluviométricas		
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2020); - Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) (2020); e - Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Passos-MG (2019).		
Trabalho de Campo		
- GPS GARMIM, - Prancheta; - Celular Samsung A30S para registro fotográfico		

* Licenciado para uso no Laboratório de Geotecnologias da Universidade do Estado de Minas Gerais.

Fonte - Elaboração própria.

Métodos

Obtenção dos fatores da EUPS

A metodologia selecionada para a prever a perda de solo na bacia foi a EUPS (WISHMEIER; SMITH, 1978). Foram estimados os valores de cada parâmetro que compõem a EUPS, a saber: erosividade (R), erodibilidade (K), fator topográfico (LS) e fator antrópico (CP).

Fator erosividade (R)

O levantamento dos dados das séries históricas de precipitações foi realizado para um período de 30 anos (1989-2019) em seis estações pluviométricas localizadas na região da área de estudo, disponibilizados pela ANA (2020), INMET (2020) e pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Passos-MG.

Devido às falhas de dados pluviométricos mensais nas séries históricas encontradas no banco de dados das estações, foi necessário realizar o preenchimento destas falhas por meio de método estatístico. Foi utilizado o método de Regressão Linear Múltipla. Fante e San'Tanna Neto (2013, p. 784) relatam que o método “consiste no preenchimento de falhas a partir de dados de estações vizinhas e de semelhanças climatológicas”.

O método de regressão linear múltipla demonstra valores satisfatórios e mais próximos do real nas previsões de falhas de séries históricas de dados pluviométricos (OLIVEIRA et al., 2010; LEDRA, 2017; MELLO; KOHLS; OLIVEIRA, 2017; JUNQUEIRA; AMORIM; OLIVEIRA, 2018;)

O Fator R foi calculado por meio do índice de Fournier (1960), proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). Primeiramente, obtém-se a média mensal do índice de erosão, e então, as médias são somadas para gerar o fator de erosividade, conforme Equação 1.

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30i} = EI_{30i} = 67,355 \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,85} \quad (1)$$

Onde:

EI= média mensal do índice de erosão (MJ.mm/ha/h); r= precipitação média mensal (mm); P= precipitação média anual (mm); i= índice de meses; e R= erosividade média anual (MJ.mm/ha/h/anual).

Os autores Xavier et al. (2019) compararam três metodologias para obtenção do Fator R da EUPS, entre elas estava a metodologia supracitada, que também obteve resultados coerentes para o estudo.

Para elaborar o Mapa de Erosividade foi necessário interpolar os resultados obtidos do fator R de cada estação. Há na literatura diversos métodos de interpolação matemática dos dados de precipitação como IDW, krigagem, spline de tensão e *topo-to-raster* (GARDIMAN JUNIOR et al., 2012). Por meio do levantamento bibliográfico dos métodos, evidenciou-se em estudos específicos que o método *topo-to-raster* gera um bom resultado (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011; MARCUZZO, MELO; COSTA, 2012; CARDOSO e MARCUZZO, 2012; DIAS et al., 2013; MARCUZZO, 2017).

Em função das características da região, da dispersão de dados e da distribuição das estações com informações pluviométricas, optou-se pelo método de interpolação matemática *topo-to-raster*. O procedimento foi executado no software ArcGis® através da ferramenta ArcToolbox – *Spatial Analyst Tool – Interpolation – Topo to Raster*.

Fator erodibilidade (K)

O mapa de solos base utilizado nesse estudo foi desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), na escala de 1:250.000 com classificação dos solos até o terceiro nível categórico.

Foram associadas às unidades pedológicas presentes na área de estudo os valores de erodibilidades encontrados na bibliografia. As referências dos valores de erodibilidade, a distribuição das unidades pedológicas presentes na bacia estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Passos (MG): Área e percentual de abrangência dos tipos de solo na bacia e valores do fator K para cada tipo de solo, (2020).

Unidade Pedológica*	Área(km ²)	Área (%)	K**	Fonte
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico – LVd	279,4	61,0	0,0061	Mannigel et al. (2002)
ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico – PVe	14,6	3,2	0,0228	Mannigel et al. (2002)
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico – PVAd	74,2	16,2	0,0466	Mannigel et al. (2002)
CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico – CXbe	59,5	13,0	0,0441	Mannigel et al. (2002)
NEOSSOLO LITOLICO Distrófico – RLd	30,2	6,6	0,0567	Castro et al. (2011)
Total	457,9	100,0		

*Unidades pedológicas que compõem a BHRB de acordo com o mapa de solos do IBGE; EMBRAPA (2019);

**t.ha.h/ha.MJ⁻¹.mm⁻¹;

Fonte - Elaboração própria.

No software ArcGis®, foi realizada a associação dos valores do fator de erodibilidade para cada tipo de solo na tabela de atributos. Após, o mapa foi convertido para o formato *raster* através da ferramenta *ArcToolbox – Conversion Tools – To Raster – Polygon to Raster*. O mapa do fator de erodibilidade foi classificado segundo Manninguel et al. (2002).

Fator Topográfico (LS)

Modelo Digital de Elevação (MDE) e Mapa de Declividade

A elaboração do MDE foi considerada como primeira etapa para realizar o cálculo do fator topográfico (Fator LS). O MDE teve como tamanho de célula de saída (pixel) de 10 metros. Foi gerado a partir da interpolação das curvas de nível, pontos cotados e canais de drenagem, extraídos das Cartas Topográficas dos municípios de Passos (Folha SF-23-V-A-VI-2), Fortaleza de Minas (Folha SF-23-V-A-VI-4) e Alpinópolis (Folha SF-23-V-B-IV-3) na escala de 1:50.000 (IBGE, 1970); e o limite da BHRB (COLLARES; GOMES; SANTOS, 2013).

Para interpolação dos dados supracitados foi utilizada a ferramenta *Topo to Raster*. A mesma ferramenta de interpolação foi utilizada com sucesso pelos autores (GIACOMIN et al., 2014; CARMO, 2014; FICHER et al., 2019). A ferramenta localiza-se no *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Interpolation – Topo-To-Raster*.

Posteriormente, o MDE gerado foi corrigido por meio do filtro (*Fill*) que elimina erros que podem ter sido gerados durante a sua elaboração, como depressões e picos que existem na paisagem.

O mapa de declividade foi elaborado em graus com auxílio da ferramenta *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Surface – Slope*, tendo como arquivo *raster* de entrada o MDE gerado nas etapas supracitadas. O mapa de declividade em graus foi utilizado no cálculo do Fator LS.

Cálculo do Fator LS

A metodologia utilizada para o cálculo do Fator LS foi a proposta por Moore e Burch (1986) que foi adaptada por Engel (2003), onde há o conceito de contribuição da área, contendo em sua formulação o fluxo acumulado e o comprimento do pixel, que são utilizados para estimar o comprimento da rampa (Equação 2). Essa metodologia também foi aplicada por Oliveira et al. (2014), Durães e Mello (2016) e Rodrigues et al. (2017).

$$LS = \left(FA \times \left(\frac{CS}{22,13} \right) \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{sen } S}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (2)$$

Em que:

FA = acúmulo de fluxo ou área de contribuição; CS = tamanho da célula do modelo digital de elevação, corresponde a 10 metros de resolução espacial da imagem de acúmulo de fluxo; e S = declividade em radianos calculada para cada pixel.

Para gerar o plano de informação do Fluxo Acumulado (FA) foram utilizados o MDE e as técnicas de delimitação de bacias hidrográficas e extensões hidrológicas (ENGEL, 2003).

