

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA SUSCETIBILIDADE À PERDA DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PARAÍSO, NO MUNICÍPIO DE JATAÍ (GO)

Marcelo Divino Ribeiro **Pereira**¹, João Batista Pereira **Cabral**², Patrícia Tinoco **Santos**³,
Alécio Perini **Martins**⁴

(1 – Universidade Federal de Jataí, mdrpereira10@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9563-4134>; 2 – Universidade Federal de Jataí, cabral@ufj.edu.br, <https://orcid.org/0000-0003-2046-5975>; 3 – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, patricia.santos@ifg.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-2723-4806>; 4 – Universidade Federal de Jataí, alecioperini@ufj.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-4485-0336>)

Resumo: A utilização de modelos matemáticos na análise integrada da paisagem tem sido cada vez mais frequente, sendo a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) um dos modelos mais utilizado no mundo na compreensão dos processos erosivos em diversos ambientes. Diante do exposto, objetivou-se estimar as perdas de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso, em Jataí (GO). Dessa maneira, entre os anos analisados, compreendidos entre 2010 e 2020, percebeu-se que houve pouca variação na suscetibilidade às perdas de solo, uma vez que os tipos de usos no cenário da bacia se encontram bastante consolidados em atividades agropecuárias. Assim, a capacidade de erosividade pluviométrica (R) no ambiente em questão foi classificada como Média e Alta; da mesma forma, o grau de erodibilidade dos solos foi maior para o Cambissolo Háplico Distrófico, com fator K de $0.047 \text{ t/ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, enquanto o Latossolo Vermelho Distrófico apresentou fator K de $0.028 \text{ t/ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. As perdas de solos consideradas Grave e Muito Grave localizam-se nas regiões leste, sudeste e, principalmente, sul. Como se trata de uma bacia contribuinte do rio Claro, fonte de abastecimento da população de Jataí, exige-se a implementação de práticas conservacionista e preservacionista em tal ambiente hidrológico.

Palavras-chave: Erosividade pluviométrica, Erosão hídrica, EUPS.

MULTI-TEMPORAL ANALYSIS OF SUSCEPTIBILITY TO SOIL LOSS IN THE RIBEIRÃO PARAÍSO WATER BASIN, IN THE MUNICIPALITY OF JATAÍ (GO)

Abstract: The use of mathematical models in integrated landscape analysis has become increasingly common, with the Universal Soil Loss Equation (EUPS) being one of the most widely used models in the world for understanding erosion processes in different environments. In view of the above, the objective was to estimate soil losses in the Ribeirão Paraíso river basin, in Jataí (GO). Thus, between the years analyzed, between 2010 and 2020, it was noted that there was little variation in the susceptibility to soil loss, since the types of uses in the basin scenario are quite consolidated in agricultural activities. Thus, the rainfall erosivity capacity (R) in the environment in question was classified as Medium and High; Likewise, the degree of soil erodibility was higher for the Dystrophic Haplic Cambisol, with a K factor of $0.047 \text{ t/ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, while the Dystrophic Red Latosol presented a K factor of $0.028 \text{ t/ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Soil losses considered Serious and Very Serious are located in the east, southeast and, mainly, south regions. As this is a basin that contributes to the Claro River, the source of supply for the population of Jataí, the implementation of conservationist and preservationist practices in this hydrological environment is required.

Keywords: Rainfall erosivity, Water erosion, EUPS.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE SUSCEPTIBILIDAD A LA PÉRDIDA DE SUELO EN LA CUENCA DE RIBEIRÃO PARAÍSO, EN EL MUNICIPIO DE JATAÍ (GO)

Resumen: El uso de modelos matemáticos en el análisis integrado del paisaje se ha vuelto cada vez más común, siendo la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) uno de los modelos más utilizados en el mundo para comprender los procesos de erosión en diferentes ambientes. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo fue estimar las pérdidas de suelo en la cuenca del Ribeirão Paraíso, en Jataí (GO). Así, entre los años analizados, de 2010 a 2020, se observó poca variación en la susceptibilidad a las pérdidas de suelo, ya que los tipos de uso del suelo en la cuenca están bastante consolidados en las actividades agrícolas. La capacidad de erosividad pluvial (R) en el ambiente en cuestión se clasificó como media y alta. Asimismo, el grado de erosionabilidad del suelo fue mayor para el Cambisol Háptico Distrófico, con un factor K de $0,047 \text{ t/ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, mientras que el Oxisol Rojo Distrófico presentó un factor K de $0,028 \text{ t/ha}$

$\text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$. Las pérdidas de suelo consideradas graves y muy graves se localizan en las regiones este, sureste y, principalmente, sur. Al ser una cuenca contribuyente al río Claro, fuente de abastecimiento para la población de Jataí, se requiere la implementación de prácticas conservacionistas y preservacionistas en dicho ambiente hidrológico.

Palabras clave: Erosividad pluvial, Erosión hídrica, EUPS.

Introdução

A erosão hídrica do solo em bacias hidrográficas tem sido potencializada, nas últimas décadas, pelas atividades humanas representadas em modelos predatórios de uso e ocupação da terra. Enquanto evento natural, a erosão hídrica consiste na remoção e transporte de partículas do solo de um determinado local, com a deposição do material que foi erodido nas partes mais baixas do relevo, normalmente nos vales ou talwegues. Nesse sentido, a erosão é condicionada pela erosividade pluviométrica, erodibilidade do solo, relevo e cobertura vegetal (Demarchi & Zimback, 2014; L. J. Lima et al., 2018).

Nesse contexto, enquanto unidade física de planejamento ambiental (Brasil, 1997), a bacia hidrográfica apresenta as condições ideais para a gestão dos recursos hídricos numa perspectiva sustentável, uma vez que favorece a análise integrada dos elementos do quadro natural e antropogênico (Botelho & Silva, 2007). Na sociedade contemporânea, os principais impactos ambientais vivenciados nas bacias hidrográficas estão direta e indiretamente atrelados ao modelo de uso e ocupação da terra, pois, influenciam na geração dos efluentes domésticos, industriais, contaminação do solo agrícola e erosão intensa do solo (Rocha; et al., 2019).

Dada à importância do uso conservacionista do solo para a manutenção dos ecossistemas e atividades agropecuárias, a aplicação de modelos matemáticos na predição da perda de partículas desse recurso, tais como a *Universal Soil Loss Equation* (USLE), *Revised Universal Soil Loss Equation* (EUPS) e *Water Erosion Prediction Project* (WEPP), tem sido cada vez mais constante no processo de mensuração da perda de solo nos mais diferentes ambientes (Mantovani et al., 2018; Rocha & Magri, 2022).

