

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA.
BACHARELADO EM AGRONOMIA

LUCAS LEITE COSTA

**GEOTECNOLOGIAS NA ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO ANUAL EM
MICROBACIA HIDROGRÁFICA, NO SUDESTE DO BRASIL**

SÃO JOÃO EVANGELISTA-MG

2022

LUCAS LEITE COSTA

**GEOTECNOLOGIAS NA ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO ANUAL EM
MICROBACIA HIDROGRÁFICA, NO SUDESTE DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Me. Gildriano Soares de Oliveira.
Coorientador (a): D.Sc. Mayara Maria de Lima Pessoa.

SÃO JOÃO EVANGELISTA-MG

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

C837g Costa, Lucas Leite
Geotecnologias na estimativa da perda de solo anual em microbacia
hidrográfica no Sudeste do Brasil / Lucas Leite Costa. – 2023.
33 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) - Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus
São João Evangelista, 2023.

Orientação: Prof. Me. Gildriano Soares de Oliveira.
Coorientação: Profa. Dra. Mayara Maria de Lima Pessoa.

1. Equação Universal de Perda de Solos. 2. Geoprocessamento. 3.
Microbacia do Rio São Nicolau. 4. I. Lucas Leite Costa. II. Título.

CDD: 631

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA.
BACHARELADO EM AGRONOMIA

LUCAS LEITE COSTA

**GEOTECNOLOGIAS NA ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO ANUAL EM
MICROBACIA HIDROGRÁFICA, NO SUDESTE DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Instituto Federal de Minas
Gerais - Campus São João Evangelista
como exigência parcial para obtenção do
título de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em ...11... / ...07... / ...2022...

BANCA EXAMINADORA



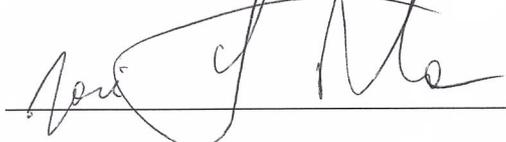
Orientador Prof. Me. Gildriano Soares de Oliveira

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista



Prof^ª. Me. Tamires Partelli Correia

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista



Prof. Dr. José Roberto de Paula

Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

RESUMO

Este trabalho apresenta a aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) na estimativa média de perda de solo anual para a microbacia do rio São Nicolau que tem contribuição hídrica à bacia hidrográfica do rio Suaçuí fazendo parte da macro bacia do rio Doce. Objetivou-se com este trabalho estimar espacialmente a perda de solo anual utilizando ferramentas e técnicas de geotecnologias para analisar os principais processos erosivos presentes na microbacia em estudo localizada no perímetro urbano do município de São João Evangelista, MG. Os fatores analisados foram: a erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento de declive, grau de declive, uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas. Verificou-se que a micro bacia do rio São Nicolau apresenta pequenas áreas bem delimitadas de maior vulnerabilidade a perda de solo e 95% de sua área com perda de solo baixa a moderada. Este estudo demonstra a importância da aplicação da USLE, que associada a geotecnologias é uma ótima ferramenta para compreender como a erosão laminar ocorre na área de estudo.

Palavras-chave: Equação Universal de Perda de Solos; Geoprocessamento; Micro Bacia Rio São Nicolau.

ABSTRACT

This work presents the application of the Universal Soil Loss Equation (USLE) in the average annual soil loss estimate for the São Nicolau river watershed, which has water contribution to the Suaçuí river basin, forming part of the Doce river macro basin. The objective of this work was to spatially estimate the annual soil loss using geotechnological tools and techniques to analyze the main erosive processes present in the microbasin under study located in the urban perimeter of the municipality of São João Evangelista, MG. The factors analyzed were: rainfall erosivity, soil erodibility, slope length, slope degree, soil use and management and conservation practices. It was found that the São Nicolau river microbasin has small, well-defined areas of greater vulnerability to soil loss and 95% of its area has low to moderate soil loss. This study demonstrates the importance of applying the USLE, which associated with geotechnologies is a great tool to understand how laminar erosion occurs in the study area.

Keywords: Universal Soil Loss Equation; Geoprocessing; São Nicolau River Micro Basin.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da microbacia do rio São Nicolau.	15
Figura 2 - Mapa de solos da microbacia do rio São Nicolau.....	16
Figura 3 - Tela de apresentação do NetErosividade MG.	18
Figura 4 - Mapa de erosividade.	22
Figura 5 - Mapa de erodibilidade.	23
Figura 6 - Mapa do fator topográfico.	24
Figura 7 – Mapa de Uso e Ocupação.....	25
Figura 8 - Gráfico de distribuição do Uso do Solo.....	26
Figura 9 – Mapa de perda de solo.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Valores de Erodibilidade para cada tipo de solo.	19
Tabela 2 - Valores atribuídos ao fator C e P.	20
Tabela 3 - Classe para interpretação do índice de erosividade anual (R).....	21
Tabela 4 - Distribuição da erodibilidade em classes de interpretação.....	23
Tabela 5- Distribuição das áreas em relação a cada uso e cobertura da terra.....	26
Tabela 6 - Classes de perda de solo em ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1 GEOTECNOLOGIAS	9
3.2 EROÇÃO	10
3.4 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO.....	11
3.5 FATOR EROSIVIDADE (R)	12
3.6 FATOR ERODIBILIDADE (K)	12
3.7 FATORES COMPRIMENTO DO DECLIVE (L) E GRAU DO DECLIVE (S).....	13
3.8 FATOR COBERTURA E MANEJO (C) E PRÁTICA CONSERVACIONISTA (P)	13
4 MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 FATOR ERODIBILIDADE (K)	14
4.2 SOLOS	15
4.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	17
4.4 EROSIVIDADE DA CHUVA– FATOR (R)	18
4.5 ERODIBILIDADE DO SOLO – FATOR (K).....	19
4.6 FATOR TOPOGRÁFICO (LS).....	19
4.7 FATOR USO E MANEJO (CP).....	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 EROSIVIDADE (FATOR R).....	21
5.2 ERODIBILIDADE – FATOR K	22
5.3 FATOR TOPOGRÁFICO (LS)	24
5.4 FATOR USO E MANEJO (CP).....	24
5.5 PERDA MÉDIA ANUAL DE SOLO	26
6 CONCLUSÃO.....	28
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

Solo e água são recursos naturais essenciais para a atividade agrícola e biodiversidade. A degradação da terra ocorre por causa dos muitos processos, como as mudanças que ocorrem no uso do solo, em que as práticas agrícolas intensivas e o desmatamento aceleram o processo (JAZOULI et al., 2019).

Segundo Pereira e Cabral (2021), como um evento de ocorrência natural, a erosão hídrica do solo envolve principalmente a remoção e transporte de partículas e agregados do solo de um determinado local, e seus sedimentos geralmente se consolidam na parte inferior do terreno, vale ou talvegue.

De acordo com Guimaraes et al (2019), a integração de ferramentas do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e os modelos para estimativa da erosão resultaram na melhoria da precisão dos resultados das estimativas de perdas de solos.

Nesse contexto, o Rio São Nicolau é um dos principais afluentes do Suaçuí, pertencente à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH DO4 Suaçuí, que por sua vez faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. O Rio São Nicolau é responsável pelo sistema de abastecimento de água do município de São João Evangelista, do Instituto Federal de Minas Gerais Campus São João Evangelista e de propriedades rurais localizadas no seu entorno.

Sendo assim, considera-se que a estimativa/quantificação de perda de solo no período de um ano, a exemplo desse estudo, aplicando o modelo empírico em ambiente de sistemas de informações geográficas, utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS (Universal Soil Loss Equation – USLE) desenvolvida pelo centro nacional de dados de pesquisa em erosão estadunidense em colaboração com a Universidade de Perdue, sendo posteriormente revisada por Wischmeier e Smith (1965), torna-se uma importante ferramenta na determinação de áreas vulneráveis à erosão.

