

MODELAGEM DA PERDA DE SOLOS NO MUNICÍPIO DE SILVÂNIA - GOIÁS

Soil Loss Modeling in the Municipality of Silvânia - Goiás

Modelización de la pérdida de suelo en el municipio de Silvânia - Goiás

Gustavo Maia Rocha*
Fabrizia Gioppo Nunes**
Alex Mota dos Santos***

*Bacharel em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Brasil – gmaia598@discente.ufg.br

**Doutora em Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professora do Programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Brasil – fabrizia@ufg.br

***Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Itabuna, Brasil – alexmota@ufsb.edu.br

Recebido em 19/09/2025. Aceito para publicação em 27/11/2025.
Versão online publicada em 03/02/2026 (<http://seer.ufrgs.br/paraonde>)

Resumo:

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e diversidade climática, enfrenta sérios problemas de erosão hídrica dos solos. Esse processo, impulsionado pela força da água da chuva em regiões de clima tropical, juntamente com as intensas atividades da agropecuária, como nos municípios do Cerrado brasileiro, representa uma das principais formas de degradação dos solos. Assim, este estudo tem como objetivo principal avaliar a dinâmica temporal e espacial da vulnerabilidade à perda de solos no município de Silvânia, Goiás, em dois cenários distintos: 1985 e 2023. Para isso, buscou-se identificar as possíveis causas da erosão hídrica nas diferentes tipologias de cobertura e uso da terra, compreendendo quais fatores ambientais são desencadeadores desse fenômeno. Para a modelagem, foi empregada a Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS/USLE) em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), estimando os fatores CP, LS, K e R. Os resultados apontaram mudanças significativas na cobertura do solo, com aumento das áreas agrícolas e redução das formações naturais. As áreas de uso agrícola em encostas íngremes revelaram alta vulnerabilidade à erosão, influenciadas pelo relevo acentuado, pelos padrões de uso da terra e pelas características edafoclimáticas da região. Conclui-se que a expansão da agricultura sem práticas conservacionistas tem acentuado a degradação dos solos. Para o município, destaca-se a importância do manejo e de técnicas conservacionistas como terraceamento, curvas de nível e manutenção da cobertura vegetal.

Palavras-chave: Mapeamento. Erosão hídrica. Geotecnologias.

Abstract:

Brazil, with its vast territorial extension and climatic diversity, faces serious problems of water erosion of soils. This process, driven by the force of rainwater in tropical climates regions, along with intense agricultural activities, such as in the municipalities of the Brazilian Cerrado, represents one of the main forms of soil degradation. Thus, this study aims to evaluate the temporal and spatial dynamics of vulnerability to soil loss in the municipality of Silvânia, Goiás, in two distinct scenarios: 1985 and 2023. To do this, we sought to identify the probable causes of water erosion in the different land cover and land use typologies, understanding which environmental factors trigger this phenomenon. For modeling, the Universal Soil Loss Equation (USLE) was employed in a Geographic Information System (GIS), estimating the CP, LS, K, and R factors. The results indicated significant changes in land cover, with an increase in agricultural areas and a reduction in natural formations. Agricultural areas on steep slopes revealed high erosion vulnerability to erosion, influenced by the accentuated relief, land use patterns and edaphoclimatic characteristics of the region. It is concluded that the agricultural expansion without conservation practices has accentuated soil degradation. For the municipality, the importance of land management and conservation techniques such as terracing, contour lines, and maintenance of vegetation cover is highlighted.

Keywords: Mapping. Water erosion. Geotechnologies.

Resumen:

Brasil, con su vasta extensión territorial y diversidad climática, enfrenta serios problemas de erosión hídrica de los suelos. Este proceso, impulsado por la fuerza del agua de lluvia en regiones de clima tropical, junto con las intensas actividades agropecuarias, como en los municipios del Cerrado brasileño, representa una de las principales formas de degradación de los suelos. Así, este estudio tiene como objetivo principal evaluar la dinámica temporal y espacial de la vulnerabilidad a la pérdida de suelo en el municipio de Silvânia, Goiás, en dos escenarios distintos: 1985 y 2023. Para ello, se buscó identificar las posibles causas de la erosión hídrica en las diferentes tipologías de cobertura y uso de la tierra, comprendiendo cuáles factores ambientales son desencadenantes de este fenómeno. Para el modelado, se empleó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS/USLE) en un Sistema de Información Geográfica (SIG), estimando los factores CP, LS, K y R. Los resultados apuntaron a cambios significativos en la cobertura del suelo, con un aumento de las áreas agrícolas y una reducción de las formaciones naturales. Las áreas de uso agrícola en laderas empinadas revelaron una alta vulnerabilidad a la erosión, influenciadas por el relieve acentuado, los patrones de uso de la tierra y las características edafoclimáticas de la región. Se concluye que la expansión de la agricultura sin prácticas conservacionistas ha acentuado la degradación de los suelos. Para el municipio, se destaca la importancia del manejo y de técnicas conservacionistas como el aterrazamiento, las curvas de nivel y el mantenimiento de la cobertura vegetal.

Palabras-clave: Cartografía. Erosión hídrica. Geotecnologías.

1. Introdução

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e diversidade climática, enfrenta problemas significativos relacionados à erosão hídrica dos solos. Esse processo, impulsionado pela força da água da chuva e de enxurradas, representa uma das principais formas de degradação das terras no país, causando consideráveis impactos ambientais, econômicos e sociais (Dechen *et al.*, 2015). A integridade das camadas do solo, tanto de forma qualitativa quanto quantitativa, é afetada à medida que se ampliam as intervenções do homem na natureza. No Cerrado, esse problema tem se intensificado, juntamente com a expansão das atividades agropecuárias (Cunha *et al.*, 2008). Há que se considerar ainda que os solos desse bioma são de baixa fertilidade natural, reduzido teor de matéria orgânica e sujeitos a sazonalidades climáticas, ou seja, à erosão hídrica (EMBRAPA, 2020).

No âmbito do conhecimento científico, os estudos sobre a erosão hídrica dos solos têm sido temas de pesquisas há décadas. Essas pesquisas, por sua vez, indicam vários métodos e técnicas que possibilitam empregar análises em campo, estudos de chuvas simuladas e modelos matemáticos desenvolvidos em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para determinadas condições climáticas e ambientais (Weis *et al.*, 2022).