Sendo assim, o FA foi gerado através da ferramenta *Hidrology*. Teve como dado de entrada o MDE após passagem na ferramenta *Fill*. Primeiro, gerou-se o plano de direção de fluxo, *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Hydrology – Flow Direction*. Logo após, com o plano gerado da etapa anterior (direção de fluxo), gerou-se o plano de informação de Fluxo Acumulado, *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Hydrology – Flow Accumulation*.

Fator Antrópico (CP)

Para obter o este plano de informação foi realizada a atualização do mapa de uso e cobertura da terra de Carvalho (2017). Para atualização foram utilizadas as imagens das bandas da câmera WPM do satélite CBERS-04A, de resolução de 2 m (banda pancromática) e 8 m (bandas multiespectrais), datadas de

29/07/2020 disponibilizadas pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020).

O processo de atualização foi realizado por meio da edição do mapa de uso e cobertura da terra utilizando ferramentas básicas do comando Editor do ArcGIS®. O mapa de uso e cobertura da terra foi sobreposto à imagem de satélite do CBERS-4A, tendo sido verificadas as áreas onde ocorreram mudanças nas classes. Posteriormente, foram reclassificadas considerando o uso e cobertura atual.

O mapa de uso e cobertura da terra foi classificado em dez classes, a saber: barramento, cultura anual, cultura permanente, estrada não pavimentada, estrada pavimentada, pastagem, silvicultura, solo exposto, área de vegetação natural e área urbanizada.

Os valores do fator antrópico foram definidos com base na literatura, de acordo com as classes de uso e cobertura da área de estudo. Nas classes de barramento (lâmina d'água), áreas urbanizadas e estradas pavimentadas (áreas impermeabilizadas) foi atribuído o valor 0, pois não há ocorrência de erosão para este tipo de uso. Para a classe de solo exposto foi atribuído o valor 1, pois não há nenhum tipo de cobertura que proteja o solo e, portanto, que influencie no processo de perda de solo do local. Para os demais usos foram atribuídos os valores propostos por Lino (2010), Stein et al. (1987), ANA (2012) e Galdino (2012).

O Fator P refere-se às práticas conservacionistas do solo e é definido em relação ao tipo de prática de conservação adotada para as classes de uso de solo com relação a perda de solo.

A partir da fotointerpretação de imagens de satélite, observou-se que grande parte das propriedades rurais adotam as técnicas de plantio em nível e terraços nas áreas agrícolas, sendo assim, foi adotado o valor de 0,5 para o fator P nas áreas de cultura temporária e permanente, valor de referência proposto por Bertoni e Lombardi Neto (2012). Para os demais usos foi adotado o valor de 1,0, que expressa a pior situação quanto a práticas conservacionistas do solo, a não adoção de nenhuma prática.

Potencial Atual à Erosão (PAE)

As matrizes (*raster*) referentes a cada fator da EUPS, foram geradas na resolução espacial de 10 m. A camada que direcionou a resolução foi a do Fator LS, gerado a partir do MDE. A escala de interpretação do mapeamento final é de 1:100.000, ou seja, de semi-detulhe, haja vista que os atributos básicos utilizados no mapeamento, exceto o mapa pedológico, apresentam escala entre 1:50.000 e 1:100.000.

O PAE é a modelagem da EUPS, que é produto dos fatores que representam as características do meio físico e antrópico, sendo a erosividade (R), erodibilidade (K), fator topográfico (LS) e fator antrópico (CP). O PAE foi calculado através do produto dessas matrizes, conforme Equação 3.

$$PAE = R \cdot K \cdot LS \cdot CP \quad (3)$$

Em que:

PAE = Potencial Atual à Erosão, expresso em t.ha⁻¹.ano⁻¹; R = fator erosividade da chuva, expresso em MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹; K = fator erodibilidade do solo, expresso em t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹; LS = fator topográfico, sendo L o comprimento de rampa e S a declividade, adimensional; e CP = fator antrópico, sendo C o tipo de cobertura do solo e P as práticas conservacionistas, adimensional.

A EUPS não simula a deposição de sedimentos em vertentes côncavas e as perdas de solo por erosão linear em fase avançada, por isso sua aplicação em escala regional deve ser realizada com ressalvas (LANZA, 2011; MATOS, 2015; MICHETTE, 2015). Diante desse pressuposto, recomenda-se que os resultados estimados não sejam interpretados quantitativamente e sim qualitativamente (MATOS; 2015; DURÃES e MELLO, 2016; RODRIGUES et al. 2017; CARVALHO, 2019).

Portanto, os valores numéricos do PAE foram transformados em classes qualitativas de perda de solo, classificados segundo a chave de interpretação proposta por Beskow et al. (2009). Essa chave de interpretação também foi utilizada pelos autores Oliveira et al. (2014), Rodrigues et al. (2017), Tavares et al. (2017), Mendes Junior et al. (2018), Carvalho (2019) e Tavares et al. (2019).

Para interpretar os valores do PAE, também foram adotados os valores de Tolerância de Perdas de Solos (TPS) para os tipos de solos que abrangem a BHRB, definidos pelos autores Manniguel et al. (2002) e Demarchi e Zimback (2014).

Pinto et al. (2020, p.68) afirmam que “uma das maneiras de avaliar se a taxa de erosão está em níveis aceitáveis é utilizando os valores do limite de TPS como parâmetro de comparação”. A TPS é variável com o tipo de solo e consiste em um “parâmetro que reflete a taxa máxima de erosão que ainda permitirá um nível de produção sustentável das culturas agrícolas” (LENSE et al. 2019, p.01).

Visita de campo

Foi realizada a visita de campo em nove pontos da BHRB. O critério de seleção para escolha dos pontos a serem analisados foi a variação dos índices de perdas de solo, sendo dos nove pontos, três pontos escolhidos estavam classificados com ligeira a moderada perda de solo; três pontos classificados entre moderada a alta perda de solo; e os outros três pontos na classificação de alta a extremamente alta perda de solo.

Um aparelho de *Global Positioning System* (GPS) da marca Garmim foi utilizado para localização dos mesmos. A visita teve como propósito o reconhecimento da área de estudo e a checagem dos pontos onde já haviam sido identificados a ocorrência de feições erosivas e práticas conservacionistas pelas imagens de satélite, a fim de comprovar a presença das práticas conservacionistas nas propriedades rurais e realizar a validação da modelagem a fim de confirmar se os resultados produzidos condizem com a realidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

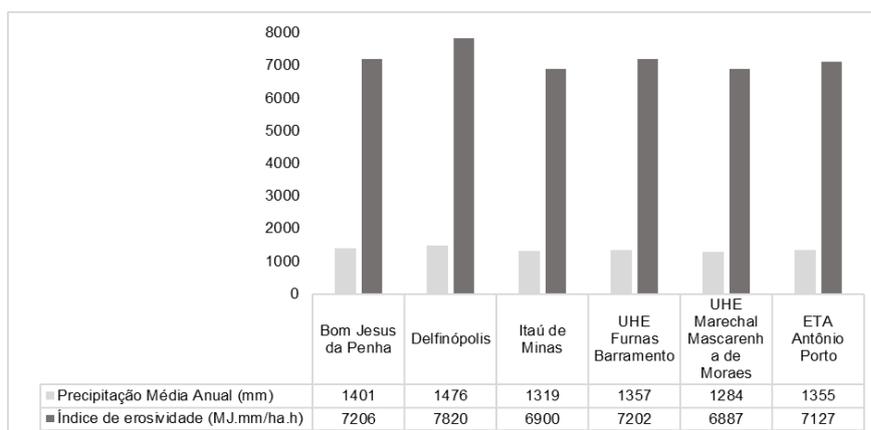
Erosividade (R)

A Figura 2 ilustra dois gráficos comparativos, sendo o gráfico A referente às médias anuais de precipitação, e o gráfico B ao índice de erosividade das estações pluviométricas (Fator R).