2 OBJETIVOS

Estimar espacialmente a perda de solo anual utilizando ferramentas e técnicas de geotecnologias para a microbacia do rio São Nicolau, localizada no perímetro urbano do município de São João Evangelista, MG, afim de analisar a susceptibilidade à erosão de forma rápida e econômica.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os principais processos erosivos presentes na microbacia em estudo;
- Realizar o levantamento da cobertura vegetal, declividade e uso e cobertura da terra, além da erodibilidade e erosividade, utilizando técnicas de geoprocessamento;
- Mensurar a perda do solo anual através de álgebra de mapas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 GEOTECNOLOGIAS

A utilização de técnicas de geoprocessamento tornou-se uma ferramenta poderosa para a resolução de problemas ambientais, seja na análise atual ou na possibilidade de previsões futuras do ambiente (SILVA, 2013). As geotecnologias, representadas principalmente pelo Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), estão cada vez mais interligadas ao serem aplicadas em amplas áreas de estudo (FLORENZANO, 2005).

De acordo Novo (2010), Sensoriamento Remoto é definido como a análise das interações entre a radiação eletromagnética e as diversas substâncias existentes na Terra captadas por um conjunto de sensores e equipamentos de processamento de dados, instalados em plataformas, com sua aplicação no estudo de eventos, fenômenos e processos. As

informações coletadas pelos sensores remotos servem de referência para validação de modelos numéricos de simulação que preveem mudanças provocadas pela ação antrópica.

O desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) facilita a análise espacial, modelagem ambiental e integração de dados adquiridos para previsão de cenários futuros. (FLORENZANO, 2005). Devido à constante evolução da tecnologia empregada no SIG, pode-se cada vez mais extrair novos tipos e quantidades de dados. Em muitos casos, informações chaves são obtidas por meio dessa ferramenta (OLAYA, 2011).

Segundo Miranda (2010), a aplicação de técnicas de geoprocessamento é também para prever a perda de solo em bacias hidrográficas devido à erosão, ao ser associado à equação universal de perdas de solo (USLE).

3.2 EROÇÃO

A definição de erosão para Bertoni e Lombardi Neto, (1990) é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento. A erosão do solo constitui sem dúvida, a principal causa do depauperamento acelerado das terras. As enxurradas, provenientes das águas de chuva e que não ficaram retidas sobre a superfície, ou não se infiltraram, transportam partículas de solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução. O vento não leva a rocha, porém grãos de areia e partículas de solo em movimento. A água é o mais importante agente de erosão: chuvas, córregos, rios, todos transportam partículas de solo.

A erosão superficial das bacias hidrográficas desprotegidas é responsável pelo arraste de milhares de toneladas de solos férteis para dentro das calhas dos rios e para os reservatórios (NASCIMENTO & COIADO, 2001). Certas bacias hidrográficas, por poderem ser utilizadas como fontes de água, requerem maior atenção em relação ao uso e ocupação da terra. A supressão da vegetação nativa, adição de usos e medidas de conservação sem o cumprimento das normas ambientais, pode provocar aumento do escoamento superficial, diminuição da infiltração, e intensificação de processos erosivos, tendo conseqüentemente, aumento da perda de solo e assoreamento de fundos de vales, afetando a pesca e o abastecimento de água (CARDOSO e GOUVEIA, 2019).

3.4 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO

Diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados com o intuito de prever a magnitude das perdas do solo e são divididos em empíricos ou estatísticos e os determinísticos ou baseados em parâmetros físicos (BORGES, 2009).

A definição de modelo segundo Haggett e Chorley (1975) apud Christofolletti (1999 p. 8), ainda permanece como sendo mais adequada, assinalando que:

[...] modelo é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade [...]

A Universal Soil Loss Equation (USLE) é um exemplo muito bem sucedido de modelo empírico. É importante frisar que a aplicação da equação em escala de bacias hidrográficas requer ressalvas, pois os resultados de perda de solos não podem ser considerados como taxas reais de erosão (MATOS, 2015).

A Equação Universal de Perdas de Solo é amplamente utilizada para identificar áreas susceptíveis à erosão, em uma abordagem qualitativa, com o propósito de subsidiar o planejamento ambiental (ARAÚJO JUNIOR, 2003).

Os fatores condicionantes propostos na equação são:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Onde:

A = Perda média anual de solo ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R = Fator de erosividade da chuva ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

K = Fator de erodibilidade do solo, em ($t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$);

L = Fator de comprimento de vertente (adimensional);

S = Fator de declividade (adimensional);

C = Fator de uso/manejo (adimensional);

P = Fator de práticas conservacionistas (também adimensional).

3.5 FATOR EROSIVIDADE (R)

O fator erosividade é a capacidade potencial das chuvas em causar o desprendimento do solo. Este fator depende da intensidade da precipitação sendo considerado o número de unidades de índice de erosão hídrica, mais um fator para o escoamento da água aplicada, quando tal escoamento é significativo (WISHMEIR e SMITH, 1978).

O fator erosividade inicia-se na desagregação, ou seja, a destruição dos agregados que compõem a estrutura do solo causada pelo impacto direto das gotas de chuva na superfície descoberta do solo, dada sua energia cinética, que promove a anulação das forças que mantinham os agregados estáveis. Assim, os diferentes constituintes dos agregados ficam dispersos e, por apresentarem pequena massa, são passíveis de remoção (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

3.6 FATOR ERODIBILIDADE (K)

A erodibilidade do solo (K) é a relação entre a intensidade de erosão e a erosividade da chuva, para um solo específico mantido continuamente sem cobertura. Representa a susceptibilidade do solo à erosão, da mesma forma que também representa a resistência à erosão. (CARVALHO, 1994).

A difusão da equação USLE intensificou as pesquisas referentes ao fator erodibilidade com o auxílio de simuladores de chuva que possibilitaram obter, em curto período de tempo, enorme número de dados. (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012) Afinal, a erodibilidade apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal, elucidada pela

diversidade climática e a variabilidade de solo, que influencia na susceptibilidade à erosão (BERTOL *et al.*, 2002).

3.7 FATORES COMPRIMENTO DO DECLIVE (L) E GRAU DO DECLIVE (S)

O fator topografia do relevo, representado pela declividade e comprimento do terreno, possui fundamental influência sobre a erosão (MATOS, 2015). O tamanho e a quantidade de material carregado pela erosão hídrica estão sujeitos à velocidade com que escorre, e essa velocidade é um produto do comprimento do lançante e do grau de declividade do terreno (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012).

O fator topográfico LS é definido como a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação a perdas de solos correspondentes de uma parcela unitária para o mesmo solo, de 25 metros de comprimento e 9% de declive (COSTA, 2005).

Os valores elevados do fator topográfico, de maneira geral, correspondem a relevos mais enérgicos. Em relevos suaves, os valores mais altos do fator topográfico se devem ao comprimento de rampa e em relevos mais acentuados, os valores do fator topográfico são comandados quase que exclusivamente pela declividade (STEIN *et al.*, 1987).

3.8 FATOR COBERTURA E MANEJO (C) E PRÁTICA CONSERVACIONISTA (P)

O fator de uso e manejo do solo (C) é a relação entre as perdas de solo de um terreno com um determinado tipo de cobertura e as perdas correspondentes de um terreno conservado continuamente descoberto. (SILVA, SCHULZ e CAMARGO, 2003)

Já o fator prática conservacionista (P) é a relação entre a intensidade esperada de perdas com determinada prática conservacionista e aquelas de quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo). (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012) A prática

significa o tipo de tecnologia adotada no terreno como, por exemplo, terraceamento ou plantio em nível.