Um dos modelos matemáticos mais conhecido mundialmente para a análise de erosão hídrica dos solos é a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) - *Universal Soil Loss Equation* (USLE), proposta por Wischmeier e Smith (1965), a qual considera como fatores determinantes da perda de solos a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, a topografia do local, o uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas adotadas (Alewell *et al.*, 2019). Além disso, a EUPS/USLE é um modelo preditivo amplamente empregado e de fácil aplicação (Pinto; Garcia, 2005), pois exige um baixo número de parâmetros de entrada e pode ser implementada em um SIG (López *et al.*, 2003; Sestras *et al.*, 2023). Com isso, os mapas que representam os fatores ambientais que contribuem para a erosão se tornam uma ferramenta importante na análise territorial e no planejamento do uso da terra (Caraminan; Moraes, 2022).

Silvânia, localizada no estado de Goiás, assim como outros municípios do Bioma Cerrado, enfrenta desafios relacionados à erosão hídrica dos solos. A região é caracterizada por estações chuvosas bem definidas, relevo que varia de plano a ondulado e solos com diferentes graus de vulnerabilidade à erosão. A combinação desses fatores, juntamente com as atividades humanas, contribui para a ocorrência e intensificação dos processos erosivos na área (Gomes *et al.*, 2019).

Estudos realizados no município apontam para a presença de diferentes tipos de erosão, desde a erosão laminar, que remove uma fina camada superficial do solo, até a formação de sulcos e ravinas e, em casos mais graves, até mesmo de voçorocas (Carvalho *et al.*, 2006; Silva; Mascarenhas; Jesus, 2015). Esta última, a exemplo da "erosão *boulevard*" na área urbana, representa um problema significativo, afetando a infraestrutura e a segurança da população (Jesus; Carvalho, 2017).

Ainda em Silvânia, a bacia do Córrego Pedrinhas, que abrange parte do perímetro urbano, foi objeto de estudos que identificaram áreas com diferentes graus de suscetibilidade à erosão. Santos e Jesus (2017) verificaram que áreas urbanas e de pastagem são as que apresentam maior suscetibilidade à erosão linear na bacia. Da mesma forma, a bacia do Córrego Lava-Pés, também na porção central do município, apresenta processos erosivos lineares intensificados pela ocupação do solo e pelo desmatamento (Oliveira; Jesus, 2017).

Diversas são as iniciativas e os estudos voltados para a compreensão e o controle da erosão do solo em Silvânia. O mapeamento de áreas críticas à erosão hídrica linear, realizado por Carvalho e Castro (2023), é um exemplo do esforço para identificar e monitorar esse processo. A busca por soluções, como o estudo experimental com solução de cal para estabilização de taludes erodidos (Oliveira, 2018), também demonstra a preocupação em mitigar os efeitos da erosão no município. Porém, com a intensificação das lavouras temporárias, torna-se necessária a realização de novos mapeamentos que identifiquem e contabilizem o grau de vulnerabilidade à perda de solos por erosão laminar.

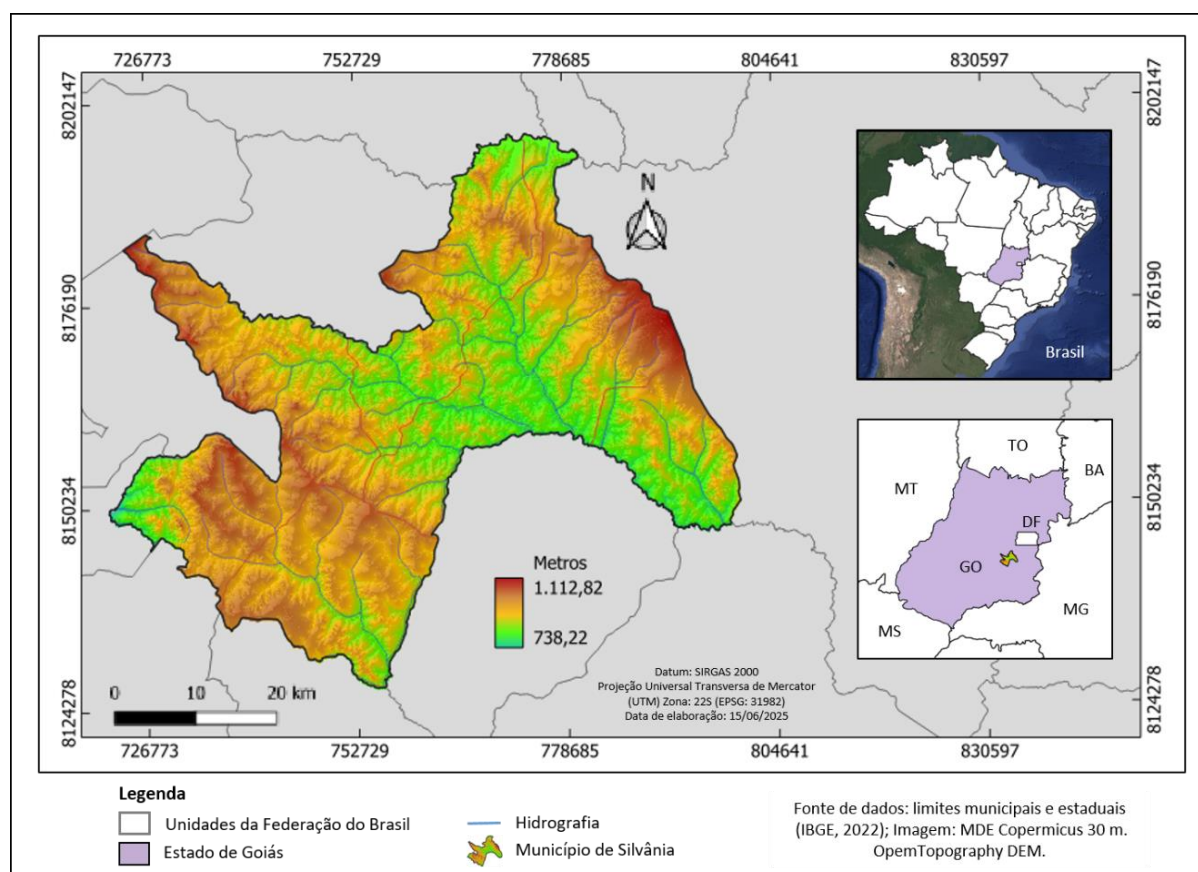
Diante desse problema, o presente estudo tem como objetivo avaliar a dinâmica temporal e espacial da vulnerabilidade à perda de solos no município de Silvânia, Goiás, nos anos de 1985 e 2023. Com isso, pretende-se identificar as possíveis causas para a ocorrência do fenômeno da erosão hídrica em diferentes tipologias de cobertura e uso da terra. A avaliação foi realizada por meio da modelagem da perda de solos, utilizando a EUPS/USLE, em conjunto com técnicas de geoprocessamento, como os SIG, processamento digital de imagens de sensoramento remoto e cartografia digital.