A estação de Delfinópolis foi a que apresentou maior índice de precipitação média anual, e consequentemente maior índice de erosividade. A estação da Usina Hidrelétrica (UHE) Marechal Mascarenhas de Moraes, localizada no município de Itaú de Minas-MG, apresentou menor índice de precipitação média anual e, por conseguinte, menor índice de erosividade.

O comportamento espacial erosivo em Minas Gerais não é influenciado pelas coordenadas geográficas e sim pelos efeitos orográficos, características climáticas e topográficas específicas de cada região (MELLO et al., 2007; AQUINO et al., 2012).

Figura 2 - Passos (MG): Gráfico comparativo do índice de precipitação média anual e Índice de erosividade da BHRB, (2020).



Fonte - Elaboração própria.

Andrade et al. (2018) destacaram que a erosividade tem forte relação com a frequência e quantidade de precipitações. Consideraram também que a precipitação tem potencial erosivo pelo impacto da gota de chuva e pelas condições de umidade do solo, o que pode favorecer o desprendimento das partículas de solo.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina possui erosividade média de 7190 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e amplitude de 6930 a 7284 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Segundo a classificação de Carvalho (1994) quanto ao potencial erosivo anual de precipitações, a erosividade média das chuvas da BHRB encontra-se na classe erosividade moderada a forte.

Silva (2004) estudou a erosividade média para precipitações no Brasil e encontrou valores que variaram de 3116 a 20.035 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Mello et al. (2007) estimaram e mapearam a erosividade média do estado de Minas Gerais, onde consideraram dados de precipitações diárias de 248 estações climatológicas e encontraram valores de 5000 a 12.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Já Aquino et al. (2012) realizaram um estudo de erosividade específico para região Sul do estado de Minas Gerais e constataram que a região apresenta índices elevados de erosividade, com amplitude de 5145 a 7776 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Erodibilidade

A classe de “muito baixa” erodibilidade predomina na área de estudo e representa 61,0% da área total da bacia. É representada pela unidade pedológica de Latossolo Vermelho Distrófico. De acordo com Eduardo (2012) e Arraes, Bueno e Pissara (2010), os Latossolos Vermelhos são solos intemperizados e bem estruturados fisicamente, ocorrendo em relevos mais planos. Apresentam tendência à rápida infiltração das águas de chuvas devido à alta permeabilidade, maior macroporosidade e a homogeneidade textural. Assim possuem um escoamento superficial lento e baixo acúmulo de água, sendo menos propícios a desencadear processos erosivos (EDUARDO, 2012; ARRAES; BUENO; PISSARRA, 2010; SILVA et al. 2009).

Na sequência, 13% da área de estudo apresenta solos de “média” erodibilidade os quais correspondem a unidade pedológica do Argissolo Vermelho Eutrófico. A classe de “alta” erodibilidade corresponde a 3,2% da área de estudo e equivale à unidade pedológica de Cambissolos Háplicos. Por fim, a classe de “muito alta” erodibilidade, que representa 22,8% da área da bacia, está associada as unidades pedológicas de Argissolo Vermelho-Amarelo (16,2%) e Neossolo Litólico (6,6%).

Os Cambissolos são solos menos evoluídos e de baixa permeabilidade, por essa razão são solos que apresentam alta suscetibilidade à erosão (SILVA et al. 2009; LANZA, 2011). Já os Neossolos Litólicos por serem solos jovens e rasos e terem saturação rápida de água, o que favorece o escoamento superficial e, conseqüentemente, a alta vulnerabilidade a processos erosivos (LANZA, 2011).

Já os Argissolos apresentam como característica uma camada subsuperficial de acúmulo de argila, com menor permeabilidade que a superfície do solo. Os comportamentos em relação ao gradiente textural presente nestes solos implicam em diferenças de infiltração dos horizontes superficiais e subsuperficiais, podendo haver a rápida saturação do horizonte superior, favorecendo o escoamento superficial e o transporte de sedimentos. Por essa razão, são solos suscetíveis à erosão laminar, principalmente quando ocorrem em relevos mais íngremes (LANZA, 2011; EDUARDO, 2012; ARRAES; BUENO; PISSARRA, 2010).

Os Latossolos Vermelhos são predominantes e localizam-se na região central da BHRB e, em razão das suas características pedológicas, que são solos mais desenvolvidos, geralmente bem drenados, profundos, mais estáveis, com alta porosidade e permeabilidade, são menos suscetíveis ao processo de erosão laminar.

Os solos mais vulneráveis à erosão laminar ocorrem em uma menor área da bacia. Localizam-se nas porções norte, sul, leste, sudeste e sudoeste da área de estudo e correspondem aos Argissolos Vermelho-Amarelo, Cambissolos Háplico e Neossolos Litólicos.

Fator topográfico (LS)

O Fator Topográfico (LS) para a BHRB oscilou entre 0 a 1,254 (adimensional), com média de 2,74. Na Tabela 3 é apresentada a distribuição das áreas em relação a cada intervalo do Fator LS.

Tabela 3 - Passos (MG): Distribuição do fator LS para a BHRB, (2020).

Intervalo (adimensional)	Área (km ²)	Área (%)	Área Acumulada (%)
0 a 2	232,1	50,7	50,7
2 a 4	102,8	22,4	73,1
4 a 6	51,3	11,2	84,3
6 a 8	28,5	6,2	90,6
8 a 10	16,6	3,6	94,2
10 a 20	23,1	5,0	99,2
> 20	3,6	0,8	100,0
Total	457,9	100,00	-

Fonte - Elaboração própria.

De acordo com o intervalo de distribuição das classes do fator topográfico, 94,2% dos valores de LS presentes na BHRB são menores que 10, o que segundo a classificação de Rodrigues et al. (2017) representa uma vulnerabilidade moderada a erosão associada ao fator topográfico. Em contraste, os 5,8% restantes representam áreas com alto potencial de erosão, principalmente nas regiões de cabeceiras ao sul da bacia, visto que essas áreas apresentam os maiores valores de LS.

Resultados semelhantes foram encontrados pelos autores Rodrigues et al. (2017) e Oliveira et al. (2014) para as Bacias Hidrográficas do Rio Cervo e do Rio Verde, respectivamente, ambas localizada no sul do estado de Minas Gerais, aplicaram a metodologia proposta por Moore e Burch (1986) para o cálculo do Fator Topográfico, onde foi observado 92% e 93%, respectivamente, dos valores de LS menores do que 10.

Fator Antrópico (CP)

Para cada classe de uso e cobertura da terra que compõem a área da BHRB foram atribuídos valores para o Fator CP descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Passos (MG): Distribuição das classes de uso e cobertura da Terra da BHRB, (2020).