4 MATERIAL E MÉTODOS

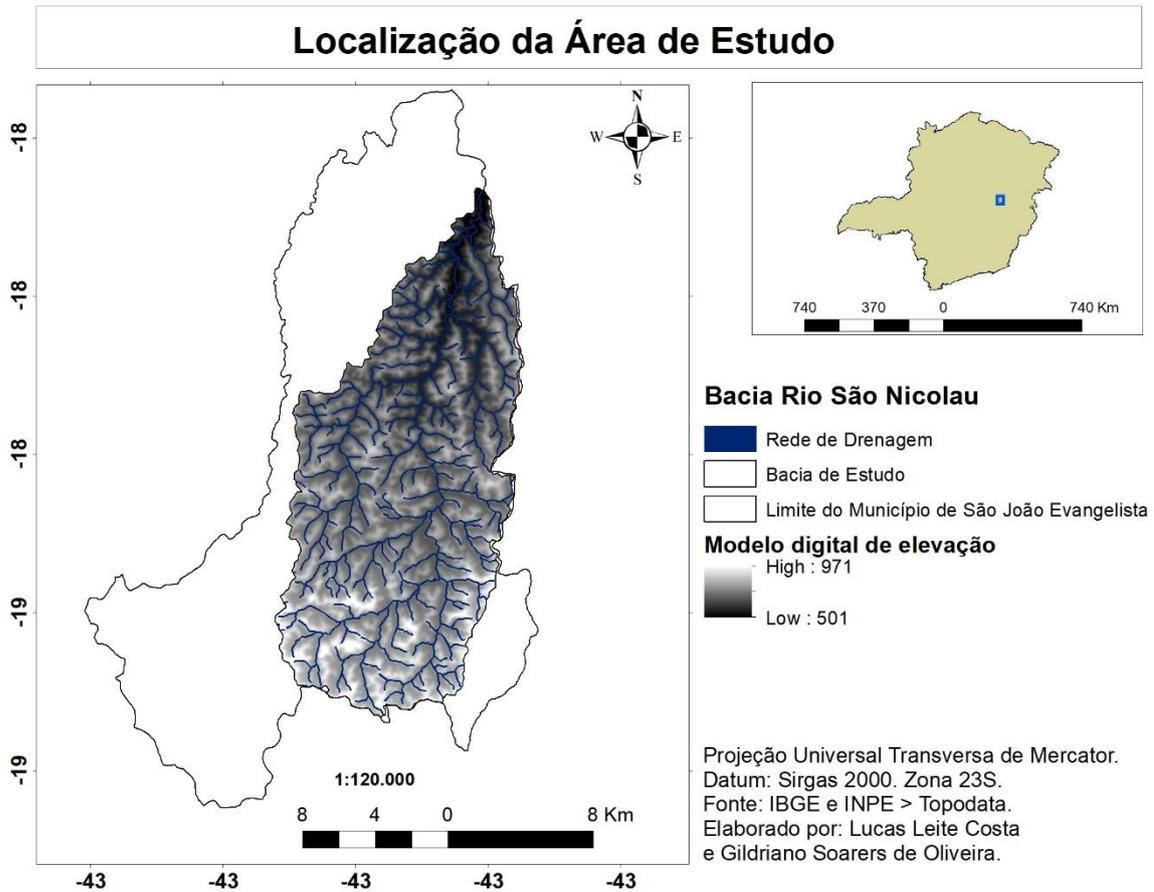
4.1 FATOR ERODIBILIDADE (K)

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), São João Evangelista é um município brasileiro no interior do estado de Minas Gerais, da Região Sudeste do país com uma área de 478,183km². Pertence à Mesorregião do Vale do Rio Doce e Microrregião de Guanhães.

A cidade está entre os 48 municípios que faz parte da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH DO4 Suaçuí. A micro bacia em estudo tem contribuição hídrica à bacia hidrográfica do rio Suaçuí que tem área de 21.555 Km² fazendo parte da macrobacia do rio Doce, (CBH-Suaçuí, 2021).

Este trabalho foi conduzido no alto curso da microbacia do rio São Nicolau Grande, em São João Evangelista, MG, nos domínios da bacia hidrográfica do rio Doce, entre as coordenadas geográficas longitudes 42°68'17" e 42°80'51", e entre as latitudes Sul 18°50'00" e 18°64'46". O município está localizado a 280 km de Belo Horizonte, fazendo fronteira com os municípios de Guanhães, Sabinópolis, Paulistas, Coluna, São José do Jacuri, São Pedro do Suaçuí, Peçanha e Cantagalo (MADEIRA, 2006).

Figura 1 - Localização da microbacia do rio São Nicolau.

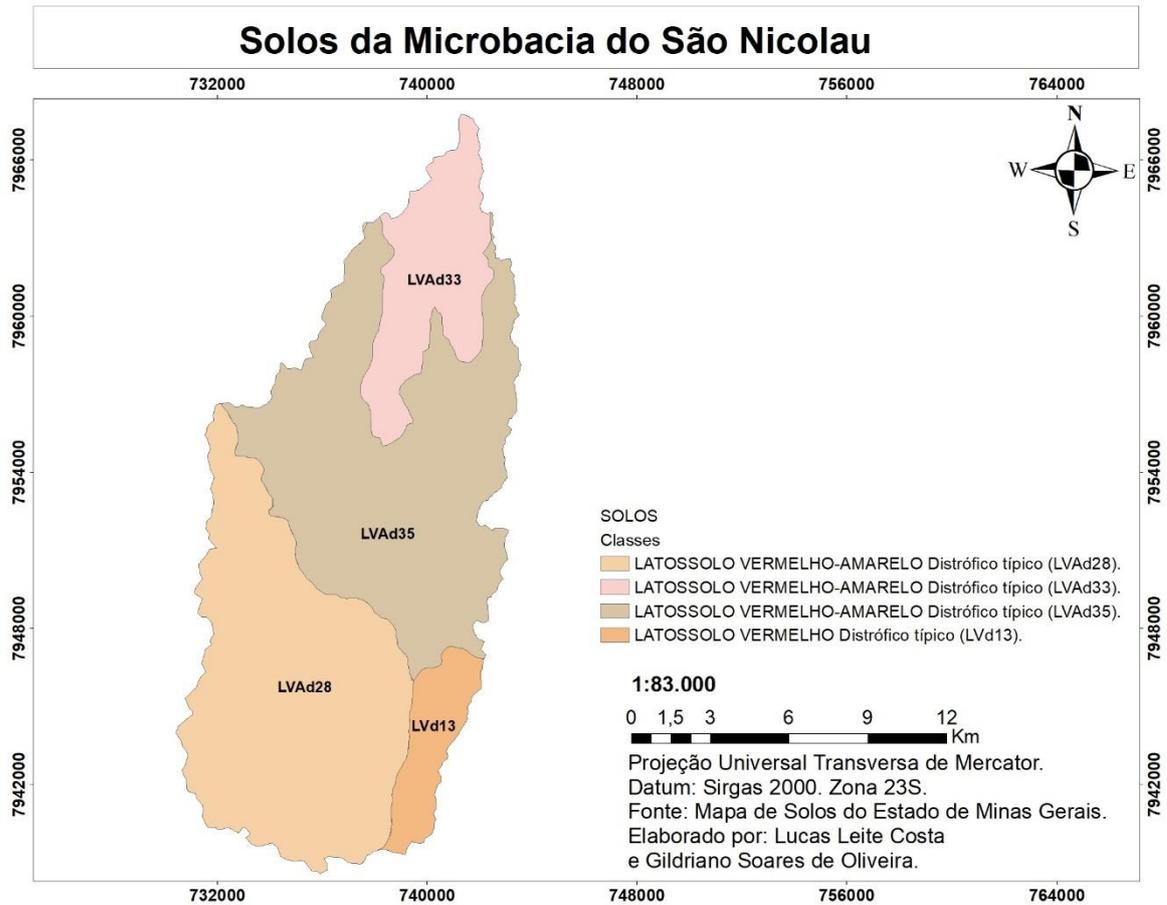


O clima regional pela classificação internacional de Köppen é do tipo Cwa, clima temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso e quente. A temperatura média máxima anual é de 26°C, a média anual é de 20°C e a temperatura média mínima é de 15°C. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.180 mm e a altitude média é de 690 m. (KÖPPEN; GEIGER, 1954).