2. Área de Estudo

O município de Silvânia, situado a sudeste do estado de Goiás, localiza-se a aproximadamente a 80 km da capital, Goiânia. Possui uma área total de 2.349,924 km², com uma população de 22.245 habitantes e uma densidade demográfica de 9,14 habitantes/km², conforme dados do último censo demográfico (IBGE, 2022). Sua área limita-se ao norte com os municípios de Alexânia, Abadiânia e Gameleira de Goiás; ao sul, com São Miguel do Passa Quatro e Vianópolis; a leste, com Luziânia; e a oeste, com Bela Vista de Goiás, Caldazinha e Leopoldo de Bulhões (Figura 1).

No cenário geomorfológico, Silvânia está inserida no Planalto Central Brasileiro. O relevo é predominantemente plano a suavemente ondulado, com altitudes em torno de 900 metros (Goiás, 2022). Essa característica geomorfológica, favorece a mecanização agrícola, que é a principal atividade econômica da região. No entanto, é importante ressaltar que também há declividades elevadas no município. Quanto à geologia, a área está inserida na Província do Tocantins, composta majoritariamente por rochas ígneas e metamórficas, como granitos e gnaisses, englobados no contexto do Arco Magmático de Goiás, formado durante o período Neoproterozoico (CPRM, 2005).

Figura 1 - Localização do município de Silvânia - GO



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical sazonal (Aw), com duas estações bem definidas: chuva no verão e seca no inverno. A temperatura média anual é de aproximadamente 23° C e a precipitação média anual fica em torno de 1.750 mm, concentrada entre os meses de outubro e março (Goiás, 2022). Quanto aos aspectos pedológicos, os solos predominantes são os Latossolos Vermelho-Amarelos, típicos do Bioma Cerrado. Esses solos são profundos, bem drenados e têm baixa fertilidade natural, o que exige correção química para o uso agrícola intensivo. Apesar dessas limitações, com o manejo adequado, tornam-se aptos ao cultivo de grãos e ao pastoreio extensivo (EMBRAPA, 2020).

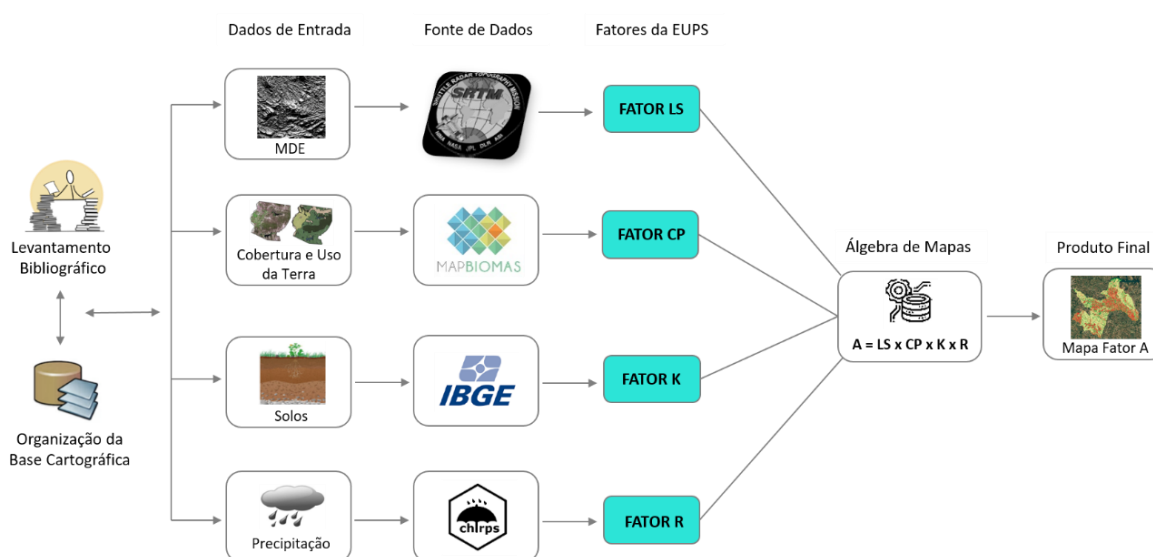
A economia silvaniense é baseada na agropecuária, com destaque para a pecuária bovina leiteira e para o cultivo de soja, milho e feijão. Esses produtos ocupam grandes áreas de cultivo e impulsionam cooperativas locais e pequenas agroindústrias, como laticínios e cerâmicas, que abastecem os mercados regionais (Goiás, 2021). Esse dinamismo no setor primário contribui para os indicadores socioeconômicos do município, o que se reflete em um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,709, classificado como alto (PNUD; IPEA,

2013). No entanto, como já mencionado, Silvânia também é conhecida pela presença de feições erosivas, resultantes da intensificação desse processo, tanto laminar quanto linear.

3. Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas as etapas de: (1) levantamento bibliográfico e organização da base de dados cartográficos; (2) processamento dos dados cartográficos de entrada; (3) aplicação da EUPS - Equação Universal de Perda de Solos em ambiente de SIG, ou seja, a modelagem dos dados; e (4) análises pós-geoprocessamento, dos resultados gerados, conforme representadas na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

O levantamento bibliográfico foi efetuado em meio impresso e digital, com a escolha de publicações acadêmicas, artigos científicos, livros e *websites* referentes ao tema de pesquisa. Assim sendo, os conhecimentos abordados partiram de estudos relacionados ao geoprocessamento, sensoriamento remoto, pedologia, geomorfologia, hidrogeologia, cartografia, modelagem de perda do solo, equação EUPS/USLE e suas aplicações para indicadores ambientais, legislação ambiental, estudos sobre erosões hídricas e processamento de imagens.

Houve também a obtenção de bases cartográficas para a confecção dos mapas temáticos. As bases cartográficas utilizadas foram: limites municipais e estaduais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022); levantamento de solos do (IBGE, 2018); mapas de cobertura e uso da terra dos anos de 1985 e 2023 (disponibilizados na rede colaborativa do

MAPBIOMAS (<https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>); dados pluviométricos mensais compilados pelo Satélite CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data*) dos anos de 1985 a 2023, disponibilizados no banco de dados (em nuvem) do *Google Earth Engine* e; dados da “Missão Topográfica de Radar Embarcado” (SRTM) do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Com base nessas fontes, ocorreu o processamento dos dados cartográficos de entrada para a representação das características físicas do município. Esse processamento consistiu na elaboração das cartas de: declividade e fator de rampa (resolução espacial de 30 metros); cobertura e uso da terra (escala de 1:100.000) dos anos de 1985 e 2023; classificação de solos (escala de 1:250.000) e isoietas da média anual total e média mensal de chuvas (5,5 km x 5,5 km $\approx$ 30 km²).