Classes	Fator C	Fator P	Área (km ²)	Área (%)
Área urbanizada	0,0000 ¹	1,0	27,1	5,9
Barramento	0,0000 ¹	1,0	0,9	0,2
Cultura anual ou temporária	0,4283 ²	0,5 ⁵	191,3	41,1
Cultura permanente	0,1308 ²	0,5 ⁵	9,5	2,4
Estrada pavimentada	0,0000 ¹	1,0	0,4	0,1
Estrada não pavimentada	0,5000 ³	1,0 ³	7,5	1,6
Área de Vegetação Natural	0,0004 ¹	1,0	100,1	21,9
Pastagem	0,0610 ⁴	1,0	116,9	25,9
Silvicultura	0,0001 ¹	1,0	3,6	0,8
Solo exposto	1,0000 ¹	1,0	0,6	0,1
Total			457,9	100,0

¹ Stein et al. (1987); ² Lino (2010); ³ ANA (2012); ⁴ Galdino (2012); ⁵ Bertoni e Lombardi Neto (2012).

Fonte - Elaboração própria.

As áreas urbanizadas representam 5,9% da área total e estão localizadas na região central da bacia. Nelas incluem os condomínios, localidades rurais, aeroporto, chacreamento, sedes municipais e centro urbanos.

A cultura anual é a classe de maior predominância na área de estudo, ocupando 41,1% do total. As lavouras são representadas por cultivos de milho, cana-de-açúcar e soja. São culturas de comportamento dinâmico, já que variam ao longo do ano. Essas culturas possuem um ciclo vegetativo curto e periodicamente é necessário renovar os talhões. Nas áreas irrigadas, o plantio e a colheita são realizados durante todo o ano. Já nas áreas que não há irrigação, o preparo do solo e o plantio são realizados principalmente no final do período seco.

A classe de cultura permanente, ocupa 2,4% da área. Ela pode abranger mais de um tipo de cultura, porém, é representada na região principalmente pelo cultivo de café. Ocorrem, predominantemente, na região da cabeceira do Ribeirão Bocaina, localizado na região sul da bacia.

A silvicultura é caracterizada principalmente pelo cultivo de eucalipto, e representa 0,8% da cobertura da terra na área de estudo.

A área de vegetação natural abrange 21,9% da área e corresponde a terceira classe de maior percentual ocupando a área de estudo, sendo representada por matas e campo nativos.

A ocupação por pastagem é de 25,9% e corresponde a segunda classe de maior percentual ocupando a área de estudo. Já os barramentos de água representam somente 0,2% da área.

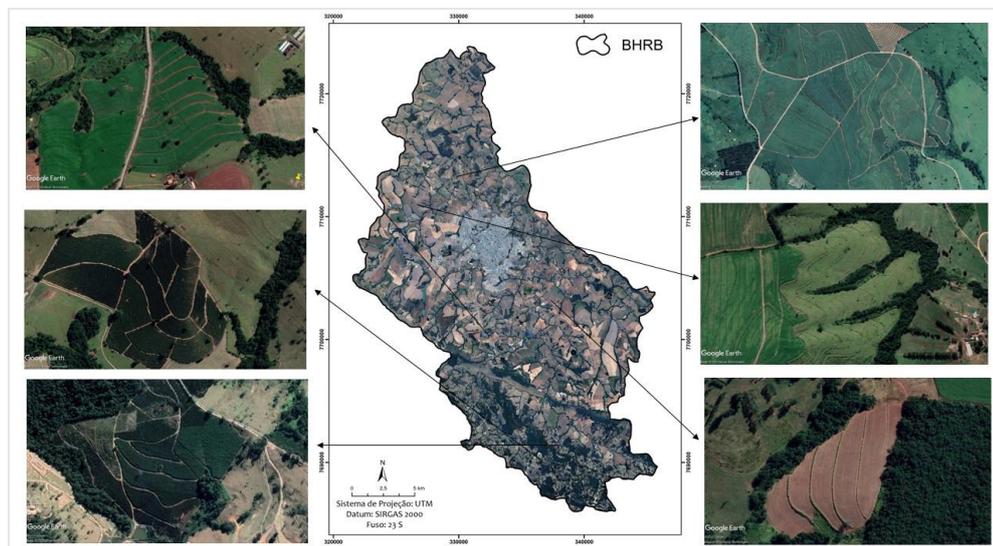
As áreas de solo exposto correspondem a 0,1% da área de estudo e correspondem às áreas desprovidas de qualquer uso e com solo sem proteção, por isso são considerados áreas mais vulneráveis à perda de solo.

Por fim, as classes de estrada não pavimentadas e de estradas pavimentadas perfazem, respectivamente, 1,6% e 0,1% da área total da bacia.

Na Figura 3 são ilustradas as práticas conservacionistas em áreas de cultura anual e permanente observadas na região da BHRB através das imagens de satélite.

A visita de campo permitiu confirmar que algumas propriedades adotam práticas conservacionistas do solo como plantio em nível e terraços nas áreas de cultura permanente e cultura anual ou temporárias.

Figura 3 - Passos (MG): Práticas conservacionistas (terraços e plantio em nível) identificados através de análise das imagens de satélite do Google Earth (2020).



Fonte - Google Earth (2020).

Potencial Atual à Erosão (PAE)

Observa-se que 55,4% da área apresentou perdas inferiores a $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, com predomínio da classe “ligeira” (Tabela 5). Esse resultado pode ser explicado com base nos baixos valores do fator K para os Latossolos, uma vez que eles ocupam 61% da área da bacia, e também devido à presença de valores CP inferiores a 0,0004 em 28,9% da bacia, correspondente a área de vegetação natural, silvicultura, barramentos e áreas impermeabilizadas (área urbanizada e estrada pavimentada). Esse fato explica

porque a área de vegetação natural oferece proteção ao solo, em razão da redução do o impacto das gotas de chuvas que podem causar a desagregação das partículas de solos. Já nas áreas construídas (área urbana), explica-se, pois, nessas áreas o pavimento das ruas e construções civis no geral representam a proteção total do solo, não havendo risco de ocorrência de processos por erosão laminar, porém, há risco de alagamentos visto que não há infiltração de água de chuva.

Tabela 5 - Passos (MG): Classes de perdas de solos por erosão laminar na BHRB, (2020).

Perda de Solo por Erosão Laminar		Área (km ²)	%
Perda de solo (t.ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Classes*		
0 – 2,5	Ligeira	181,8	39,7
2,5 – 5	Ligeira a Moderada	28,3	6,2
5 – 10	Moderada	43,4	9,5
10 – 15	Moderada a Alta	30,4	6,6
15 – 25	Alta	41,9	9,1
25 – 100	Muito Alta	89,2	19,5
> 100	Extremamente Alta	42,9	9,4
Total		457,9	100,0

*Classificação segundo Beskow et al. (2009).

Fonte - Elaboração Própria.

Em contrapartida, 44,6% da bacia apresentou perdas superiores a 10 t.ha⁻¹ano⁻¹. Nestas áreas há predomínio da classe “muito alta”, devido a 39% da área da bacia apresentar solos mais suscetíveis à erosão (Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos), e associadas a 71,1% das áreas com valores CP superiores a 0,01, correspondentes ao uso de cultura anual, cultura permanente, solo exposto, estrada não pavimentada e pastagem, o que indica a existência de áreas susceptíveis a processos erosivos, evidenciando a necessidade de adoção de práticas conservacionistas do solo.

Essa mesma observação foi relatada no trabalho de Souza e Gasparetto (2012), nas áreas classificadas com “alta” perda de solo estavam associadas às unidades pedológicas de Argissolos e Neossolos Litólicos, e com uso e cobertura do solo destinados as culturas agrícolas.

Na Tabela 6 são apresentados os valores de perda de solo para cada intervalo de vulnerabilidade à erosão e para cada unidade pedológica. O Argissolo Vermelho-Amarelo foi o responsável por grande parte da vulnerabilidade “extremamente alta” da bacia, sendo que dos 9,4% identificados, este contribuiu com 4,8%. Esses valores podem ser explicados pela combinação do elevado valor do fator K com usos predominantes de cultura anual e pastagem.