4.2 SOLOS

De acordo com o mapa de solos (Figura 2), a microbacia do rio São Nicolau apresenta pouca variação, predominando na área o Latossolo Vermelho - amarelo e uma pequena porção de Latossolo Vermelho. O mapa foi elaborado com o auxílio do Arcmap 10.8, utilizando o perímetro da microbacia em estudo e o layer de tipos de solos do estado de Minas Gerais.

Figura 2 - Mapa de solos da microbacia do rio São Nicolau.



O significado de cada sigla da legenda do mapa foi retirado do livro “Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais - Legenda Expandida” (2010, p.11-23) que descreve os solos da seguinte forma:

LVAd28 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (35 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (30 %) + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (20 %) + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (15 %).

LVAd33 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (50 %)

+ CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado (30 %) + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado (20 %).

LVAd35 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/montanhoso (35 %) + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/ montanhoso (35 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/ montanhoso (30 %).

LVd13 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/montanhoso (35 %) + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/ montanhoso (30 %) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado/ montanhoso (20 %) + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado (15 %).

4.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Utilizando o método da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) realizou-se o cálculo da erosão laminar para a microbacia do rio São Nicolau, com o auxílio do software ArcGis 10.8.

Para obter o Modelo Digital de Elevação (MDE) foi feito o download dos dados de altitude do Topodata (INPE), referentes às quadriculas (18S435) correspondentes a área de interesse. O MDE foi redefinido para Datum Sirgas 2000, Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Zona 23S. A microbacia foi delimitada com o emprego da ferramenta *Spatial Analyst Tools*, fazendo a correção das imperfeições do MDE e delimitando a rede de drenagem (Figura 1).

4.4 EROSIVIDADE DA CHUVA– FATOR (R)

Para a determinação deste fator, utilizou-se o software NetErosividade MG (Figura 3), disponível para downloads no site do Grupo de Pesquisas de Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa. Este software foi desenvolvido para estimar o valor mensal e anual da erosividade da chuva em qualquer localidade do estado de Minas Gerais. Para isso, foi obtido a latitude, longitude e altitude de cinquenta e dois pontos dentro do limite da bacia hidrográfica para a determinação da média anual do índice de erosão (EI₃₀). De posse dos dados, foi feita a interpolação por Krigagem, dentro a extensão *Spatial Analyst Tools* do software ArcGIS 10.8.

Figura 3 - Tela de apresentação do NetErosividade MG.



Fonte: Print screen do software no computador.

4.5 ERODIBILIDADE DO SOLO – FATOR (K)

O fator erodibilidade foi calculado pelos valores de K representativos para o Latossolo vermelho amarelo distrófico típico e Latossolo vermelho distrófico típico encontrado na área de estudo (Figura 2). Por meio de bibliografia existente foi feita a média dos valores de erodibilidade correspondentes a cada solo e a área referente a cada tipo de solo (Tabela 1). Portanto, para elaborar o mapa de erodibilidade, bastou reclassificar as classes do solo para os valores médios do fator K no formato matricial de resolução 30 m.

Tabela 1– Valores de Erodibilidade para cada tipo de solo.

Classe	Valores de K t.h.MJ⁻¹.mm⁻¹				Média dos valores de K
	Chaves. (1994) APUD Borges. (2009)	Lima et al. (2007)	Calixto. (2013)	Silva. (2004)	
LVAd	0,020	0,018	0,020	0,032	0,0225
LVd	0,013	0,017	0,022	0,014	0,0165

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.6 FATOR TOPOGRÁFICO (LS)

Utilizando o modelo digital de elevação do perímetro da bacia com resolução de 30 metros foi feita a correção das imperfeições, posteriormente gerado o mapa de declividade no qual foi feita a reclassificação do coeficiente em função da declividade a partir das classes. Onde a declividade $D = 0.5$ se for $> 5\%$; $D = 0.4$ se 3 a 5% ; $D = 0.3$ se 1 a 3% ; e $D = 0,2$ se inferior a 1% (HILBORN, 2012).

Com isso, foi gerado o mapa de direção de fluxo, que é gerado a partir do mapa de declividades com a utilização da ferramenta *Flow Direction*, que considera a direção do fluxo do escoamento superficial ao longo das sub-bacias hidrográficas.

O fator LS foi determinado utilizando a ferramenta *Raster Calculator*, inserindo a equação apresentada por Stone e Hilborn (2012), utilizando a seguinte expressão:

$$LS = ((\text{"fac"} * 30 / 22.1)^{0.5}) * (0.065 + 0.045 * \text{"D"} + 0.0065 * (\text{"D"} * \text{"D"}))$$

em que:

LS = fator topográfico (adimensional);

Fac = Acumulação de fluxo; e

D = declividade em porcentagem.

4.7 FATOR USO E MANEJO (CP)

O mapa de Uso e Ocupação do Solo foi gerado por meio da classificação manual, com imagens de satélite do CBERS 4A de resolução espacial de 30 metros. As bandas 3, 2 e 1 foram utilizadas para fazer a composição colorida RGB. Depois foi feito a fusão da banda pancromática do satélite WPM com 2,2 metros de resolução com a banda multiespectral com 8 metros, para assim melhorar a resolução espacial da imagem. O seguinte passo foi reprojeter a imagem utilizando o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM Zone 23s. Introduzindo o polígono do perímetro da bacia, foi feito o recorte e criado um layer vetorial para a classificação.

A partir do mapa de uso e ocupação procedeu-se atribuição dos valores das classes dos fatores C e P de acordo com a literatura (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores atribuídos ao fator C e P.

Uso do solo	C	Citação	P	Citação
Café	0,1350	Silva et al. (2010)	0,5	Domingos. (2006)
Eucalipto	0,3000	Martins et al. (2010).	1,0	Martins et al. (2010).
Edificação	0,0103	Bertoni e Lombardi. (2012).	0,7	Bertoni e Lombardi. (2012).
Mata	0,0200	Martins et al. (2010).	0,2	Martins et al. (2010).
Milho	0,0827	Silva et al. (2010)	0,5	Silva et al. (2010)
Pastagem	0,0100	Tomazoni et al. (2005)	0,3	Domingos. (2006)
Solo Exposto	1,000	Farinasso et al. (2006)	1,0	Ruhoff. (2006)

Água	0	Ruhoff (2006) Vitte, 1997 Apud Baldotto	0,0	Ruhoff. (2006)
Área Urbana	1,0000	et al. (2021).	1,0	Prado. (2005)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EROSIVIDADE (FATOR R)