A aplicação da “EUPS/USLE” (Equação Universal de Perda de Solos), foi realizada por meio de modelagem computacional em um SIG, seguindo os procedimentos metodológicos apresentados por Pena (2020) e Lima (2018). Para tanto, foram utilizados os *softwares* Qgis (versão 3.28.01- licença gratuita) e Arcgis (versão 10.5.0 - licença para estudante por 30 dias).

Assim, a avaliação da perda de solos, para fins de comparação entre os anos de 1985 e 2023, foi realizada pela aplicação da EUPS/USLE proposta por Wischmeier e Smith (1965), e conforme apresentada na Equação 1. Essa equação tem como objetivo determinar o “FATOR A”, baseando-se na relação entre fatores naturais e antrópicos, gerando uma modelagem de perda anual dos solos.

Equação 1. EUPS/USLE

$$A = CP \times LS \times K \times R$$

Sendo: A = perda de solo por unidade de área (ton/ha⁻¹.ano⁻¹); CP = uso e cobertura do solo (adimensional); LS = comprimento da rampa/declividade (metro/porcentagem); K = erodibilidade do solo (ton ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹) e; R = erosividade, ou índice de erosão pela chuva, em (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹).

3.1 Fator CP

Os fatores relacionados à ação antrópica, C (uso da terra) e P (práticas conservacionistas), foram determinados em conjunto, pois, neste trabalho, a estimativa do CP seguiu a proposta metodológica apresentada por Stein *et al.* (1987). Para a aquisição dos dados de cobertura e uso da terra, presentes no fator CP, como já mencionado foi usada a base colaborativa do MAPBIOMAS, na plataforma de análise geoespacial baseada em nuvem do *Google Earth Engine*, disponível no link: <<https://earthengine.google.com/>>.

A aquisição deste dado passa diretamente por um código em *Javascript*. Nele, são associadas as propriedades desejadas, como a feição/geometria (recorte espacial) e o período (recorte temporal), em um painel. Em seguida, a análise é executada e, posteriormente, é feito o *download* da imagem que representa a cobertura e uso da terra. Na aplicação da EUPS/USLE, as classes de uso e cobertura da terra identificadas no município foram agrupadas e adaptadas às necessidades do estudo, conforme apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Fontes dos valores do Fator CP associado às classes de cobertura e uso da terra

CLASSE DE COBERTURA E USO AGRUPADOS	LEGENDA DO MAPBIOMAS	CÓDIGO MAPBIOMAS ENCONTRADO NO MUNICÍPIO	CP	FONTE CP
Fisionomia Florestal	Formação Florestal	3	0,00004	Borges (2009)
Fisionomia Savânica	Formação Savânica	4; 11; 12	0,01	Stein <i>et al.</i> (1985)
Floresta Plantada	Silvicultura	9	0,0001	Stein <i>et al.</i> (1985)
Pastagem	Pastagem	15	0,1	Silva <i>et al.</i> (2022)
Agricultura	Agricultura	20; 21; 39; 41; 46	0,2	Borges (2009)
Área Urbanizada	Área não vegetada	24; 25	0	Borges (2009)
Água	Rio, lago e oceanos	33	0	Silva <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Stein *et al.* (1985), Borges (2009) e Silva *et al.* (2022)

3.2 Fator LS

Os fatores L (comprimento da rampa) e S (declividade), foram determinados em conjunto, resultando no fator topográfico (LS), necessário à modelagem de perda de solos da EUPS/USLE. O LS foi derivado do modelo digital de elevação (MDE) da Missão Topográfica de Radar Embarcado (*Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM), com resolução de 30 metros.

3.3 Fator K

O fator K, ou fator erodibilidade, foi obtido a partir do mapeamento de solos brasileiros em escala de 1:250.000, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 1992. Após o recorte para a área de estudo, uma coluna chamada “K” foi criada na tabela de atributos, onde foram atribuídos valores para cada tipo de solo (Tabela 2). Esses valores são provenientes de diversas fontes e foram adaptados para este estudo, conforme Pena (2020).

Tabela 2 - Valores do Fator K associado às classes de solos

TIPO DE SOLO	VALOR DE K EM ($t, ha, h, ha^{-1}, MJ-1, mm^{-1}$)	FONTE
Área Urbana	0	----
Argissolo	0,0466	Mannigel <i>et al.</i> (2002)
Cambissolo	0,0508	Silva <i>et al.</i> (2005)
Latossolo	0,0162	Silva <i>et al.</i> (2005)
Plintossolo	0,0438	Morais e Sales (2017)

Fonte: Adaptado de Pena (2020)