Para a análise de previsão de perda de solo, em diferentes ambientes Wischmeier & Smith (1978) propuseram a USLE, que foi adaptada para os ambientes tropicais, passando a ser conhecida como Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) (Bertoni & Neto, 2017). Assim,

a aplicação da equação é considerada relativamente fácil, com resultados satisfatórios de previsão de perda de solo.

Além disso, tal modelo favorece a integração de parâmetros do quadro físico e humano por meio da utilização de Sistema de Informação Geográfica (SIG), o qual vem sendo cada vez mais utilizado nos estudos de bacias hidrográficas, possibilitando, com isso, os levantamentos de áreas suscetíveis às erosões potenciais e antrópicas (Silva & Andrade, 2019; Sousa & Paula, 2019).

No caso do bioma Cerrado, área de expansão agropecuária, os impactos ambientais se acentuaram a partir dos anos de 1960 e 1970, quando, enquanto incentivo de uso e ocupação, teve destaque o programa Polocentro, cujo objetivo era promover o desenvolvimento e a modernização das atividades agropecuárias no Centro-Oeste, fomentando a expansão de áreas destinadas ao plantio de lavouras, pastagens e reflorestamento propiciando, dessa forma, a supressão e retirada da vegetação natural do Cerrado e a degradação do solo por erosão hídrica (Oliveira et al., 2018; Franco et al., 2016; Hespanhol, 2000).

Nesse cenário, a bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso, localizada na região nordeste do município de Jataí, no estado de Goiás, está inserida no bioma Cerrado, assim como o estado em questão.

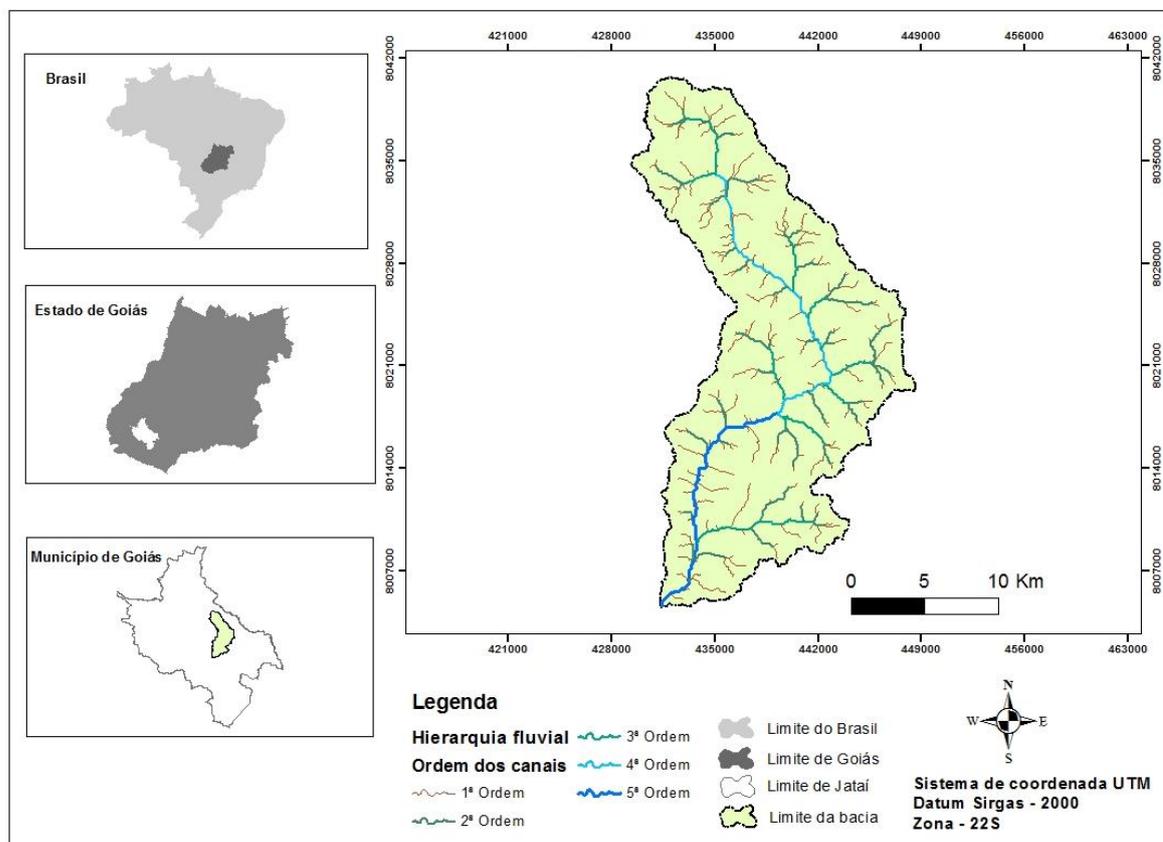
Mediante o exposto, a presente pesquisa tem como objetivo estimar a suscetibilidade multitemporal à perda de solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso, no município de Jataí/GO. A escolha da mencionada bacia deu-se em razão do seu uso e ocupação da terra, centrado em atividades agropecuárias, bem como em virtude do ribeirão supracitado ser um dos principais tributários do rio Claro, fonte de abastecimento de água da população do município de Jataí.

Materiais e métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso (Figura 1), com área de 361,68 km², está localizada na região nordeste do município de Jataí, entre as coordenadas UTM E=421000m, E=463000m e N=8007000m, N=8042000m, tendo como Datum de Referência o Sirgas 2000 e a Zona 22 S (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica em estudo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Concernente aos aspectos climatológicos, conforme a proposta de Köppen (1931), o clima do município de Jataí, localizado na região sudoeste do estado de Goiás, é classificado como tropical de savana (Aw), uma vez que apresenta verão quente e chuvoso e inverno seco (Cardoso et al., 2015; Dubreuil et al., 2018). A precipitação acumulada anual do município corresponde a 1593,3 mm, enquanto a temperatura média compensada anual fica em torno de 22,8 °C, sendo tais dados referentes aos anos de 1991 a 2020, conforme as Normais Climatológicas da estação meteorológica convencional situada no município de Jataí, administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023).

Quanto à cobertura geológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso, predominam as classificadas como Formação Vale do Rio do Peixe (57,6%), Coberturas Detríticas Indiferenciadas (28,3%) e Formação Serra Geral (14,1%) (ZAEE, 2024). Os solos, conforme o Sistema Estadual de Estatísticas e Informações Geográficas (SIEG) do estado de Goiás, de 2022, são dos tipos Cambissolo Háplico Distrófico e Latossolo Vermelho Distrófico.