Tabela 6 – Passos (MG): Variação da perda de solo (%) para os tipos de solos da BHRB, (2020)

Tipo de Solo	Intervalo de perda de solo (t.ha ⁻¹ ano ⁻¹)							Total (%)
	0 – 2,5	2,5 – 5	5 – 10	10 – 15	15 – 25	25 – 100	>100	
LVd	24,1	5,6	8,6	5,7	7,3	9,3	0,4	61,0
CXbe	0,9	0,0	0,0	0,1	0,1	0,8	1,3	3,2
PVAd	4,5	0,2	0,4	0,5	0,8	5,0	4,8	16,2
PVe	6,4	0,1	0,4	0,2	0,8	3,7	1,4	13,0
RLd	3,8	0,3	0,1	0,1	0,1	0,7	1,5	6,6
Total (%)	39,7	6,2	9,5	6,6	9,1	19,5	9,4	100,0

Fonte - Elaboração própria.

É possível observar que dos 19,5% correspondentes a classe de vulnerabilidade “Muito Alta”, 9,3% é composta por Latossolos, seguido de 5,0% de Argissolo Vermelho-Amarelo. O fato da maior prevalência de Latossolos nessa classe pode ser explicado pela influência dos outros fatores da EUPS, como o CP e o LS. São áreas onde há ocorrência de solos com erodibilidade baixa (Latosolos), porém com LS elevado e uso e cobertura referente a culturas anuais ou pastagens.

Na classe de vulnerabilidade “ligeira” que corresponde a 39,7% da área, há predomínio de 24,1% da unidade pedológica de Latossolo. Os Latossolos apresentam baixos valores de erodibilidade e consequentemente menor suscetibilidade à erosão.

A Tabela 7 apresenta a distribuição da vulnerabilidade à erosão por classes de uso e cobertura da terra. Dos 39,7% da área na classe “ligeira”, 19,2% estão localizadas em área de vegetação natural, isso significa que essas áreas estão protegidas contra a perda de solo por conta da vegetação.

Tabela 7 - Passos (MG): Variação da perda de solo (%) para as classes de uso e cobertura da Terra da BHRB, (2020).

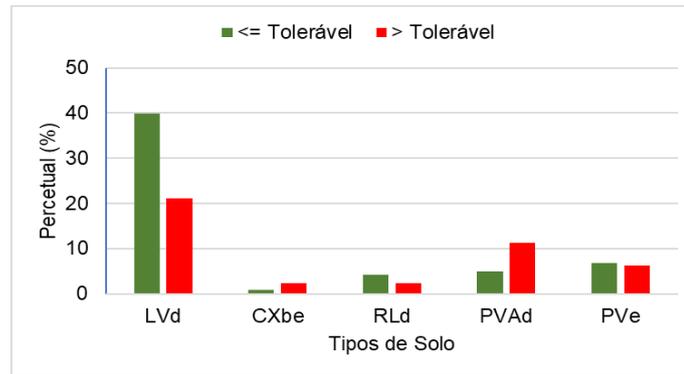
Classes de uso e cobertura da Terra	Intervalo de perda de solo (t.ha ⁻¹ ano ⁻¹)							Total (%)
	0-2,5	2,5-5	5-10	10-15	15-25	25-100	>100	
Área urbanizada	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
Barramento	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Cultura anual	6,8	3,4	5,7	4,3	6,3	10,6	4,0	41,1
Cultura permanente	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,7	0,5	2,4
Estrada pavimentada	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Estrada não pavimentada	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,7	1,6
Área de Vegetação Natural	19,2	0,5	0,4	0,2	0,3	0,8	0,5	21,9
Pastagem	5,9	2,1	3,1	1,8	2,2	7,2	3,6	25,9
Silvicultura	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
Solo exposto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Total (%)	39,7	6,2	9,5	6,6	9,1	19,5	9,4	100,0

Fonte - Elaboração própria.

A classe de vulnerabilidade “muito alta” ocorre em 19,5% da área, desse total 10,6% ocorre em áreas de cultura anual e 7,2% em áreas de pastagem. A classe de vulnerabilidade “extremamente alta” ocorre em 9,4% da área da bacia, desse total 3,6% ocorre em áreas de pastagem e 4,0% em áreas de cultura anual. Esse fato evidencia que as áreas com cultura anual e pastagem são as mais suscetíveis à erosão laminar na região de estudo.

Ao analisar as perdas de solo em termos de TPS de cada unidade pedológica, nota-se que 43,3% da área total da bacia tem perda de solo superior ao limite máximo tolerável, indicando a degradação destes solos. São áreas que não estão sendo usadas e manejadas conforme as suas limitações naturais, esse fato evidencia a deficiência da gestão de uso da terra na BHRB. Na Figura 4 é apresentado um gráfico comparando os percentuais de perda de solo por unidades pedológicas que estão acima ou abaixo do limite máximo tolerável de perda para cada tipo de solo.

Figura 4 - Passos (MG): Percentual da área da bacia com perdas de solo acima e abaixo ao limite de tolerância para cada tipo de solo, (2020).

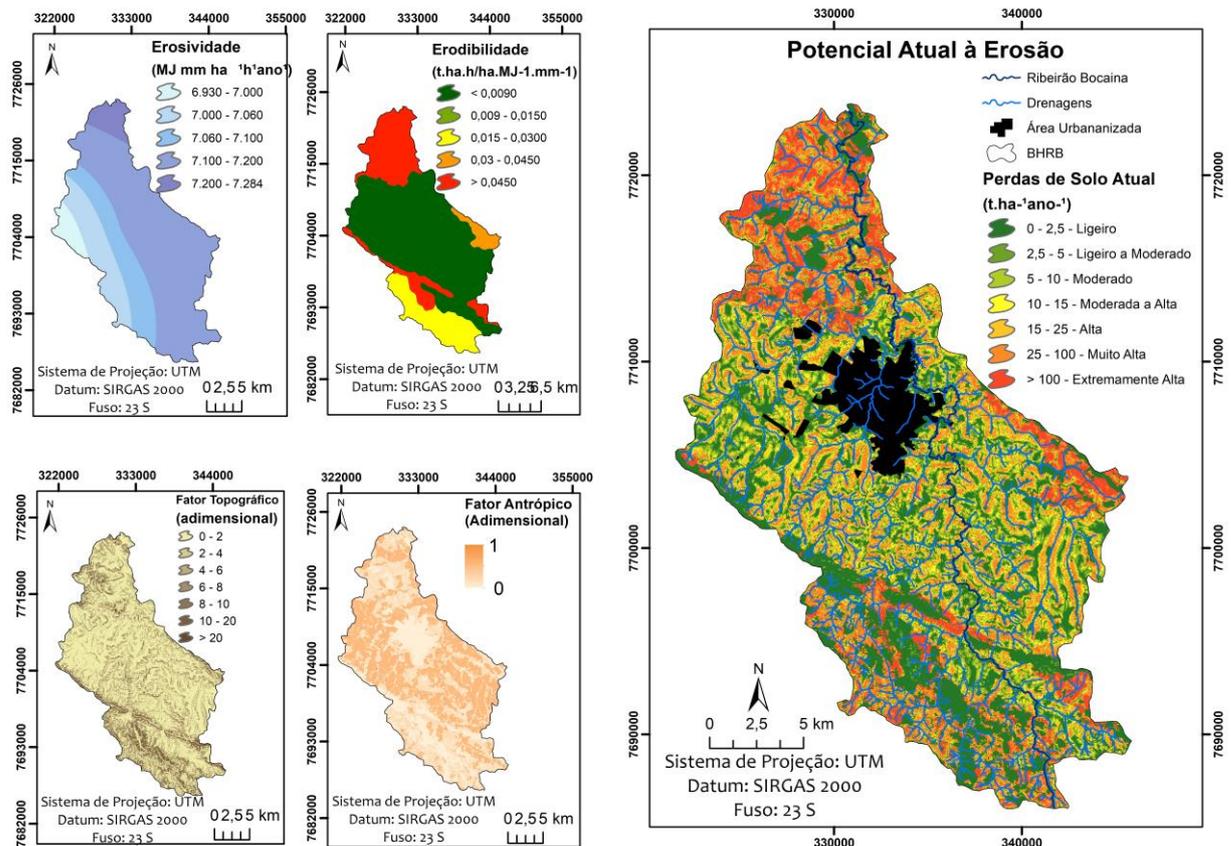


Fonte - Elaboração própria.