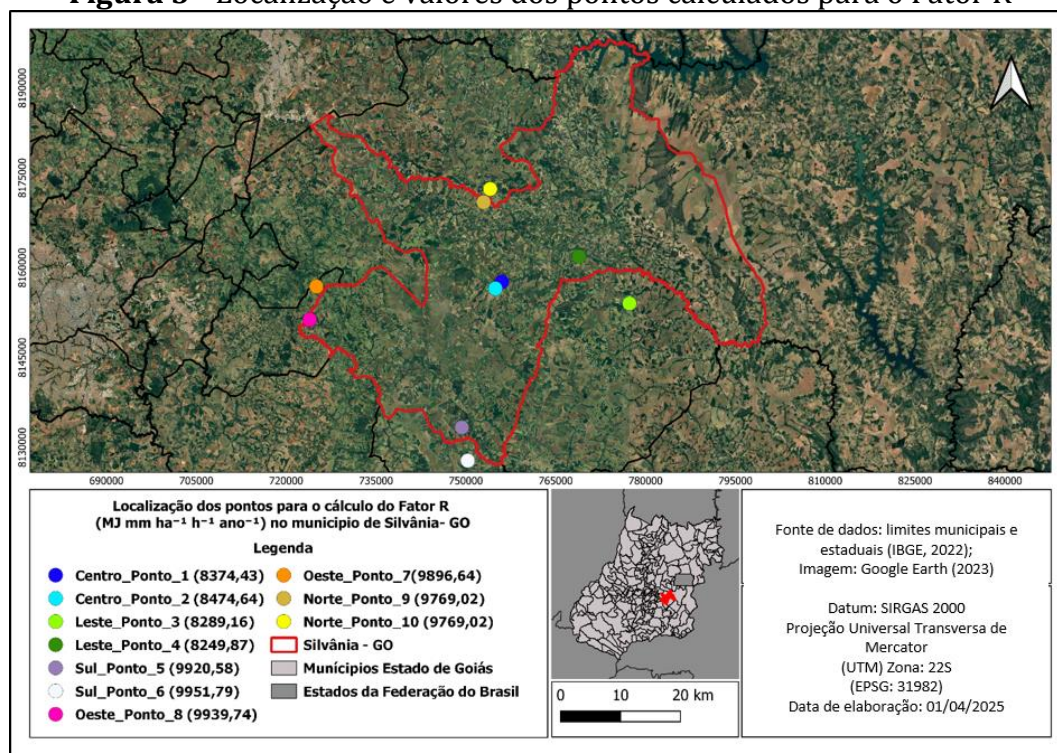
3.4 Fator R

O fator R, também conhecido como fator de erosividade, é a capacidade potencial da chuva em causar o fenômeno da erosão em um solo desprotegido (Bertoni; Lombardi Neto, 2012). Para esse estudo, os dados de precipitação foram extraídos do satélite CHIRPS, que engloba um conjunto de dados diários, pentadais e mensais de estações pluviométrica com resolução espacial de aproximadamente 5,5 km e com início de registro a partir de 1981 (Funk *et al.*, 2015).

Assim, no “Code Editor” da plataforma *Google Earth Engine*, foi inserido um código em linguagem de programação *JavaScript* que permitiu a visualização e o *download* da série temporal de dados mensais e anuais de precipitação do satélite CHIRPS. O período analisado foi

de 1985 a 2023, totalizando 38 anos, em 10 pontos georreferenciados no município de Silvânia, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Localização e valores dos pontos calculados para o Fator R



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Após a organização dos dados em formato de planilha do Excel, o fator R foi calculado conforme Lima (2018), utilizando as equações de média mensal do índice de erosão (Equações 2 e 3) para os 10 pontos, chegando no resultado das médias acumuladas (Figura 3).

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30i} \text{ (Equação 2)}$$

Sendo:

$$EI_{30i} = 68,730 \left(\frac{r^2}{p} \right)^{0,841} \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

EI = média mensal do índice de erosão (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹);
 r = precipitação média mensal (mm);
 p = precipitação média anual (mm);
 i = índice de meses e;
 R = erosividade.

No software QGIS, aplicando a Interpolação Espacial IDW e com a média de chuvas acumuladas distribuídas para os 10 pontos georreferenciados, foi processada a imagem de isoietas com resolução espacial de 30 metros. Como reposta, obteve-se o mapa de “calor” do fator de erosividade da série temporal de 38 anos (1985 a 2023).

O método IDW (Inverse Distance Weighted), ou Interpolador da Distância Inversa Ponderada, é uma técnica amplamente utilizada na área de geoprocessamento para estimar valores contínuos a partir de dados pontuais. Segundo Trindade *et al.* (2016), trata-se de um método determinístico que pressupõe que pontos geográficos mais próximos possuem valores mais semelhantes entre si do que pontos mais distantes. Assim, o valor estimado em um local desconhecido é calculado como uma média ponderada dos valores observados nos pontos vizinhos, sendo o peso inversamente proporcional à distância.

3.5 Fator A

A combinação das camadas que representam os fatores naturais e antrópicos, por Álgebra de Mapas, foi executada na calculadora *raster* do *software* QGIS, utilizando os princípios da EUPS/USLE.

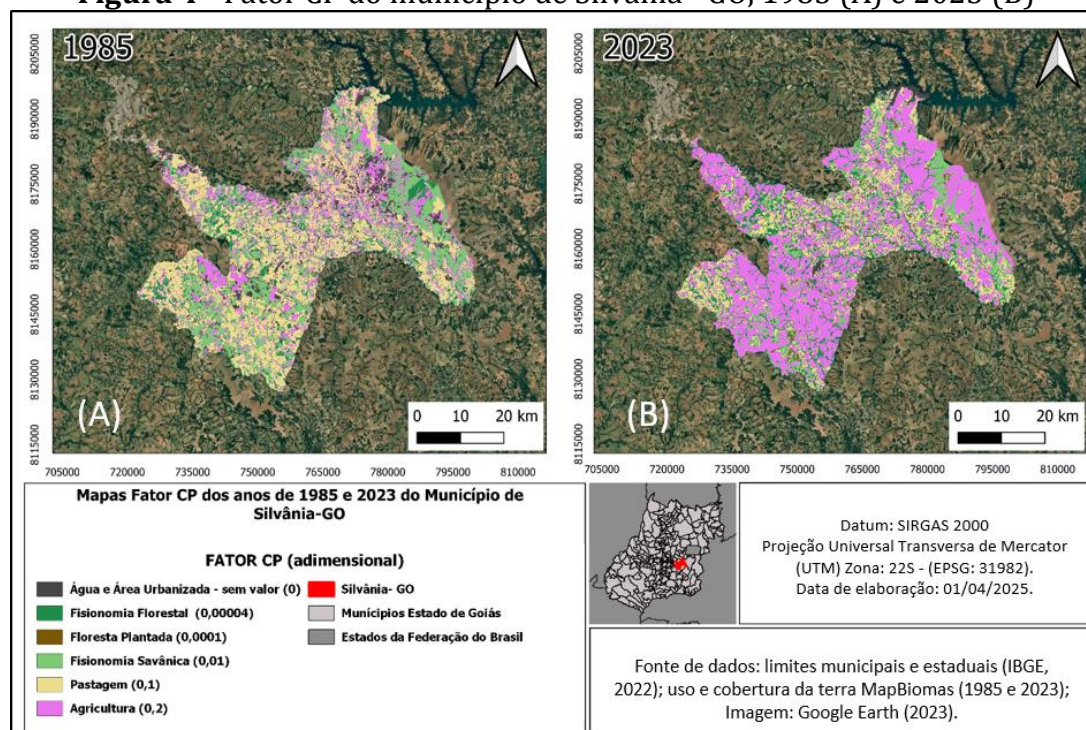
Para mapear e qualificar os graus de vulnerabilidade à perda de solos, seis classes ordinais foram definidas, sendo elas: “Muito Baixo”, “Baixo”, “Moderado”, “Médio”, “Forte” e “Muito Forte”. Cada uma dessas categorias foi representada por uma cor específica nos mapas temáticos, conforme a seguinte escala de coloração: verde escuro para “Muito Baixo”, verde claro para “Baixo”, amarelo para “Moderado”, laranja para “Médio”, vermelho para “Forte” e vermelho vinho para “Muito Forte”. Essa representação visual facilita a leitura e a interpretação espacial dos dados modelados, sendo compatível com práticas consolidadas na Cartografia Temática e em estudos ambientais baseados na EUPS/USLE, conforme por Lima (2018).