Assim, as bases da pesquisa foram compiladas do Sistema Estadual de Estatísticas e Informações Geográficas (SIEG) do estado de Goiás, de 2022, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de 2020, Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), de 2022, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional de Águas (ANA) dos anos de 2000 a 2020, bem como do Mapbiomas do ano de 2016.

Procedimentos

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) tem se tornado um dos principais modelos empíricos empregados na predição de perda de solo nas últimas décadas (Alewell et al., 2019). Tal modelo favorece a integração de parâmetros do quadro físico e antropogênico da paisagem no processo de perda de partícula do solo por erosão hídrica (Equação 1).

$$A = RkLSCP \quad (1)$$

Sendo:

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

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

K = fator de erodibilidade do solo ($t/ha \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

LS = fator topográfico (adimensional);

C = fator de uso e manejo do solo (adimensional);

P = fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Dessa forma, para a geração do fator de erosividade pluviométrica (R) da área de estudo, utilizaram-se dados de uma série histórica das estações meteorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes aos anos de 2000 a 2020, localizadas nos municípios de Jataí, Rio Verde, Mineiros e Caiapônia (Tabela 1).

Tabela 1. Estações meteorológicas dos municípios de Jataí, Rio Verde, Mineiros e Caiapônia (2000 a 2020)

Estações	Códigos	Altitudes (m)	Latitudes	Longitudes
Jataí	83464	670.08	-17.92	-51.71
Rio Verde	83470	780.04	-17.78	-50.96
Mineiros	1752003	690.00	-17.45	-52.60
Caiapônia	1651000	713.00	-16.96	-51.81

Fonte: INMET; ANA, 2020. Organizada pelos autores, 2024.

A bacia hidrográfica, enquanto unidade de gestão e planejamento ambiental, tem favorecido, cada vez mais, a integração de parâmetros do quadro físico e antropogênico. O índice de erosividade (R), nesse contexto, vem sendo largamente empregado, pois, permite o conhecimento da suscetibilidade dos solos à erosão hídrica (P. T. Santos & Martins, 2018).

Conforme Rodrigues et al., (2017), a erosividade pluviométrica caracteriza a capacidade natural da chuva em erodir solos sem proteção de cobertura vegetal. Nessa perspectiva, as gotas de chuvas, ao impactarem diretamente sobre o solo, considerando a intensidade e a quantidade, têm a capacidade de provocar desagregação e transporte dos componentes particulados orgânicos e inorgânicos por meio do escoamento superficial (Trindade, Oliveira, et al., 2016a).

Dessa maneira, no cálculo do índice de erosão pluviométrica (EI_{30}), aplicou-se a Equação 2, proposta por (SILVA, 2004), para parte das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil.

$$EI_{30} = 36.849 * \left(\frac{M^2x}{P}\right)^{1.0852} \quad (2)$$

Sendo:

EI_{30} = média mensal do índice de erosão ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

M^2x = precipitação média mensal (mm);

P = precipitação média anual (mm).

Assim, com base nos dados pluviométricos das estações meteorológicas situadas nas cidades de Jataí, Rio Verde, Mineiros e Caiapônia, determinou-se o índice de erosividade (EI_{30}) mensal ao longo de 20 anos, conforme a aplicação da Equação 3, e os pressupostos defendidos por Wischmeier & Smith (1978). O mapa de erosividade, gerado no sistema métrico internacional ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), foi convertido posteriormente para o sistema métrico decimal ($tn.mm.ha^{-1}.ano^{-1}$), por meio de uma divisão dada por 9,81 (Cabral et al., 2011).

$$R = \sum_{i=1}^{12} (EI_{30})_i \quad (3)$$

O produto do mapa de erosividade pluviométrica foi ajustado aos valores preconizados por Carvalho, (2008) para a classificação dos limites de cada classe, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da erosividade pluviométrica

Classes de erosividade	Erosividade
Muito Baixa	$R < 250$
Baixa	$250 < R < 500$
Média	$500 < R < 750$
Alta	$750 < R < 1000$
Muito Alta	$R > 1000$

Fonte: Carvalho, 2008. Org: Autores, 2024.

Quanto à determinação do fator de erodibilidade dos solos, fez-se uso do mapa de pedologia do estado de Goiás, na escala de 1:250,000, sendo, posteriormente, recortado para os limites da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso, em que foram definidas as seguintes classes de solos: Cambissolo Háptico Distrófico e Latossolo Vermelho Distrófico.

Nesse cenário, o fator de erodibilidade (K) diz respeito à capacidade do solo em resistir às intempéries relacionadas à erosão hídrica sendo, assim, fundamental no estudo da paisagem de bacias hidrográficas (Durães & Mello, 2016). Como variável de grande importância na análise da fragilidade ambiental, o fator de erodibilidade, como parâmetro da EUPS, está relacionado diretamente com as características físicas, químicas, orgânicas, microbiológicas e mineralógicas dos solos (Morais & Sales, 2017).

Sendo assim, na Tabela 3 estão representadas as classes de solos e o fator de erodibilidade para o contexto da bacia hidrográfica em estudo.

Tabela 3. Classes de solos e fator de erodibilidade (K) da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso

Classes de solos	Fator K (t/ha MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	Fontes	Classificação*
Cambissolo Háptico Distrófico	0,047	Oliveira (2018)	Muita Baixa
Latossolos Vermelhos distróficos	0,028	Oliveira (2018)	Média

Fonte: SIEG, 2021; *Adaptado de Raimo et al (2019); Organizada pelos autores, 2024.

Na geração do fator LS, representando o comprimento de rampa (m) e a declividade da bacia, fez-se uso dos dados da *Shuttle Radar Topographic Mission*, com resolução espacial de 30 m para cada pixel da imagem. Assim, a determinação desse parâmetro, como variável adimensional à perda de solo nas dimensões interfluviais das encostas (Thomas et al., 2018),

resultou da sobreposição dos *rasteres* ligados à direção de fluxo, declividade (S), fluxo acumulado e comprimento de rampa das encostas.

Com a aquisição dos dados do SRTM, realizou-se o tratamento por meio da aplicação da ferramenta *Fill* do *software* ARCGIS, Versão 10.5 para a correção de falhas ou sumidouros que esses Modelos Numéricos do Terreno apresentam (Mendes & Cirilo, 2001). Posteriormente, seguindo os pressupostos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (EMBRAPA, 2018), para a classificação do relevo foram geradas as classes de declividade (Slope), conforme a Tabela 4, bem como a adequação do fator topográfico (LS), conforme (Fornelos & Neves, 2007).