Os solos que apresentam o maior percentual acima do limite de tolerância são os Cambissolos Háplicos e o Argissolo Vermelho-Amarelo. São os solos de alta erodibilidade, sendo assim mais suscetíveis à erosão. Estão associadas às áreas de cultura anuais ou permanentes e alto valores de LS.

Os Neossolos Litólicos ocupam 6,6% da área da bacia. É a unidade pedológica que apresenta maior valor de erodibilidade e sua localização está em área com elevado valor LS. Porém, 4,1% da área dessa unidade na bacia corresponde ao uso de área de vegetação natural, protegendo o solo contra o processo de erosão laminar, evitando que o solo seja degradado e não ultrapassando o limite de perda tolerável natural. Na Figura 5 é representado a distribuição espacial do Potencial Atual à Erosão da BHRB.

Figura 5 - Passos (MG): Potencial Atual à Erosão da BHRB, (2020).



Fonte - Elaboração própria.

Quanto a distribuição espacial da perda de solo da bacia verifica-se que os valores acima de 25 t.ha⁻¹ano⁻¹, enquadrados entre as classes “alta” a “extremamente alta” suscetibilidade à erosão, estão associadas às áreas mais íngremes (elevado valor do fator LS), em áreas de pastagem, culturas agrícolas e solo exposto, e com ocorrências de solos com maior erodibilidade. O alto valor do fator topográfico também favorece a suscetibilidade à erosão (BAPTISTA, 2003).

Os métodos direcionados à redução da erosão hídrica laminar devem estar voltados principalmente para a diminuição dos impactos provenientes da precipitação e também na redução da capacidade de transporte pelo fluxo superficial. O manejo adequado do solo e a manutenção da cobertura vegetal são medidas eficientes nesse âmbito (EMBRAPA, 1995).

Assim, a EUPS pode ser utilizada como instrumento de planejamento ambiental de bacias hidrográficas e pode colaborar como um indicador da qualidade ambiental, pois a mesma reflete as condições do meio natural e social, objetivando uma visão holística do espaço (FARINASSO et al., 2006; VIEL; ROSA; HOFF, 2017).

Quando um solo é exposto ao processo erosivo o solo fica infértil (DECHEN et al., 2015). O volume de insumos para repor a fertilidade do solo a índices que permitem obter adequada produtividade pode ser economicamente inviável. Esse fato evidencia que a manutenção da cobertura do solo, bem como a adoção de práticas conservacionistas são medidas viáveis e fundamental para minimizar os efeitos negativos da erosão hídrica sobre os solos agrícolas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da modelagem empírica EUPS integrada ao SIG, demonstrou ser uma ferramenta eficaz para avaliar qualitativamente a vulnerabilidade à erosão do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina.

Os resultados demonstraram que a BHRB apresenta 55,4% da sua área total com perdas de solo menores que 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹, com predomínio da classe “ligeira” e 44,6% da área com perdas maiores que 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹ com predomínio da classe “muito alta”. Esse resultado indica que apesar de mais da metade da área da bacia ser menos vulnerável à erosão laminar, ainda existem muitas áreas com perdas de solo elevadas, principalmente em áreas de culturas agrícolas, com erodibilidade média a alta e declividade acentuada. Assim, há necessidade de implementação de práticas de conservação, manejo e readaptação do uso do solo para reduzir a vulnerabilidade à erosão nessas áreas.

Os fatores que mais influenciaram no alto potencial atual à erosão foram o K e o CP. A classe de vulnerabilidade “muito alta” ocorre em 19,7% da área, desse total 10,6% ocorre em áreas de cultura anual e 7,2% em áreas de pastagem. A classe de vulnerabilidade “extremamente alta” ocorre em 9,4% da área da bacia, desse total 3,6% ocorre em áreas de pastagem e 4,0% em áreas de cultura anual.

Na bacia, as áreas com cultura anual e pastagem são as mais suscetíveis à erosão laminar. Portanto, são as áreas que requerem monitoramento e estudos quanto ao adequado manejo e adoção de práticas conservacionistas do solo.

Em 43,3% da área total da bacia há perda de solo superior ao limite máximo tolerável, indicando a existência degradação desses solos.

Os resultados desta pesquisa podem contribuir para a sociedade no geral e para gestão pública municipal como uma ferramenta de auxílio para tomada de decisões ao fornecer subsídios para um planejamento ambiental e conservacionista do uso dos solos e recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina. Os resultados da pesquisa também são úteis para direcionar áreas prioritárias para recuperação florestal/ambiental no âmbito de programas ambientais, bem como poderá ser útil para a implementação de programas de pagamentos por serviços ambientais, ao fornecer informações mais fidedignas acerca da perda de solos na área.

Recomenda-se para um estudo mais específico, definir os diferentes tipos de culturas agrícolas e os graus de cobertura de vegetação para cada tipo de pastagem e seus respectivos valores do fator C. A Definição de práticas conservacionistas que podem ser empregadas nas culturas agrícolas e pastagens para minimizar o processo de erosão hídrica.

Quanto a erosividade, recomenda-se a utilização de dados de pluviógrafos, contendo as informações sobre energia cinética das gotas de chuva e classificação das chuvas quanto a erosividade. No entanto, mesmo utilizando dados mensais de séries históricas de estações pluviométricas próximas, com auxílio de

técnicas geoestatísticas no preenchimento de falhas de dados climatológicos, os resultados obtidos de erosividade foram satisfatórios para a aplicação da EUPS na BHRB.