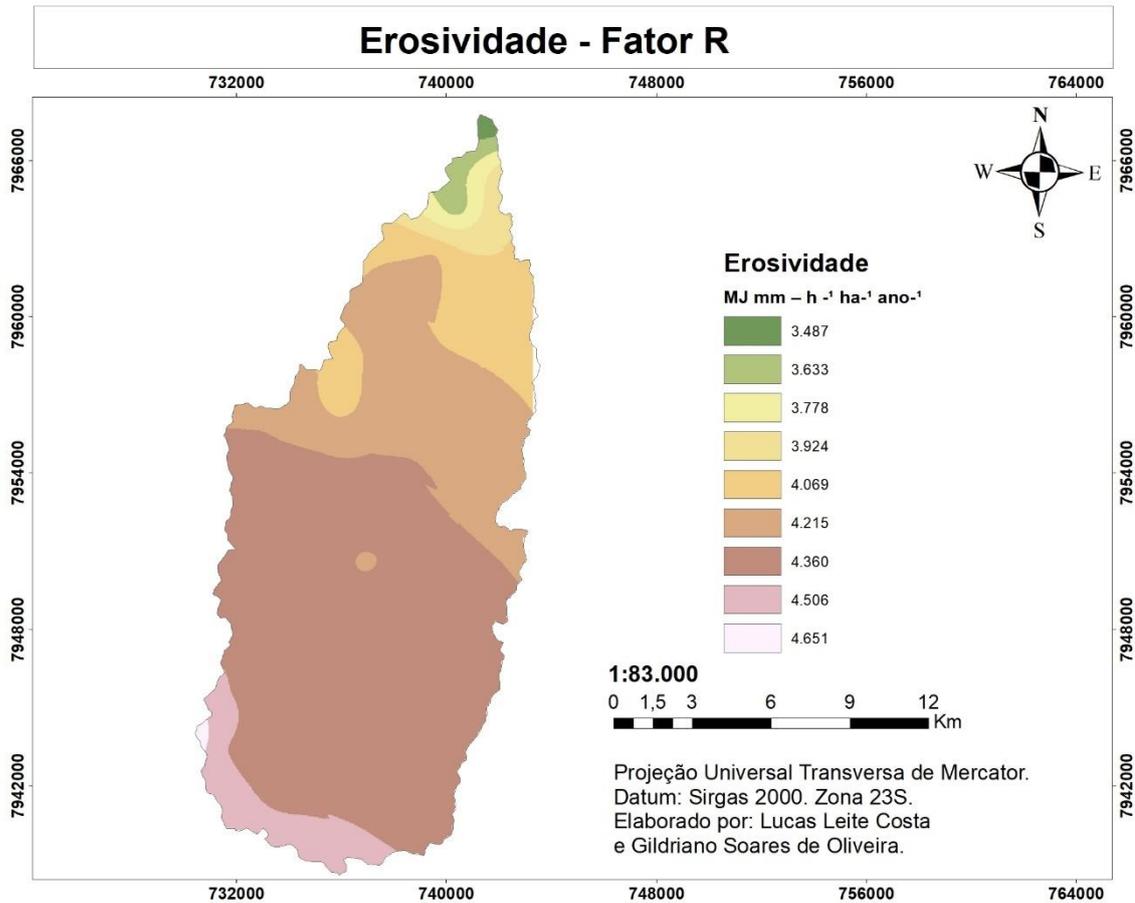
O resultado da análise da Erosividade para a micro bacia do Rio São Nicolau teve valor máximo de $4.651 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e valor mínimo de $3.487 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura - 4). De acordo com a interpretação proposta por Carvalho (1994), a erosividade é considerada média (Tabela - 3). Os locais com valores mais altos de erosividade são os locais onde se tem os maiores valores de altitude.

Tabela 3 - Classe para interpretação do índice de erosividade anual (R).

Erosividade $\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	Classe de erosividade
$R \leq 2452$	baixa erosividade
$2452 < R \leq 4905$	erosividade média
$4905 < R \leq 7357$	erosividade média-forte
$7357 < R \leq 9810$	forte erosividade
$R > 9810$	erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (1994) e Silva (2004a).

Figura 4 - Mapa de erosividade.



5.2 ERODIBILIDADE – FATOR K

A espacialização do fator de erodibilidade do solo está relacionado com os tipos solos, já que o parâmetro de K é uma propriedade inerente a classe de solo, cujo os valores estão listados na Tabela 1. Observou-se a predominância do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com $K = 0,0225 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, representando 94,19 % da área total da microbacia, e o Latossolo Vermelho distrófico com $K = 0,0165 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, representando 5,81 % (Figura – 5). De acordo a chave de interpretação de Carvalho (1994), a microbacia é composta por áreas com erodibilidade baixa (Tabela – 4).

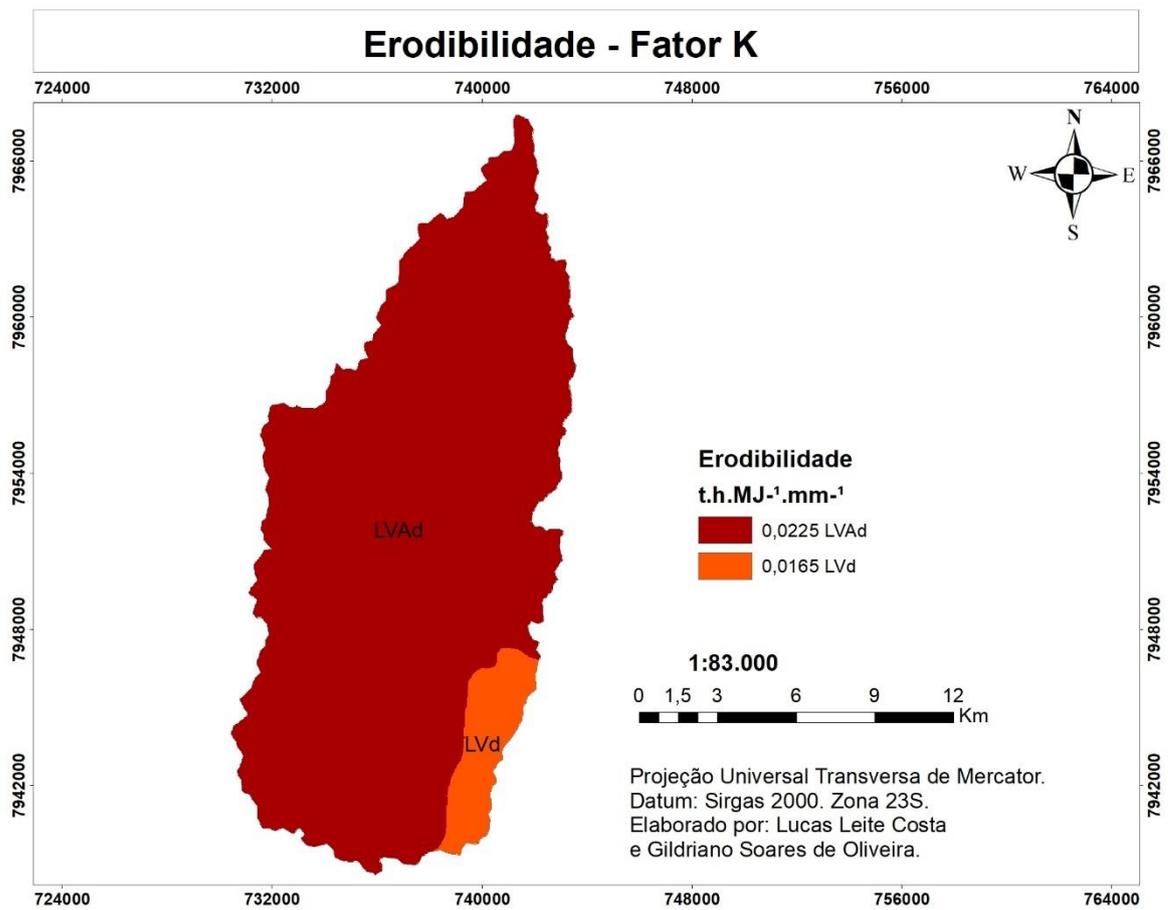
De acordo com Matos (2015), os latossolos, são os mais resistentes, por serem geralmente bem drenados, profundos e coesos, além de possuírem alto grau de estabilidade, alta porosidade e permeabilidade.

Tabela 4 - Distribuição da erodibilidade em classes de interpretação.

Intervalos de valores de K	Classes de Interpretação
$K < 0,02$	Erodibilidade Baixa
$0,02 < K < 0,038$	Erodibilidade Média
$K > 0,038$	Erodibilidade Alta

Fonte: Carvalho (1994), adaptado pelo autor.