Tabela 4. Classificação da declividade e do fator topográfico (LS)

Declividade	Classificação*	Fator topográfico (LS)	Classificação**
0 a 3	Plano	0 a 1,2	Muito Baixa
3 a 8	Suave Ondulado	1,2 a 1,7	Baixa
8 a 20	Ondulado	1,7 a 3,3	Baixa
20 a 45	Forte Ondulado	3,3 a 5,5	Moderada
45 a 75	Montanhoso	5,5 a 7,5	Moderadamente Forte

Fonte: *EMBRAPA (2018); **FORNELOS; NEVES (2007). Organizada pelos autores, 2024.

Desse jeito, conforme as equações (B4 e B5) e a condição estabelecida para a geração do fator (S) (McCool et al., 1987), determinou-se a geração do fator topográfico (LS). A aplicação da equação (B4), defendida por (Foster et al., 1981), favoreceu a obtenção do comprimento de rampa (m), a qual consiste em (Equação 4):

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^2, \quad m = \frac{\beta}{1+F}, \quad F = \frac{\ln \beta / 0.0896}{3 (\sin \beta)^{0.8} + 0.56} \quad (4)$$

Sendo:

L = Comprimento de rampa (m);

m = Constante da declividade da encosta;

β = Razão entre a erosão no sulco e entresulco.

A aplicação dos diferentes Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) na geração do fator topográfico e nos processos intermediários da EUPS, nos últimos anos, além de facilitar as aplicações nas pesquisas geográficas, tem reduzido, substancialmente, a subjetividade e

formato *raster*, posteriormente, foram convertidas em formato vetorial para o processo de pós-classificação.

Dessa maneira, para o cálculo do fator CP da área de estudo, foram utilizados os dados do mapeamento obtidos das imagens Landsat-8, de 2020, e do projeto Mapbiomas, do ano de 2010. Depois de identificadas as principais culturas e tipos de cobertura vegetal presentes no cenário da bacia, foram analisados registros bibliográficos para a determinação dos fatores C e P. Assim, tais fatores de uso e manejo do solo e práticas conservacionistas, no contexto em apreço, foram analisados conjuntamente, caracterizando os processos de uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica em questão (Tabela 5).

Tabela 5. Uso e ocupação da terra e Práticas Conservacionistas - (CP)

Uso e ocupação do solo	CP	Classificação
Curso de água	0,0	-
Agropecuária	0,12	Média
Cerrado ralo	0,0007	Baixa
Cerrado denso	0,00004	Muito Baixa

Fonte: Stein et. al (1987) com adaptação pelos autores (2024).

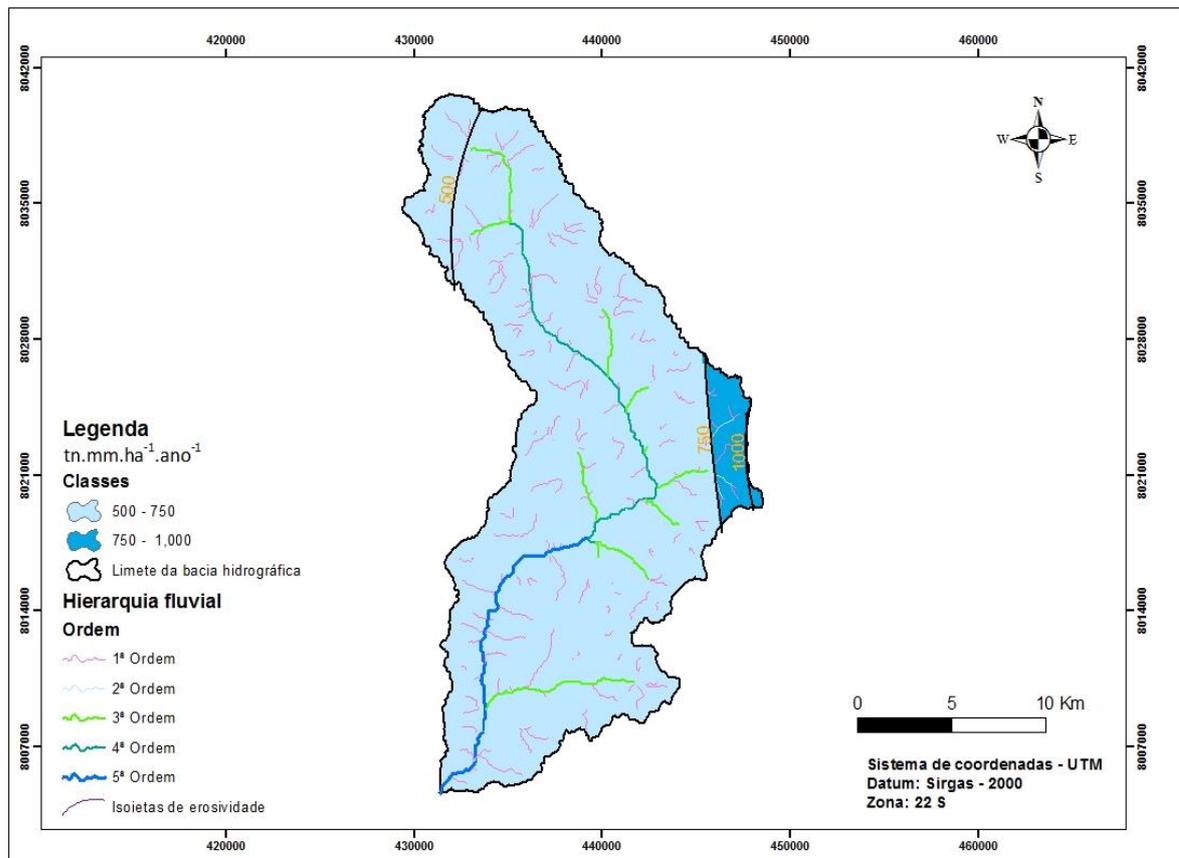
Resultados e discussão

As características física, química e biológica dos solos de uma região estão relacionadas diretamente com as condições climáticas predominantes. Nesse contexto, a compreensão sobre a erosividade pluviométrica local, representando a capacidade natural da chuva em erodir solos sem cobertura vegetal tem configurando-se como uma variável de suma importância na análise e no planejamento ambiental de bacias hidrográficas, uma vez que possibilita predição da erodibilidade dos solos em diferentes ambientes hidrológicos (Santos & Martins, 2018; Trindade, et al., 2016b; Wischmeier & Smith, 1978).