4. Dinâmica dos Fatores da EUPS

Ao cruzar os dados de cobertura e uso da terra dos anos de 1985 e 2023 com os pesos de cada classe, seguindo os valores definidos (Tabela 1), observa-se uma mudança marcante no fator CP da área de estudo entre os anos analisados. Em 1985, podemos verificar uma distribuição equilibrada e variada das classes pastagem (CP=0,1), fisionomia savânica (CP=0,01) e fisionomia florestal (CP=0,00004), por todo o município (Figura 4-A). A presença equilibrada da composição vegetal natural assegurava maior estabilidade ecológica, com ênfase

na conservação dos solos, pois valores de CP baixos indicam uma maior proteção por parte da fitofisionomia do Cerrado contra a erosão.

Figura 4 - Fator CP do município de Silvânia - GO, 1985 (A) e 2023 (B)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Em contrapartida, em 2023, a paisagem sofreu uma remodelação expressiva, marcada pelo avanço acentuado da classe agricultura, que passou a dominar grande parte do município. Esse aumento, somado à diminuição das áreas naturais, elevou os valores do fator CP para um índice de 0,20, especialmente nas regiões central, sudoeste e em partes do nordeste do município (Figura 4-B).

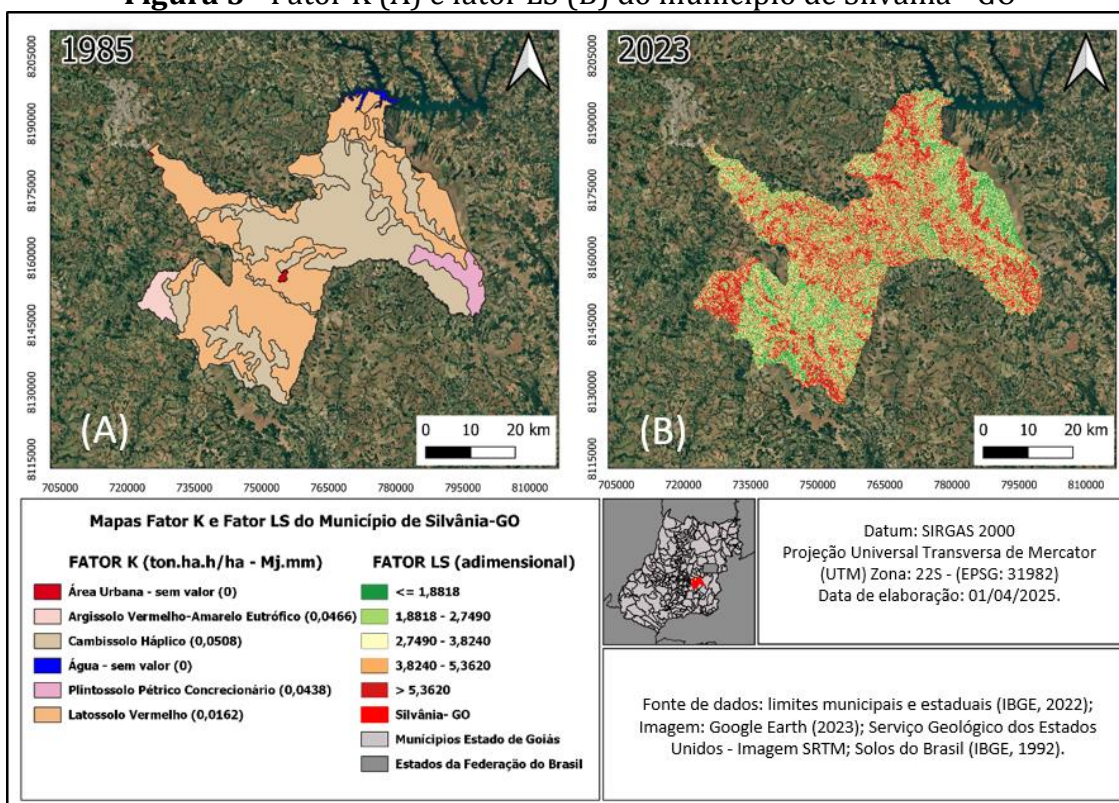
Essa ocorrência está diretamente ligada à intensificação das atividades agrícolas mecanizadas e à ausência de práticas conservacionistas. De acordo com Gomes *et al.* (2019), esse cenário contribui para o esgotamento de minerais, o desgaste físico e a desagregação superficial do solo. A transformação de áreas naturais em lavouras temporárias não apenas alterou o valor do Fator CP, mas também serve como um indicativo do avanço da pressão antrópica sobre os solos em Silvânia.

O avanço dos fatores antrópicos ao longo de 38 anos foi notado também por Abadias; Fonseca e Barbosa (2020). Os autores discutem o avanço expressivo da agricultura e pecuária intensiva na degradação dos solos do Cerrado. Complementando essa narrativa, Castagna *et al.*

(2024) mencionam que a redução da vegetação natural também compromete os serviços ecossistêmicos desse bioma. Entre eles, destacam-se a compactação e perda de nutrientes do solo, alterações nos padrões de precipitação e nos componentes do ciclo hidrológico, o aumento da emissão de dióxido de carbono e a perda da biodiversidade local, entre outros.

A Figura 5-A apresenta os resultados do fator K. Nela, podemos observar que os solos predominantes no município são, respectivamente, os Cambissolos Háplicos, Latossolos Vermelho e Plintossolos Pétricos, que possuem características físicas que os tornam propensos à erosão hídrica. O valor mais elevado do fator K foi o dos Cambissolos (0,0508), devido ao fato de serem solos pouco evoluídos e fracos em estrutura de agregados, possibilitando, assim, a facilidade da desagregação de suas partículas pela ação mecânica das gotas de chuva (Pena, 2020). Em Silvânia, os Cambissolos são encontrados na porção centro-leste do município, coincidindo principalmente com as plantações de soja e alguns fragmentos de cana-de-açúcar.

Figura 5 - Fator K (A) e fator LS (B) do município de Silvânia - GO



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

O segundo solo mais presente são os Latossolos Vermelhos com valor de $K=0,0162$. Predominam em boa parte do território e apresentam uma estabilidade estrutural maior que os Cambissolos e Plintossolos, ou seja, possui horizontes mais definidos. Porém, mesmo com

essas características vantajosas, quando é submetido a manejo intenso com uso de máquinas agrícolas no preparo do solo, ele se torna vulnerável (Silva; Mascarenhas; Jesus, 2015). Segundo Pena (2020), existem variáveis que mudam o comportamento desse tipo de solo frente ao processo de erodibilidade, tornando mais complexo o entendimento da interação entre as características pedológicas e o uso e a cobertura da área.