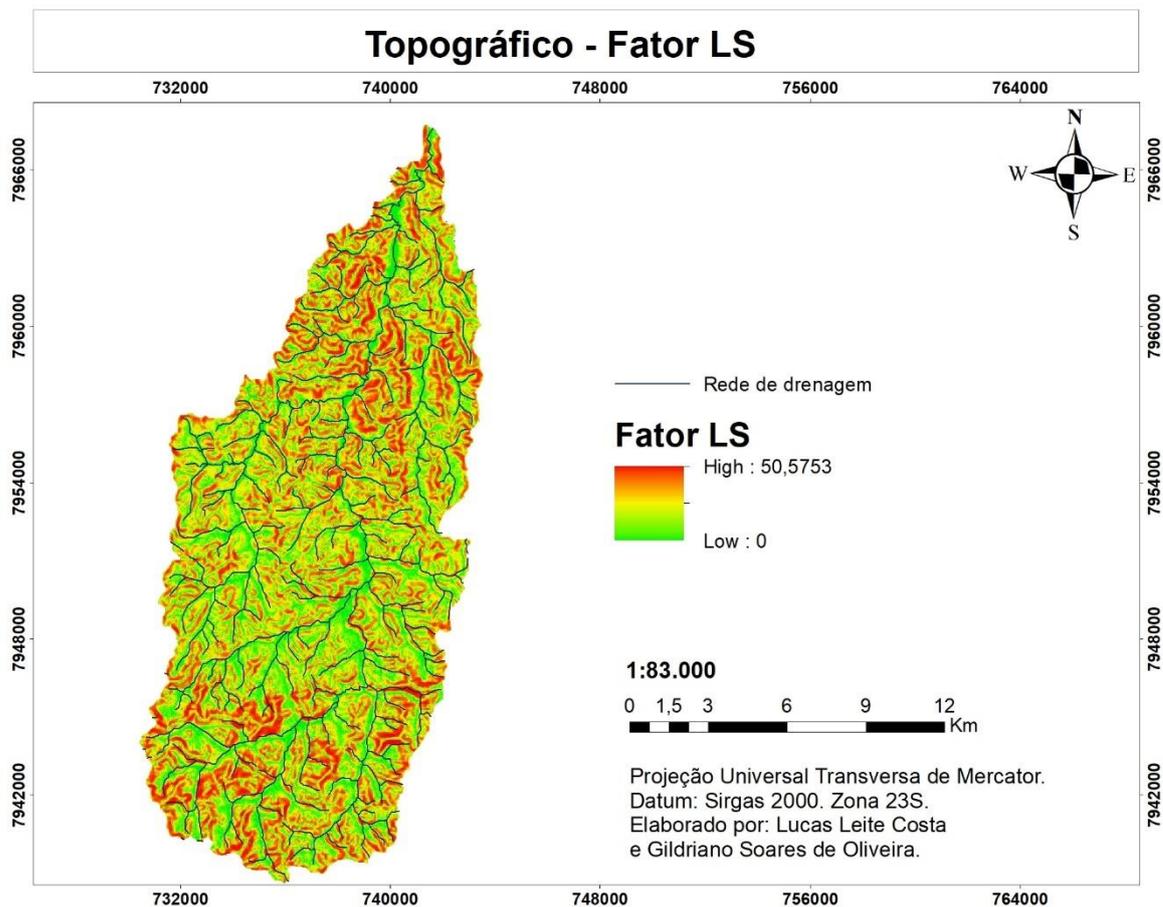
Figura 5 - Mapa de erodibilidade.



5.3 FATOR TOPOGRÁFICO (LS)

Os valores mínimos e máximos do fator LS para a micro bacia do São Nicolau são respectivamente 0 e 50.5753. (Figura – 6). O mapa do fator topográfico demonstra que as áreas planas e nas proximidades das redes de drenagem apresentam valores baixos. Os altos graus de declividade estão concentrados às bordas das chapadas onde se tem uma mudança abrupta da paisagem associando os valores altos aos canais fluviais em declive acentuado.

Figura 6 - Mapa do fator topográfico.



5.4 FATOR USO E MANEJO (CP)

Foram identificadas nove classes de uso e ocupação do solo: área de pastagem, mata, cultivo de eucalipto, café, milho, solo exposto, água, instalação rural e área urbana (Figura

– 7). Observa-se que a classe predominante é a de pastagem correspondendo a 55,05% da área da microbacia; a segunda classe mais expressiva é a de mata representando 38,60%. Os demais valores representativos de cada classe podem ser observados na figura 8. Para os valores de C e P, o maior valor trata-se da classe solo exposto e área urbana, onde não há proteção do solo caracterizado por alta susceptibilidade a erosão (Tabela - 5).

Figura 7 – Mapa de Uso e Ocupação.

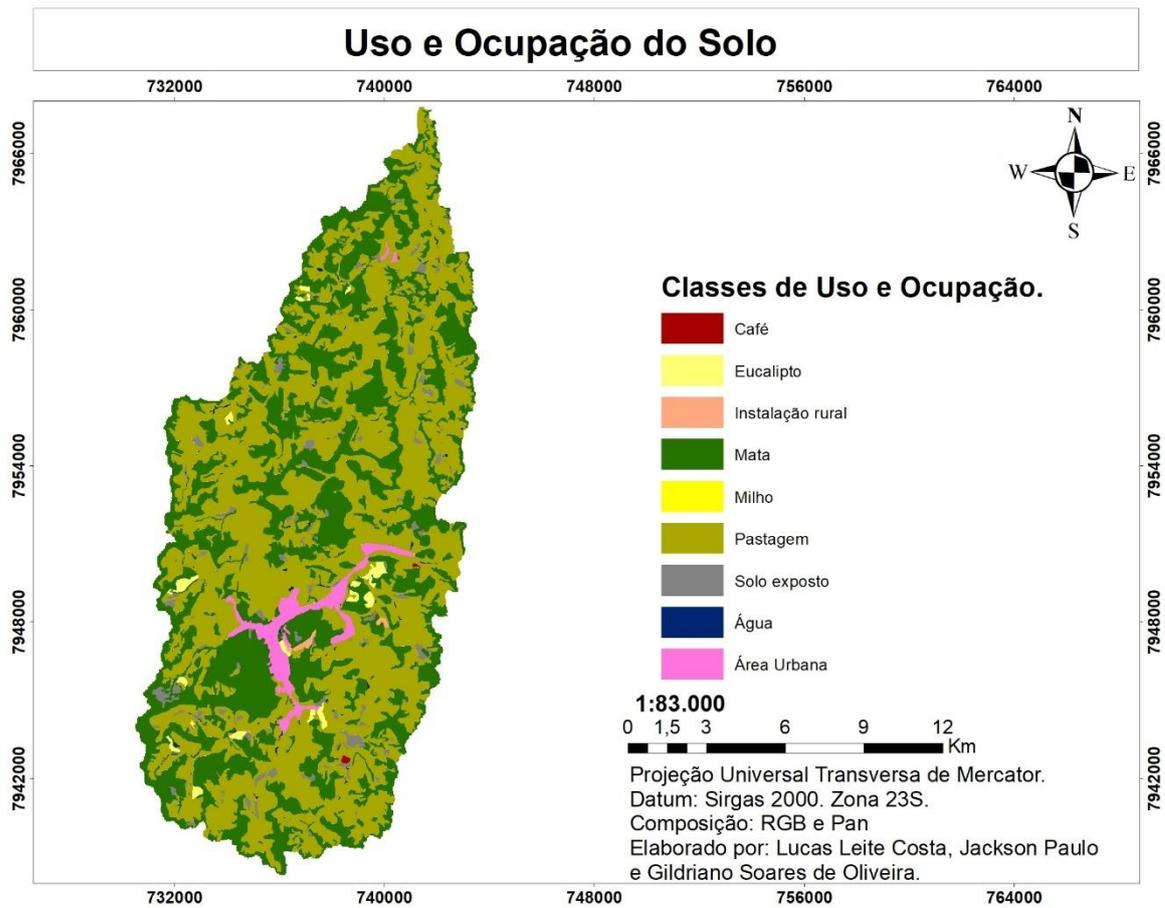


Figura 8 - Gráfico de distribuição do Uso do Solo.