Dada a dimensão continental do Brasil, com pouco mais de 8 milhões de km², o país apresenta uma grande deficiência na distribuição de estações meteorológicas e pluviômetros; assim, uma alternativa encontrada para suprir tal lacuna tem sido a utilização de dados de precipitações provenientes de estações meteorológicas da Agência Nacional de Água e do Instituto Nacional de Meteorologia, localizadas em algumas regiões.

No cenário da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso, o índice de erosividade (R), com valores encontrados nas casas de 500 - 750 $\text{tn.mm.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e 750 - 1000 $\text{tn.mm.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Figura 2), foram considerados médio e alto (Carvalho, 2008).

Figura 2. Mapa de erosividade pluviométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

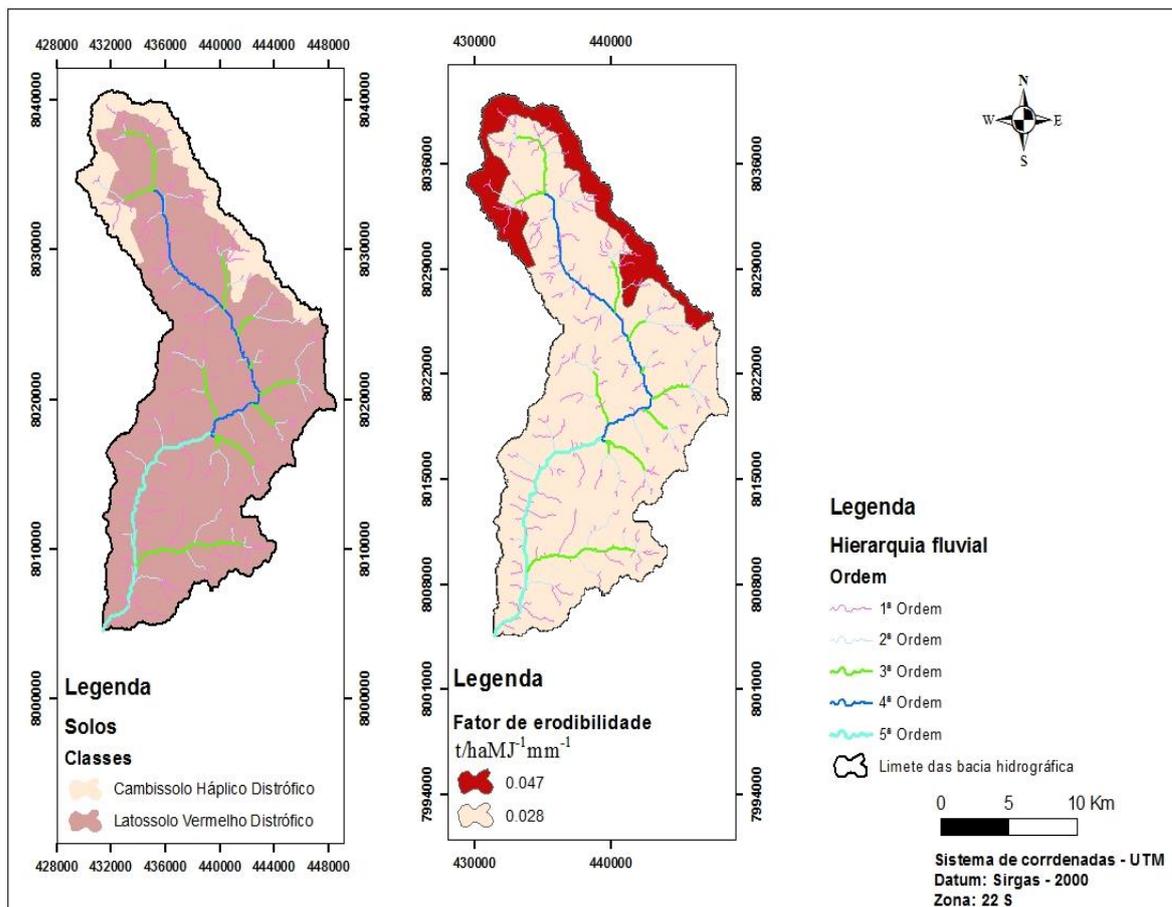
Conforme percebido no mapa de erosividade (Figura 2), cerca de 96% da bacia hidrográfica em estudo apresentam grau de erosividade considerado médio, com exceção do extremo leste, com erosividade classificada como alta, ao longo dos anos de 2000 a 2020, definidos para o estudo.

No que diz respeito ao fator K, representando a erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica em questão, observa-se a existência das classes de solos Cambissolo Háplico Distrófico e Latossolo Vermelho Distrófico. Assim, conforme apontamento de Oliveira et al., (2018), os solos tidos como Cambissolo Háplico Distrófico apresentam maior suscetibilidade à

erosão, com valor K na ordem de $0,047$, $t/ha MJ^{-1} mm^{-1}$, enquanto o Latossolo Vermelho Distrófico apresentou fator de $0,028$ (Figura 3).

Conforme se observa, aproximadamente 87,32% da bacia hidrográfica em estudo são cobertos pela classe de Latossolo Vermelho Distrófico, sendo, assim, menos propícia aos processos erosionais provocados pelas intempéries.