REFERÊNCIAS

- ALEWELL, C.; BORELLI, P.; MEUSBURGER, K.; PANAGOS, P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. **International soil and water conservation research**, v.7, n.3, p. 203-225, 2019. doi:10.1016/j.iswcr.2019.05.004. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANA - Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. – **HIDROWEB: Séries históricas**. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas> > Acesso em: 10 mar. 2020.
- _____. **Manual Operativo do Programa Produtor de Água**. Agência Nacional de Águas. 2ª Edição. Brasília: ANA, 2012. 66 p.
- ANDRADE, A. S.; SOUSA, W. G.; SIQUEIRA, M. S.; LIMA, S. L.; SILVA, M. T. Erosividade da chuva: Estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Submédio Rio Grande. **Revista Paisagens & Geografia**, v. 3, número especial, p. 10-20, 2018.
- AQUINO, R. F.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F. de; CURTI, N.; MELLO, C. R. de; AVANZI, J. C. Spatial variability of the rainfall erosivity in Southern region of Minas Gerais State, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia** Lavras, v. 36, n.5, p. 533-542, set./out., 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000500006>
- ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade de solo para fins conservacionistas na microbacia Córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n.6, p. 849-857, nov./dez., 2010.
- BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico Ambiental de Erosão Laminar: Modelo geotecnológico e aplicação**. Brasília: Universa, 2003.140 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8ªed. São Paulo: Ícone, 2012.
- BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; CURTI, N.; VIOLA, M.R.; AVANZI, J.C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, [S.l.], v. 79, n. 1, p. 49-59, maio, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo temporal e espacialização mensal e anual das chuvas na parte brasileira da bacia do Rio Paraguai. In: **Repositório Institucional de Geociências – CPRM**, 2012, p. 01-10. Disponível em < <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/1094>> Acesso em: 15 ago. 2020.
- CARMO, E. J. do. **Avaliação dos interpoladores krigagem e topo to raster na geração de modelos digitais de elevação**. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.
- CARVALHO, A. C. P. **Integração de atributos morfométricos e geotécnicos para definição de zonas sujeitas à inundação na Bacia do Ribeirão Bocaina (MG)**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2017.
- CARVALHO, M. B. de. **Comparação de abordagens metodológicas para avaliação do potencial de ocorrência de processos erosivos na Bacia Hidrográfica do Córrego do Jaú, Aparecida D'Oeste – SP**. 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2019.
- CASTRO, W. J.; LEMKE-DE-CASTRO, M. L.; LIMA, J. de O.; OLIVEIRA, L. F. C. de; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C. C. de. Erodibilidade de solos do Cerrado Goiano. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, [S.l.], v.4, n.2, p. 305-320, maio/ago, 2011.

- COLLARES, E. G.; GOMES, D. M. Geologia. In: COLLARES, E, G. **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos afluentes mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**, Passos: Edifesp, 2013. p. 154-164. [https://doi.org/10.14198/GEOGRA2016.7.87\(6\)](https://doi.org/10.14198/GEOGRA2016.7.87(6))
- COLLARES, E. G. GOMES, D. M.; SANTOS, B. M. dos. Compartimentação em macrounidades e unidades ambientais. In: COLLARES, E, G. **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos afluentes mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Metodológicos**. Passos: Edifesp, 2013. p. 49-62.
- COLLARES, A. C. Z. B.; GOMES, D. M.; SILVA, J. A.; PEREIRA, S. A.; COLLARES, E.G. Hidrografia e caracterização morfométrica. In: COLLARES, E, G. **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos afluentes mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Metodológicos**, Passos: Edifesp, 2013. p. 153-162.
- COLLARES, E. G.; JACÓ, A. P.; CARVALHO, A. C. P. Uso do zoneamento ambiental do médio rio grande na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Bocaina - Passos/MG. **GeoGraphos**, v. 7, n. 87, 1-18 p. jun. 2016
- DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. de F.; MARIA, I. C. de. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, [s.l.], v. 74, n. 2, p. 224-233, abr. 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0363>
- DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29., n.2, p. 102-114, abr.-jun., 2014. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n2p102-114>
- DIAS, C. C.; PEJON, O. J.; SILVA, J. A.; COLLARES, A. C. Z. B.; COLLARES, E. G. Aspectos Metodológicos: Clima. In: COLLARES, E. G. **Zoneamento Ambiental das Sub-Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande**. Passos: Edifesp, 2013. Cap. 14. v.1 p. 138-152.
- DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. de. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l.], v. 21, n. 4, p. 677-685, out./dez. 2016. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016121182>
- EDUARDO, E. N. **Determinação da erodibilidade e do fator de cobertura e manejo do solo sob condições de chuva natural e simulada**. 2012. 47 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. – **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1995. 65 p.
- ENGEL, B. **Estimating soil erosion using RUSLE - Using Arcview**. Purdue University, 2003.
- ESRI – Environmental Systems Reserch Institute. **ArcGIS**. Versão 10.5.1. [S.l.]: ESRI. 2016.
- FANTE, K. P.; SANT'ANNA NETO, J. L. Aplicação de técnicas geo-estatísticas em análises climatológicas: Metodologias para preenchimento de falhas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA: Uso e ocupação da terra e as mudanças das paisagens, 15, 2013, Vitória. **Anais....** Vitória: CCHN, 2013. p. 782-790.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. – **Status of the World's Soil Resources: Main Report**. Roma: Intergovernmental Technical Panel on Soils – ITPS, 2015.
- FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A.T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS - Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba- PI/MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, n. 2, p. 73-85, dez., 2006. <https://doi.org/10.20502/rbg.v7i2.80>
- FICHER, K.; PEREIRA, D.; ALMEIDA, A. OLIVEIRA, J. Water Basin Delimitation in a Relief Transition Region. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 26, n.3, p. 01-12, 2019. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.101017>

FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **IFDM (Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal)**. 2018. Disponível em: <<https://www.firjan.com.br/ifdm/consulta-ao-indice/>>. Acesso em: 03 jun. 2020.

FOURNIER, F. **Climat et erosion**. Paris, Press Universitaires de France, 1960. 201 p.

GALDINO, S. **Estimativa da perda de terra sob pastagens cultivadas em solos arenosos da bacia hidrográfica do Alto Taquari – MS/MT**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. p.115. 2012.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. A. A.de; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). **Revista Ambiência**, Guarapuava (PR), v. 8, n. 1, p. 61-71, jan./abr. 2012. <https://doi.org/10.5777/ambiencia.2012.01.05>

GIACOMIN, G., CARVALHO, M. B.; SANTOS, A. de P.; MEDEIROS, N. das G.; FERRAZ, A.S. Análise comparativa entre métodos interpoladores de modelos de superfícies. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 66, p. 1315-1329, nov/dez. 2014 ISSN: 1808-0936.

GOOGLE. **Google Earth**. Versão 7.3. 2020. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>> Acesso em: 26 ago. 2020.

GUIÇARDI, A. C. F. **Estimativas das perdas de solo por erosão hídrica pela RUSLE e EPM na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Pedra Branca, Alfenas – MG**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, p. 74. 2018

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações estatísticas 2020**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/passos/panorama>> Acesso em: 03 jun.2020.

_____. **Sinopse do Censo Demográfico 2010** <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=29&uf=31>> Acesso em: 02 nov. 2020.

_____. **Malha Municipal**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/15774-malhas.html?=&t=o-que-e> Acesso em: 16 set. 2020.

_____. **Folhas Topográficas**. 1970. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/folhas-topograficas/15809-folhas-da-carta-do-brasil.html?edicao=16041&t=downloads> Acesso em: 15 jun. 2019.

_____.; EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019 - Escala 1:250.000. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=downloads>> Acesso em: 08 jun. 2020.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. . **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2016: resumo executivo**. Belo Horizonte: IGAM, 2017. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2017/INFORMATIVO_RD/Resumo_Executivo_completo_2016.pdf> Acesso em: 13 out. 2020.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. . **Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa** (BDMEP). 2020. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>> Acesso em: 14 ago. 2019.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Geração de Imagens: **Imagem WPM/CBERS, 29/07/2020**. 2020. Disponível em:< <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>> Acesso em: 31 maio 2021.

JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, J. R. I.; SILVA, M, J.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SOUZA, R.; SOUZA, E. S. Modelagem da perda de solo por erosão hídrica em Planossolo Háplico. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.2, p. 6826-6834, fev. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-107>

JUNQUEIRA, R.; AMORIM, J. da S.; OLIVEIRA, A. S. de. Comparação entre diferentes metodologias para preenchimento de falhas em dados pluviométricos. **Sustentare**, Rio Verde, v. 2, n. 1, p. 198-210, jan./jul. 2018. ISSN: 2526-690X. <https://doi.org/10.5892/st.v2i1.4982>

LANZA, D. S. **Diagnóstico da erosão laminar na Alta e Média bacia do Rio Paraopeba**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2011, 151 p.