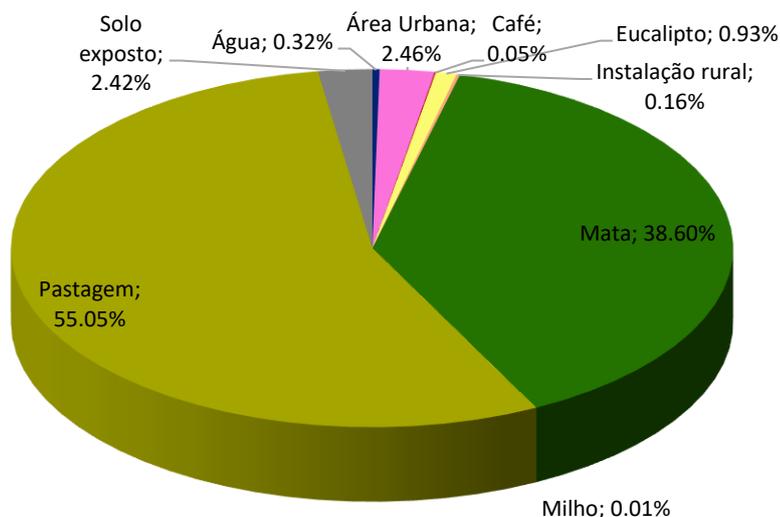


Tabela 5- Distribuição das áreas em relação a cada uso e cobertura da terra.

UO	Área - ha	C	P
Água	76,65	0	0
Área Urbana	587,93	1	1
Café	10,80	0,135	0,5
Eucalipto	223,44	0,3	1
Instalação rural	38,28	0,0103	0,7
Mata	9243,02	0,02	0,2
Milho	3,05	0,0827	0,5
Pastagem	13181,89	0,01	0,3
Solo exposto	578,65	1	1

Fonte: Autor.

5.5 PERDA MÉDIA ANUAL DE SOLO

A perda média anual de solo na área de estudo apresenta valores mínimos e máximos de 0 e 2493,93 t/ha⁻¹ ano⁻¹. Esses valores foram divididos em sete classes de acordo com a classificação proposta por Beskow (2009). A Classe predominante de perda de solo representando 67,96% da área é classificada como ligeira. A segunda classe mais expressiva é

a de erosão ligeira a moderada, que representa 20,68 % da área. A classe de erosão moderada ocorre em 6,36 % da área e a de erosão moderada a alta em 0,36% da área. As classes alta e muito alta acontecem 1,38 % da bacia, e a extremamente alta 3,36%. (Tabela 6).

Com isso, através da análise do mapa de perda de solo (Figura – 9), observa-se que a bacia apresenta majoritariamente baixa perda de solo.

Tabela 6 - Classes de perda de solo em ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

Classes	(t/ha/ano)	Área (ha)	(%)
Ligeira	0,0 - 2,5	15971,4	67,96%
Ligeira a Moderada	2,5 - 5,0	4859,19	20,68%
Moderada	5,0 - 10	1494,36	6,36%
Moderada a Alta	10 - 15	84,42	0,36%
Alta	15 - 25	54,54	0,23%
Muito Alta	25 - 100	269,73	1,15%
Extremamente Alta	> 100	766,98	3,26%

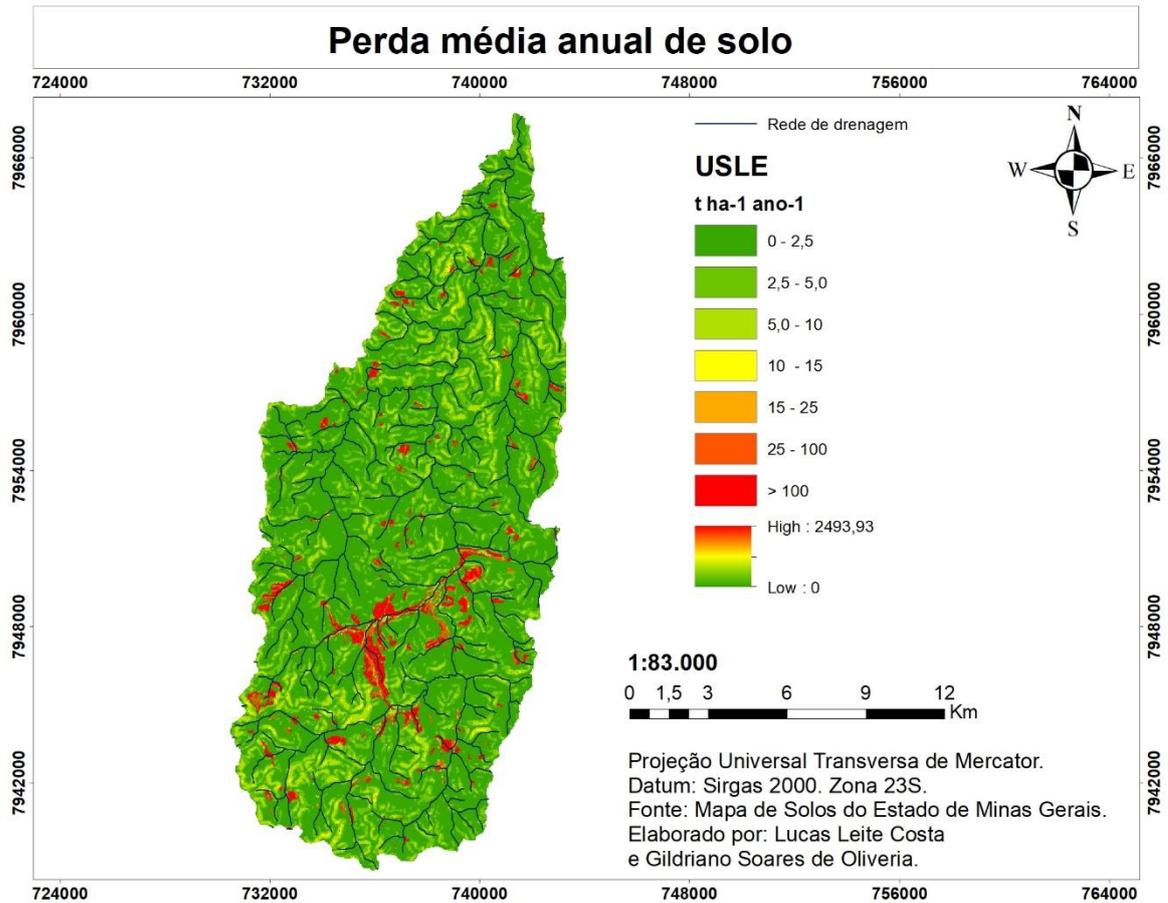
Fonte: Beskow (2009), adaptado pelo autor.

Estudo realizado por Nunes (2020), em bacias hidrográficas no sudoeste de Goiás, justifica a perda de solo baixa na bacia pelos baixos valores de LS, além da presença de Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico que são solos de baixa erodibilidade.

Lamana (2020), comparou os valores de C e P desconsiderando os cursos d'água onde o valor é zero, o qual não sofre processo erosivo. Observou que o menor valor de erosão foi obtido em vegetação densa de floresta, considerando que a vegetação diminui o contato direto da chuva com o solo, dissipando a energia e diminuindo o escoamento superficial. A classe de solo exposto e área urbana, com valor 1, caracterizou alta susceptibilidade a erosão pelo fato de não haver qualquer tipo de proteção no solo.

A realização de práticas de manejo e conservação do solo faz se necessário para redução dos processos erosivos. Os resultados obtidos podem contribuir para planejamento do uso da terra entre manejo do solo e práticas conservacionistas dando suporte para políticas de conservação do solo na microbacia do Rio São Nicolau.

Figura 9 – Mapa de perda de solo.