Figura 3. Mapas de solo e do fator K da bacia em estudo

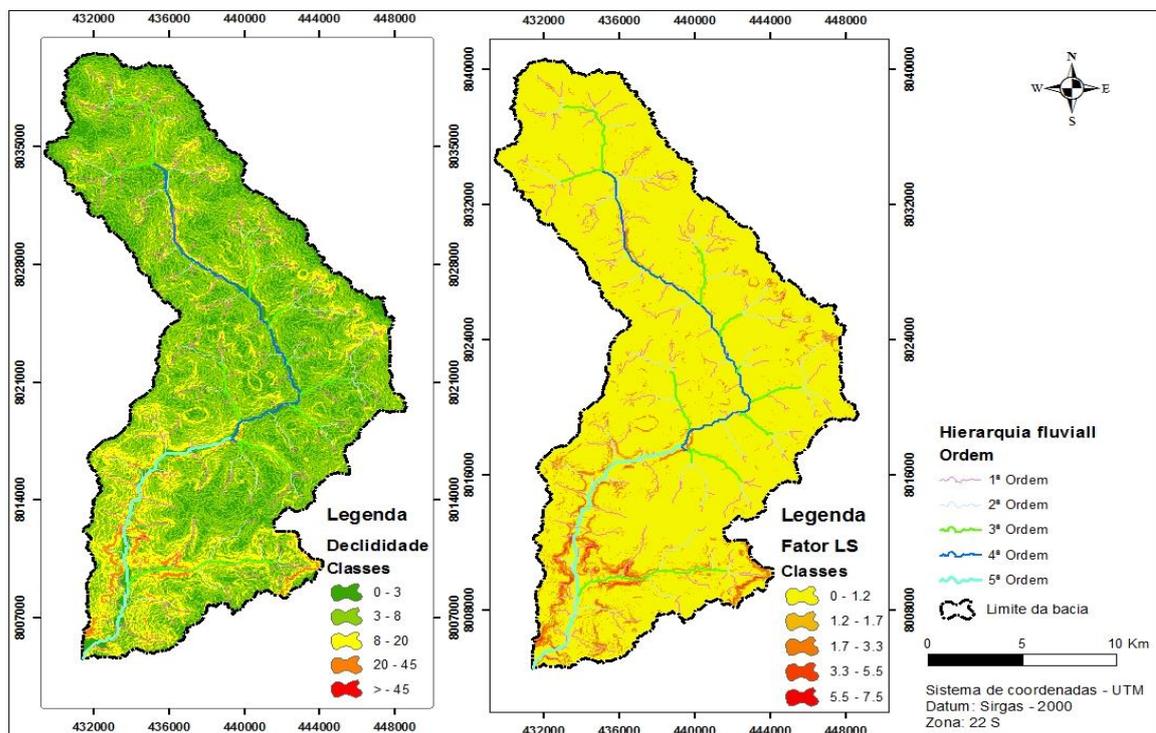


Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Quanto ao fator topográfico (LS) da área de estudo, caracterizando a declividade e o comprimento de rampa, há predominância para as áreas com valores considerados baixos (0 a 1.2) e muito baixos (1.2 a 3.3), cujos terrenos são classificados como Plano, Suave Ondulado e Ondulado (EMBRAPA, 2018).

Conforme se percebe na Figura 4, as áreas com as maiores suscetibilidades à erosão estão situadas nas regiões sul, sudeste, sudoeste e leste da bacia hidrográfica. Na verdade, tratam-se dos terrenos com declividades maiores que 20% e fator topográfico situado entre os intervalos de 3.3 a 5.5 e 5.5 a 7.4 (Fornelos & Neves, 2007).

Figura 4. Mapas de declividade e do fator topográfico LS da área de estudo



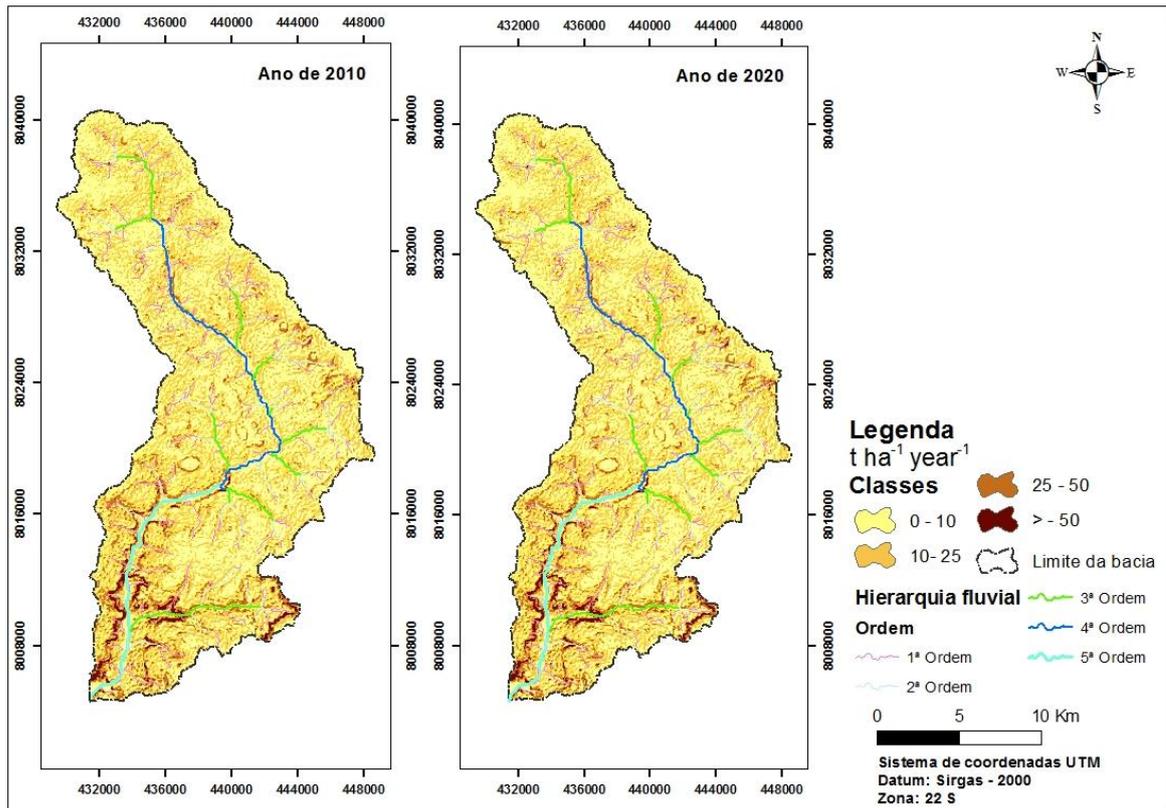
Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Concernente ao modelo de uso e ocupação da terra, representando o manejo do solo e as práticas conservacionistas (CP), os valores das classes geradas variaram entre zero, para os cursos de água, 0.12, para as atividades agropecuárias, 0.0007, para a classe de vegetação rala, e 0.00004 para a classe de vegetação densa (Figura 5).

De acordo com o mapa da Figura 5, há predomínio para a classe de atividade agropecuária, caracterizando, dessa maneira, um tipo de uso da terra consolidado no cenário da bacia, conforme investigado ao longo dos anos de 2010 a 2020. No contexto em questão, as classes menos propícias aos processos erosionais são aquelas cobertas pelas fitofisionomias do Cerrado denso e Cerrado ralo, incluindo as Áreas de Preservação Permanentes (APP) ao longo

os intervalos de 0 a 10 t ha⁻¹ year⁻¹ para erosão ligeira a moderada e 10 a 25 t ha⁻¹ year⁻¹ para erosão grave a moderada (FAO, 1984).