Já os Plintossolos Pétricos ($K=0,0438$) são caracterizados pela presença de plintitas, formações endurecidas de ferro que surgem em locais que alternam entre períodos de alagamento e seca. De acordo com a EMBRAPA (2020), esses solos encontram-se em áreas com drenagem precária e são altamente vulneráveis à erosão quando expostos a qualquer tipo de intervenção de maquinário. Seus horizontes são superficiais, com poucos agregados, e a drenagem deficiente favorece a compactação. Por consequência, ocorre a perda de porosidade, reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial (EMBRAPA, 2020).

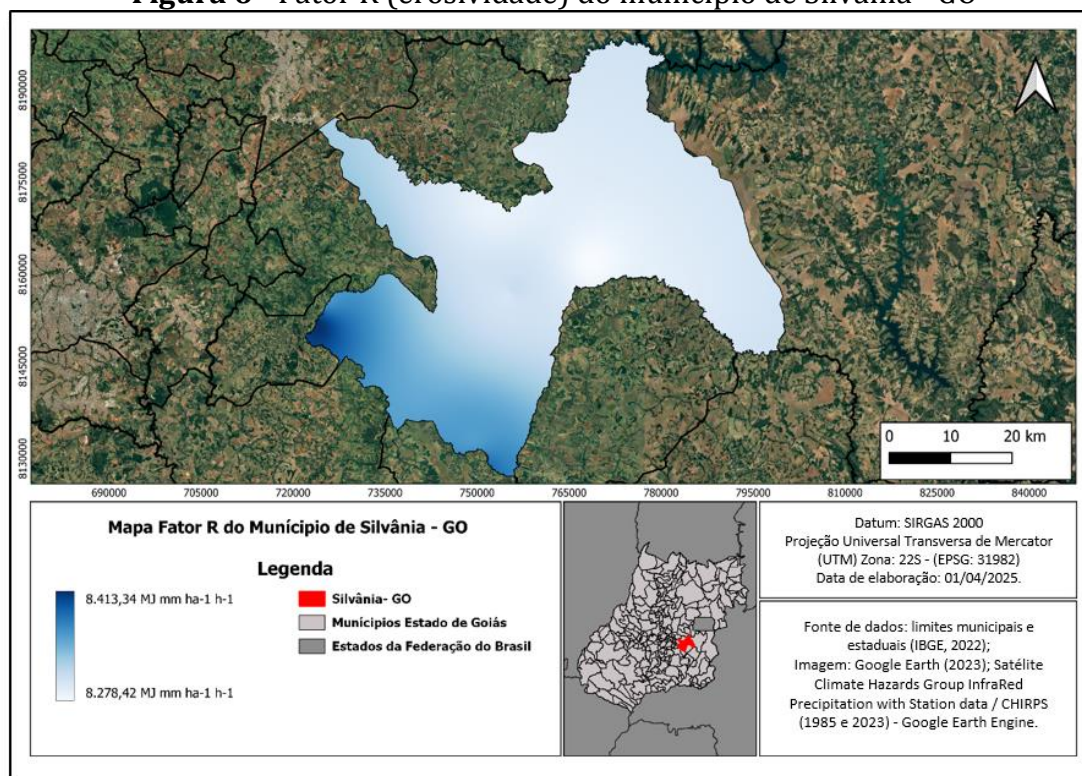
O fator LS também apresentou variações significativas ao longo do território de Silvânia. Observando o mapa da Figura 5-B, notamos os valores mais altos ($> 5,36$) concentrados na porção central, leste, sudoeste e no norte do município. São áreas onde o relevo varia entre a classificação da Embrapa (1979) de “forte ondulado” a “montanhoso”. Os altos valores podem indicar uma elevada capacidade de escoamento superficial da água, aumentando consideravelmente a vulnerabilidade à erosão hídrica em locais com solos expostos (terra arada para plantio em agricultura mecanizada) ou com pouca vegetação densa, como as pastagens e fisionomias savânicas de campo limpo/campo ralo.

A relação entre o relevo e o uso intensivo do solo reforça o modelo da equação EUPS/USLE, onde os fatores naturais e antrópicos são combinados para determinar o potencial da vulnerabilidade à erosão. Assim, pode-se dizer que temos uma evidência de contraste topográfico no município, em que as áreas menos declivosas, consideradas na teoria mais estáveis, podem se tornar vulneráveis em função do uso intensivo da terra.

A Figura 6, apresenta os resultados dos dados de precipitação do satélite CHIRPS, convertidos em Fator R, oscilando entre 8.278,42 e 8.413,34 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Esses valores mostram uma variação da distribuição espacial de certa forma constante, porém, mesmo com essa semelhança visual mínima, as diferenças regionais de distribuição das isoietas no município, somadas a um relevo mais íngreme e de solos descobertos, podem levar a efeitos de erosividade consideráveis. Para Funk *et al.* (2015), esse comportamento climático prevalece em regiões tropicais úmidas, onde até mesmo pequenas diferenças na erosividade (força da

chuva) podem intensificar o processo de erosão dos solos em ambientes que já apresentam certa vulnerabilidade. Além disso, o período mais intenso de chuvas, entre os meses de outubro e março, coincide com o plantio e o crescimento de culturas temporárias como a soja e a cana-de-açúcar, favorecendo o efeito "*splash*" em solos descobertos.

Figura 6 - Fator R (erosividade) do município de Silvânia - GO



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Os resultados do Fator R calculado nesta pesquisa podem ser respaldos pelo estudo de Trindade *et al.* (2016). Os autores utilizaram séries temporais de 20 anos para a produção de um mapa nacional de erosividade, aplicando 75 equações de regressão sobre os dados de 1.521 estações pluviométricas brasileiras. Como resposta, o mapa gerado pela interpolação espacial derivada do método da Krigagem Ordinária, estimou que a região Centro-Oeste brasileira, onde se localiza o município de Silvânia, apresenta valores médios anuais de erosividade que se encaixam entre 7.446,74 e 10.274,21 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, estando, assim, os valores encontrados para este estudo, dentro do intervalo mapeado pelos referidos autores.

Desta forma, e tendo em vista a convergência de nossos resultados com os obtidos no trabalho Trindade *et al.* (2016), fica evidente a alternativa metodológica da utilização dos dados CHIRPS para o cálculo do fator R em áreas onde as estações de chuva são limitadas ou

inexistentes. Além disso, Costa *et al.* (2019), ao analisar e comparar a similaridade de informações entre o conjunto de dados CHIRPS e os dados de 183 estações meteorológicas espalhadas pelas regiões brasileiras, fornecidos pelo INMET/CPTEC entre 1998 e 2010, observaram um coeficiente de determinação semelhante de 93% para o Centro-Oeste do país. Desta forma, os referidos autores definiram a utilização dos dados CHIRPS para o Brasil como confiáveis e plausíveis de serem aplicados em pesquisas climáticas (Costa *et al.*, 2019).