LEDRA, L. **Métodos de preenchimento de falhas de dados pluviométricos**: Comparações para dados de 24 horas na cidade de Joinville, SC. 2017. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017.

LENSE, G. H. E.; PARREIRAS, T. C.; MOREIRA, R. S.; AVANZI, J. C.; MINCATO, R. L. Estimates of soil losses by the erosion potential method in tropical latosols. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 43, p. 01-10, jan. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054201943012719>.

LIMA, G. S. A.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Modelagem da perda superficial de solo para cenários de agricultura e pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.], v. 70, n.7, p. 1510-1536, out./dez. 2018. <https://doi.org/10.14393/rbcv70n4-46513>

LINO, J.S. **Evolução do Sistema Plantio Direto e produção de sedimentos no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. p. 119. 2010.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 51, n.2, p 189-196, [S.I.], 1992. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051992000200009>

MAGRI, R. A. F. **Análise de suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação e Área de concentração em Geotécnica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade do Estado de São Paulo, São Carlos, 2013.

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, [S.I.], 2002. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2374>

MARCUZZO, F. F. N. Precipitação pluviométrica mensal e anual espacializada no território do município de Penápolis/SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSO HÍDRICO, 22, 2017, Florianópolis/SC. **Anais [...]**. Florianópolis/SC: ABRH, 2017. p. 01-08

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R. de.; MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 4, p. 793-804, dez. 2011. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i4.232714>

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R.; COSTA, H. C. Sazonalidade e Distribuição Espaço-Temporal das Chuvas no Bioma do Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.I.], v.17, n.1, p.77-86, jan./mar.2012. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v17n1.p77-86>

MATOS, T. V. da S. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE)**. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MELLO, C. R.; DE SA, M. A. C.; CURTI, N.; DE MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; DA SILVA, A. M. Monthly and annual rainfall erosivity for Minas Gerais State. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (Brazil)**, 2007.

MELLO, Y.R. de; KOHLS, W.; OLIVEIRA, T. M. N. de. Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 112-121, ago., 2017. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i1.30893>

MENDES JUNIOR, H.; TAVARES, A. S.; SANTOS, W. J. R. dos; SILVA, M. L. N.; SANTOS; B. R.; MINCATO, R. L. Water Erosion in Oxisols under Coffee Cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 42, p.1-14, jul., 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20170093>.

MICHETTE, J. F. **Modelos de previsão de erosão pluvial utilizando SIG**: estudo na bacia hidrográfica da Represa do Lobo (Broa), SP. 2015. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

MICROSOFT. **Word**. Versão 2016. [S.I.]: Microsoft Corporation. 2016.

MICROSOFT. **Excel**. Versão 2016. [S.I.]: Microsoft Corporation. 2016.

MOORE, I. D.; BURCH, G. F. Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of American Journal**, v. 50, 1986. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x>

OLIVEIRA, L. F. C. de; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p. 1186-1192, jan. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001100008>

OLIVEIRA, V. A. de; MELLO, C. R. de; DURÃES, M. F.; SILVA, A. M. da. Soil erosion vulnerability in the verde river basin, Southern Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.38, n.3, p.262-269, mai./jun, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000300006>

PEREIRA, J. S. **Avaliação das perdas de solos por erosão laminar na área de influência da UHE Amador Aguiar I**. 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

PINTO, G. S.; SERVIDONI, L. E.; LENSE, G. H. E.; MOREIRA, R. S.; MINCATO, R. L. Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o Método de Erosão Potencial. **Revista do Departamento de Geografia**, [S.I], v. 39, p. 62-71, jun. 2020. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160233>

RODRIGUES, J. A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; RODRIGUES, M. C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Cervo – MG. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 531 - 542, dez. 2017. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i3.11695>

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Relatório Pluviométrico Anual de 2009 a 2019**. ETA Web. SAAE de Passos. 2019.

SALIS, H.H.C.; COSTA, A.M.; VIANA, J.H.M. Estimativa da perda anual de solos na Bacia Hidrográfica do Córrego Marinheiro, Sete Lagoas – MG, por meio da RUSLE. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 37, n.1, p. 101-115, 2019. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v37i1.37213>

SÁ JUNIOR, A. de. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SÁ-RIGOLIN, O; PEREIRA, K. C.; PEREIRA, K. C. Avaliação da qualidade da água do ribeirão Bocaina, manancial de abastecimento do município de Passos (MG). In: SÁ-RIGOLIN, O. (Org.) **Bacias Hidrográficas: Estudos do Rio Grande no Sudoeste de Minas Gerais – Brasil**. Passos: Edifesp, 2012 p. 147-160.

SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, [S.I], v. 57, n.3 p. 251- 259, ago. 2004. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1811-1820, [S.I], 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600029>

SOARES, L.S.; CASTRO, A.C.; LOPES, W. G.; SILVA, E. V.; ARAÚJO, G.M.; FRANÇA, V.L.; SANTOS, P.V.C.J. Erosive Potential in Sub-basins of the Lower Itapecuru River in the State of Maranhão, Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I], v. 10, n.04, p. 1027-2045, [S.I], 2017. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p>

SOUSA, F.R.C.; PAULA, D.P. Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará-Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia (Online)**, São Paulo, v. 20, n.3, p. 491-507, jul./set. 2019. <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1393>

SOUZA, V.; GASPARETTO, N. V. L. Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) na Bacia do Córrego Pinhalzinho Segundo, Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s.I], v. 13, n.3, p. 267-278, jul./set. 2012. <https://doi.org/10.20502/rbg.v13i3.191>

SOUZA, A. R.; DUPAS, F. A.; DRUMMOND, I. N.; COSTA, C. W. Zoneamentos da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: É possível usar a USLE na determinação de vulnerabilidade ambiental? **Revista Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 38, n.4, p. 1105-1119, [S.I],

2019. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i4.14083>

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe – Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO, 3., 1987, Marília. **Anais...ABGE/DAEE**, 1987. v.1, p. 105-135.

TAVARES, A. S.; MENDES JUNIOR, H.; SPALEVIC; MINCATO, R. L. Modelos de erosão hídrica e tolerância das perdas de solo em latossolos distróficos no sul de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 17., 2017, Campinas, **Anais...** Campinas: Unicamp, 2017, p. 7221 – 7232. DOI - 10.20396/sbgfa.v1. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1915>

TAVARES, A. S.; SPALEVIC, V.; AVANZI, J. C.; NOGUEIRA, D. A.; SILVA, M. L. N.; MINCATO, R. L. Modeling of water erosion by the erosion potential method in a pilot subbasin in southern Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 555-572, mar./abr., 2019. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p555>

VIEL, J. A.; ROSA, K. K.; HOFF, R. Avaliação do efeito do dossel vegetativo na estimativa da perda de solo em área de vinhedo usando SIG. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 69, p. 411-420, 2017.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide for conservation planning. 63 p., USDA. **Agriculture Hand Book**, n. 537, 1978.

XAVIER, J. P. S., BARROS, A. H. C., WEBBER, D. C., ACCIOLY, L. J. O., MARQUES, F. A., ARAÚJO FILHO, J. C., SILVA, A. B. Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n.03, p. 859-875, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p859-875>

Recebido em: 02/02/2021

Aceito para publicação em: 07/06/2021