Figura 6. Mapas multitemporais de perda de solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Quanto ao ano de 2020, percebe-se um ligeiro aumento da erosão nas classes de 0 a 10 t ha⁻¹ year⁻¹ para erosão ligeira a moderada e 10 a 25 t ha⁻¹ year⁻¹ para erosão grave a moderada; nesse caso, houve um salto de 326,46 km² no ano de (2010) para 327, 2 km² no ano de (2020), o correspondente a menos de 1% para os anos analisados. Assim, nota-se uma consolidação da área destinada às atividades agropecuárias no contexto da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso (Tabela 6).

No cenário em questão, conforme demonstrado na Tabela 6, as áreas mais suscetíveis à erosão, classificadas como Grave nos intervalos de 25 a 50 t ha⁻¹ year⁻¹, com valores de 29.42 km² (8.13%) 2010, estão concentradas, principalmente, nas regiões sul, sudeste e leste-nordeste da bacia; no ano de 2020, por sua vez, não houve discrepância acentuada em relação a 2010,

uma vez que, naquele ano, as áreas consideradas Graves ocuparam 28.56 km² (7.90%) do conjunto. Quando analisaram a suscetibilidade à perda de solo do município de Jataí, no estado de Goiás, Pereira et al., (2022) encontraram valores semelhantes.

Tabela 6. Análise multitemporal de susceptibilidade à perda de solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso (2010 a 2020)

Classificação*	t ha ⁻¹ year ⁻¹	Ano de 2010		Ano de 2020	
		Km	%	Km	%
Ligeira a Moderada	0 - 10	158.59	43.85	168.84	46.68
Grave a Moderada	10 - 25	167.87	46.41	158.36	43.78
Grave	25 - 50	29.42	8.13	28.56	7.90
Muito Grave	> - 50	5.79	1.60	5.91	1.64
Total		361.68	100	361.68	100

Fonte: *FAO, 1984; elaborado pelos autores, 2024.

Segundo a classificação da FAO (1984), pouco mais de 11 km² da bacia, para os anos de 2010 e 2020, o equivalente a 1.60% e 1.64%, respectivamente, para os mencionados anos, apresentaram suscetibilidade à erosão considerada Muito Grave. Nesse caso, são terrenos situados na porção sul-sudeste da bacia supracitada. Nota-se, de fato, uma consolidação das atividades agropecuárias no perímetro da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso.

Considerações finais

- Enquanto modelo matemático integrador de temas relacionados à paisagem natural e antropogênica, a EUPS tem demonstrado ser de grande utilidade nos diagnósticos ambientais de áreas suscetíveis à perda de solo. Desse modo, a integração de seus fatores de erosividade pluviométrica (R), de erodibilidade do solo (K), de declividade e comprimento (LS), de uso e manejo do solo e de práticas conservacionistas (CP) possibilitou, no cenário da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso, o levantamento de regiões que apresentam Ligeira a Moderada, Grave a Moderada, Grave e Muito Grave suscetibilidade à perda de solo por erosão hídrica.

- Percebeu-se que, ao longo dos anos de 2000 a 2020, houve pouca variação entre as perdas de solo no cenário da bacia hidrográfica investigada, uma vez que o tipo de uso e ocupação da terra, bastante consolidado nas atividades agropecuárias, não favorece a expansão de novas áreas agrícolas, dada a inexistência de terrenos cobertos por vegetação nativa do bioma Cerrado.
- No contexto, as áreas mais suscetíveis à erosão, classificadas como Grave nos intervalos de 25 a 50 t ha⁻¹ year⁻¹, com valores de 29.42 km² (8.13%), estão concentradas nas regiões sul, sudeste e leste-nordeste da bacia para o ano de 2010; no cenário de 2020, por sua vez, não houve discrepância acentuada em relação à 2010, pois, naquele ano, as áreas consideradas Grave ocuparam 28.56 km² (7.90%) do conjunto. Os terrenos com Muito Grave Suscetibilidade à perda de solo representam pouco mais de 11 km² da bacia hidrográfica, o equivalente a 1.60% e 1.64%, respectivamente, para os anos de 2010 e 2020.
- Observou-se no contexto investigado que o modelo de uso e ocupação de terra, centrado em práticas consolidadas de atividades agropecuárias, potencializa as áreas suscetíveis à perda de solo por erosão hídrica. Assim, como a bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso é uma das principais contribuintes da bacia do rio Claro, sendo esta a fonte de abastecimento do município de Jataí, a implementação de práticas conservacionista e preservacionista, com o uso e manejo adequado solo e recuperação de Área Preservação Permanente (APP), tornam-se cada vez mais necessárias no atual cenário.

REFERÊNCIAS

- Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K., & Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 203–225. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- Bertoni, J., & Neto, F. L. (2017). *Conservação do solo* (10, Ed.). ÍCONE.
- Botelho, R. G. M., & Silva, A. S. (2007). Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In A. C. Vitte & A. J. T. Guerra (Eds.), *Reflexões sobre a geografia física no Brasil* (2nd ed., pp. 153–192). Bertrand Brasil.
- BRASIL. (1997). *Lei Federal 9.433 Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos*. Diário Oficial. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm

- Cabral, J. B. P., Rocha, I. R. da, Martins, A. P., Assunção, H. P. da, & Becegato, V. A. (2011). Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. *GEOfocus*, 11, 51–60.
- Cardoso, M. R. D., Marcuzzo, F. F. N., & Barros, J. R. (2015). Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. *Acta Geográfica*, 8(16), 40–55. <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v8i16.1384>
- Carvalho, N. de O. (2008). *Hidrossedimentologia prática* (2, Ed.). Interciência.
- Oliveira, A. R., Ferreira, L. C. G., & Garvey, B. (2018). A ocupação do Cerrado goiano pelo agronegócio canavieiro. *Rev. Nera*, 43, 79–100.
- Demarchi, J. C., & Zimback, C. R. L. (2014). Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. *Energia na Agricultura*, 29(2), 102. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n2p102-114>.
- Desmet, P. J. J., & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), 427–433.
- Dubreuil, V., Fante, K. P., Planchon, O., & Neto, J. L. S. (2018). Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins*, 37. <https://doi.org/10.4000/confins.15738>
- Durães, M. F., & Mello, C. R. de. (2016). Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(4), 677–685. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016121182>
- EMBRAPA. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de solos* (5th ed.). Rev. e ampl.
- FAO. (1984). *Food and Agriculture Organization. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 1984.* https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30905/Cartografica_Desertizacion_SP.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Fornelos, L. F., & Neves, S. M. A. da S. (2007). The use of Digital Elevation Models (DEM) obtained by Interferometric radar images (SRTM) to estimate soil losses. *Revista Brasileira de Cartografia*, 59(1).

- Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G., & Moldenhauer, W. C. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal Soil and Water Conservation*, 36, 355–359.
- Franco, J. de A., Ganem, R. S., & Barreto, C. (2016). Devastação e Conservação no Bioma Cerrado: Duas Dinâmicas de Fronteira. *Revista Expedições: Teoria Da História e Historiografia*, 7(2).
- Furlan, A. R., Filipini, R. C., & Reis, J. T. (2016). Os diferentes tipos de uso e cobertura da terra e sua influência nos parâmetros de qualidade da água. *Ciência e Natura*, 38(3), 1319. <https://doi.org/10.5902/2179460X22694>
- Hespanhol, A. N. (2000). A expansão da agricultura moderna e a integração do Centro-Oeste brasileiro à economia nacional. *Caderno Prudentino de Geografia*, 1(22).
- INMET, I. N. de M. (2023, August 31). *Normais Climatológicas do Brasil*.
- Koppen, W. (1931). *Climatologia*. México, Fundo de Cultura Econômica.
- Lima, G., Ferreira, N., & Ferreira, M. E. (2018). Modelagem da Perda Superficial de Solo para Cenários de Agricultura e Pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. *Revista Brasileira de Cartografia*, 70(4), 1510–1536. <https://doi.org/10.14393/rbcv70n4-46513>
- Lima, L. J., Lima Júnior, J. F., & Luna, Y. H. D. M. (2018). Desenvolvimento sustentável, sustentabilidade e saúde: uma revisão. *Ciência e Sustentabilidade*, 4(2), 133–150.
- Mantovani, V. A., Amorim, J. da S., Rodrigues, A. F., Junqueira, R., Carvalho, R. N., & Oliveira, A. S. de. (2018). Estimativas da taxa de entrega de sedimentos e áreas susceptíveis à erosão em uma bacia hidrográfica no sul de minas gerais – brasil. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, 16(2). <https://doi.org/10.5892/ruvrd.v16i2.5061>
- Marques, V., Ceddia, M., Antunes, M., Carvalho, D., Anache, J., Rodrigues, D., & Oliveira, P. (2019). USLE K-Factor Method Selection for a Tropical Catchment. *Sustainability*, 11(7), 1840. <https://doi.org/10.3390/su11071840>
- McCool, D. K., Foster, G. R., Renard, K. G., Yoder, D. C., & Weesies, G. A. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 30, 1387–1396.
- Mendes, C. A. B., & Cirilo, J. A. (2001). *Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação*. (ABRH, Ed.; p. 536).

- Morais, R. C. de S., & Sales, M. C. L. (2017). Estimation of the Natural Soil Erosion Potential of the Upper Gurguéia Basin, PiauíBrazil, using Geographic Information System. *Caderno de Geografia*, 27(1), 84. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27nesp1p84>
- Oliveira, A. R. de, Ferreira, L. C. G., & Garvey, B. (2018). A ocupação do cerrado goiano pelo agronegócio canavieiro/The Cerrado biome occupation through the sugarcane agribusiness. *REVISTA NERA*, 43, 79–100. <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i43.5525>
- Pereira, M. D. R., Cabral, J. B. P., Camara, M. A. B., Maldonado, F. D., Becegato, V. A., Paulino, A. T., & Ramalho, F. L. (2022). Estimation of susceptibility to erosion-soil loss in drainage basins: a case study. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05664-6>
- Rocha;, H. M., Cabral;, J. B. P., Batista;, D. F., & Oliveira, L. G. (2019). Avaliação físico-química e microbiológica das águas da bacia hidrográfica do rio Paraíso Jataí-GO. *Geosul*, 34(72).
- Rocha, L. B. de O., & Magri, R. A. F. (2022). Predição da perda de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do ribeirão Bocaina, Passos-MG. *Caminhos de Geografia*, 23(87). <https://doi.org/10.14393/RCG238759130>
- Rodrigues, J. A. M., Mello, C. R. de, Viola, M. R., & Rodrigues, M. C. (2017). Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cervo - MG. *Geociências*, 36(3), 531–542. https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/36/volume36_3_files/36-3-artigo-09.pdf
- Santos, A. M., & Nunes, F. G. (2021). Mapeamento de cobertura e do uso da terra: críticas e autocríticas a partir de um estudo de caso na Amazônia brasileira. *Geosul*, 36(78), 476–495. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72887>
- Santos, P. T., & Martins, A. P. (2018). Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (GO) Utilizando Geotecnologias. *Revista Do Departamento de Geografia*, 36, 155–170. <https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.14366>
- Silva, A. M. da S. (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. *CATENA*, 57, 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>
- Silva, D. B. Q., & Andrade, L. N. P. da S. (2019). Caracterização hidrossedimentológica e as formas de uso/ocupação da terra no alto curso da sub-bacia hidrográfica do Córrego Jaracatiá

no município de Colider-Mato Grosso. *Caminhos de Geografia-Revista Online*, 20(71), 32–51.

Sousa, F. R. C., & Paula, D. P. (2019). Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do rio Coreaú (CEARÁ-BRASIL). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 20(3). <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1393>

Thomas, J., Joseph, S., & Thrivikramji, K. P. (2018). Assessment of soil erosion in a tropical mountain river basin of the southern Western Ghats, India using RUSLE and GIS. *Geoscience Frontiers*, 9(3), 893–906. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.05.011>

Trindade, A. L. F., Oliveira, P. T. S. de, Anache, J. A. A., & Wendland, E. (2016a). Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(12), 1918–1928. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016001200002>

Trindade, A. L. F., Oliveira, P. T. S. de, Anache, J. A. A., & Wendland, E. (2016b). Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(12), 1918–1928. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016001200002>

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *redicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Departamento of Agriculture.

ZAEE, G. (2024, September 12). *Macrozoneamento Agroecológico e Econômico de 2014*.

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores:

Autor 1: Marcelo Divino Ribeiro Pereira, contribuiu no levantamento e análise de dados raster e vetoriais, bem como na aplicação das equações EUPS e geração das áreas suscetíveis a perda de solo no contexto da bacia hidrográfica do ribeirão Paraíso, Jataí (GO). Responsável final pela inserção de dados, formatação e revisão.

Autor 2: João Batista Pereira Cabral, contribuiu no levantamento e discussões bibliográficas, análise, interpretação e revisão dos dados.

Autor 3: Patrícia Tinoco Santos, contribuiu no levantamento e análise de dados raster e vetoriais do Mapbiomas, bem como na revisão da escrita e formatação.

Autor 4: Alécio Perini Martins, contribuiu no levantamento e discussões bibliográficas, análise, interpretação e revisão dos dados.

Financiamento: Sem financiamento.

Conflito de interesse: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.