6 CONCLUSÃO

A aplicação da USLE associado ao SIG mostrou-se uma excelente ferramenta para estimar e compreender como a erosão ocorre a área de estudo, indicando as áreas com maior vulnerabilidade a erosão;

A bacia do rio São Nicolau apresenta baixo grau de erosão com poucos focos de erosão moderada a alta;

Maiores valores de perdas de solo estimadas nos pontos de solos expostos, áreas urbanas, culturas temporárias e eucalipto estão relacionados ao fator antrópico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO JUNIOR, G.J.L.D. **Aplicação dos modelos EUPS e MEUPS na Bacia do Ribeirão Bonito (SP) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.** São José dos Campos-SP, 2003. 122p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE.
- BALDOTTO, J. B., BUARQUE, D. C., OLIVEIRA, E. M. **Levantamento da perda de solo e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce (Espírito Santo) por modelagem matemática.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, v.9, n.3, p.02-23.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C. **Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling.** *Catena*, v. 79, n. 1, p
- BERTOL, I. et al. **Erodibilidade de um cambissolo húmico alumínico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em lages.** R. Bras. Ci. Solo, v. 26, Viçosa, 2002, p. 465-471.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** 4ª Ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355p
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 8. ed. São Paulo: Ícone Editora, 2012. 355 p.
- BORGES, KELLY MARIA RESENDE. **Avaliação da susceptibilidade erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos.** (Dissertação de Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília, 2009. 68p.
- CARDOSO, E. H. G.; MOROZ CACCIA GOUVEIA, I. C. **Fragilidade ambiental aos processos erosivos em bacias hidrográficas: o caso do Ribeirão Negrinha – Osvaldo Cruz/SP.** Formação (Online), v. 26, n. 49, p.163-193,2019
- CALIXTO, B. B. **Estimativa indireta da erodibilidade (K) dos solos da Bacia do Ribeirão Pípiripau – DF usando dados pedológicos locais.** 2013. 67 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) –Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília 2013

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.

COSTA, A. L. C. **Estudo da vulnerabilidade à erosão com a aplicação da Equação Universal de Perda do Solo na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING**. Rio Claro, 2005.

CBH, Suaçuí. A Bacia. **CBH- Suaçuí/MG**, 2013. Disponível em: <https://www.cbhsuacui.org.br/a-bacia>. Acesso em: 21 out. 2021.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher. 1999. 236p.

DOMINGOS, J. L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma Bacia hidrográfica**. Monografia. Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. de C.; 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 Solo, utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba-Pi-MA**. Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 7, n.2, p.73-85, 2006.

FLORENZANO, Tereza G. **Geotecnologias na Geografia Aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, USP, n. 17, p. 24-29, 2005.

GUIMARÃES, D. V. et al. Modeling of Soil Losses on a Yellow Argisol Under Planted Forest. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 26, n. 1, e20160292, 2019.

HAGGETT, P. CHORLEY, R. J. **Modelos físicos e de informação em geografia**. Tradutor: Arnaldo Viriato de Medeiros. Revisores técnicos: Antônio Olívio Ceron e Antônio Christofolletti. Rio de Janeiro. 270p. 1975.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sao-joao-evangelista/panorama>. Acesso em: 21 out. 2021.

JAZOULI, A.; BARAKAT, A.; KHELLOUK, R.; RAIS, J.; EL BAGHDADI, M. Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 13, p. 361-374, 2019.

KÖPPEN, W; GEIGER, R. **Klima der Erde (Clima da Terra)**. Wall Mapa 1:16 Mill. Klett-Perthes, Gotha. 1954.

LAMANA, M. S. **Aplicação Da Equação Universal De Perda De Solo (Usle) Em Uma Microbacia Hidrográfica Urbana**. XIV Econtro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Campinas – SP – Brasil, 2020.

LIMA, J.E.F.W. et al. Desenvolvimento E Verificação De Métodos Indiretos Para A Estimativa Da Erodibilidade Dos Solos Da Bacia Experimental Do Alto Rio Jardim – DF. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.8, n.2, p.23-36, 2007.

MATOS, T. V. S. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na equação universal de perda de solo (USLE)**. Universidade Federal De Minas Gerais programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Belo Horizonte, 2015.

MARTINS, S. G. et al. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do Estado do Espírito Santo. Scientia Forestalis, v. 38, n. 87, p. 517-526, 2010.

MADEIRA, N., G. **Diagnóstico Da Qualidade Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Ribeirão São Nicolau Grande, No Município De São João Evangelista – MG**. 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado em Centro Universitário De Caratinga Mestrado Em Meio Ambiente E Sustentabilidade Ambiental) – Centro Universitário de Caratinga, Caratinga, 2006.

MIRANDA, J. A. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. 2. ed. rev. atual. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, 2010. 425p. ISBN 978-85-7383-481-9.

MOREIRA, M. C. et al. **Neterosividade MG: erosividade da chuva em Minas Gerais**. R. Bras. Ci. Solo, n. 32, 2008, p. 1349-1353.

NASCIMENTO, A.P.do.; COIADO, E.M. **Análise sobre a representatividade de carga de lavagem em escoamento a livre - Rio Atibaia/SP**. In: **CARACTERIZAÇÃO QUALIQUANTITATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS**. Santa Maria: ABRH/UFSM. tema 2, p. 207-218. 2001.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4. ed. rev. São Paulo: E. Blücher**, 2010. 387 p. ISBN 9788521205401.

Nunes, N. C. **Análise espaço-temporal da erosão hídrica em bacias hidrográficas no sudoeste de Goiás**. Rio Verde, 2020. 61 p.

OLAYA, Víctor. **Sistemas de Información Geográfica. Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano**, 2009, núm. 8, 2011.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO (PMSB) DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO EVANGELISTA – MG. MARÇO DE 2016. Disponível em: https://www.cbhsuacui.org.br/wp-content/uploads/2015/07/P3_R1_S%C3%83O-JO%C3%83O-EVANGELISTA.pdf. Acesso em: 21 out. 2021.

PRADO, J. P. B.; NÓBREGA, M. T. **Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS)**. Acta Scientiarum Technology. Maringá, v.27, p. 33-42, 2005

PEREIRA, M. D. R., CABRAL, J. B. P. **Perda de solo no alto curso das bacias hidrográficas dos ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçuzinho, Palmas (TO)**. Revista Brasileira de Geografia Física v.14, n.01 (2021) 332-339.

RUHOFF, A. L.; PENNA, B. S. S; GIOTTO, E; PEREIRA, R. S. **Avaliação dos processos erosivos através da equação universal de perdas de solos, implementada com algoritmos em legal**. Geomática, v.1, n.1, 2006.

SILVA, F. G. B. et al. **Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim - SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 15, n. 2, p. 141-148, 2010.

SILVA, A.M. **Rainfall erosivity map for Brazil**, Catena, n.57, p.251-259, 2004a.

SILVA, V. C. da. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 3, p. 147-159, 2004.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidros sedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RIMA, 2003. 138p.

Silva. G. J. F. **Degradação ambiental no município de Parari - PB: uma análise por meio de sensoriamento remoto**.73f.:il.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, F. A.; PONÇANO; L.; LOMBARDI NETO, F. **Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe-Parapanema**. In: IV SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 4o, 1987. Marília. **Anais...** Marília: ABGE/DAEE, 1987.

STONE R. P., HILBORN D. (2012) Universal Soil Loss Equation (USLE). 1-8.

TOMAZONI, Julio Caetano et al. **A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR)**. Estudos Geográficos, Rio Claro, v.3, n.1, p.1-21, jan./jun. 2005.

UFV - CETEC - UFLA - FEAM. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>> Acesso em: 31 de out. de 2021.

VALENTE, A. L. S.; KOPPE, J. C.; RISSO, A.; BASTOS, C. A.; STRIEDLER, A. J.; DIAS, R. D. **Estimativa da suscetibilidade potencial à erosão laminar devido a fatores naturais: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Porto Alegre (RS)**. Teoria e Prática na Engenharia Civil. n. 2, p.85-92, 2001.

VITTE, A. C. **Metodologia para cálculo de perdas de solo em bacias de drenagem**. Bol. Par. de Geoc., Curitiba, n. 45, p. 59-65, 1997.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1978. 58 p. (Handbook, 537).

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide selection of practices for soil and water conservation**. Washington, 1965.