5. Vulnerabilidade à Perda de Solos

A estimativa de perda de solos ocasionada pela erosão hídrica e calculada pela EUPS/USLE culminou no mapeamento de dois cenários distintos (1985 e 2023) de vulnerabilidade no município de Silvânia - GO (Figura 7 - A e B). Ao comparar os resultados de 1985 e 2023, observam-se transformações significativas na distribuição da ocorrência do fenômeno de erosão hídrica na área nos dados estimados em toneladas por hectare (ton/ha).

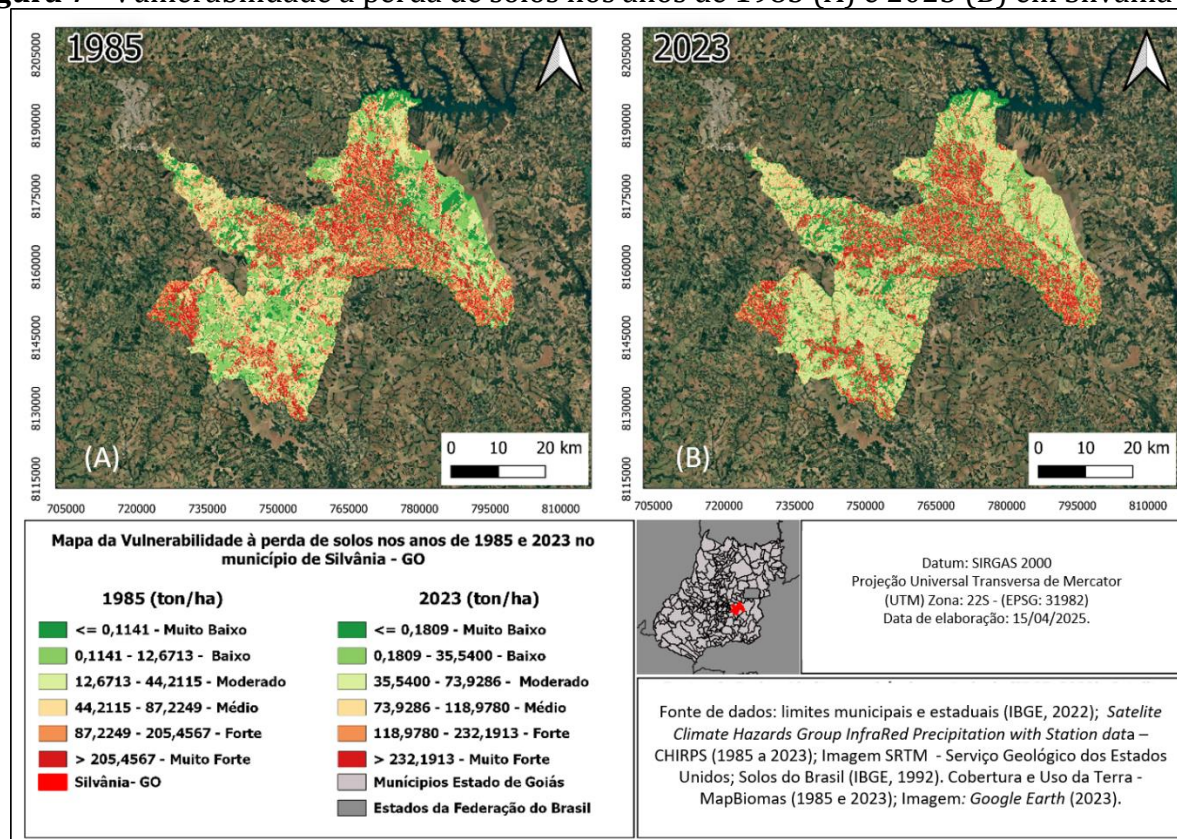
Assim sendo, no ano de 1985 (Figura 7-A), os valores de perda de solos associados a cada classe de vulnerabilidade mapeada foram os seguintes: até 0,1141 ton/ha/ano para a classe “Muito Baixa”; entre 0,1141 e 12,6713 para “Baixa”; entre 12,6713 e 44,2115 para “Moderada”; de 44,2115 a 87,2249 para “Média”; de 87,2249 a 205,4567 para “Forte”; e superior a 205,4567 ton/ha/ano para “Muito Forte”. Já em 2023, houve um aumento significativo nos valores máximos de perda de solo, resultando em novos intervalos para cada classe: até 0,1809 ton/ha/ano para “Muito Baixa”; de 0,1809 a 35,5400 para “Baixa”; de 35,5400 a 73,9286 para “Moderada”; de 73,9286 a 118,9780 para “Média”; de 118,9780 a 232,1913 para “Forte”; e valores acima de 232,1913 ton/ha/ano para a classe “Muito Forte”.

Do mapa da Figura 7-A verifica-se ainda que os níveis predominantes das classes de vulnerabilidade são “Muito Baixo” e “Baixo”, situadas majoritariamente nas áreas com cobertura de vegetação nativa (florestais e savânicas) e pastagens, mostrando um cenário de estabilidade ambiental, mesmo com a classe pastagem sendo considerada antrópica. Os níveis “Moderado” e “Médio” aparecem esporadicamente em certos pontos, enquanto os níveis “Forte” e “Muito Forte” são praticamente inexistentes, encontrados apenas em áreas de declive mais acentuado e em áreas de uso do solo antrópico cujas classes tenham um alto valor do fator CP.

A presença dominante dos níveis “Muito Baixo” e “Baixo” em 1985 indica um território ainda pouco transformado por atividades agrícolas mecanizadas. Para Jesus (2020), a baixa vulnerabilidade do solo à erosão está relacionada diretamente ao predomínio da vegetação

nativa, que mantém preservados os serviços ecossistêmicos do solo, como a regulação hídrica e o controle da infiltração nos lençóis freáticos. Além disso, para Carvalho e Castro (2023), as classes de vegetação nativa, como as de fitofisionomias do Bioma Cerrado, oferecem uma certa proteção natural aos solos diante do fenômeno de erosão.

Figura 7 - Vulnerabilidade à perda de solos nos anos de 1985 (A) e 2023 (B) em Silvânia - GO



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Para o ano de 2023 (Figura 7-B), observa-se um novo padrão espacial. Os níveis “Moderado”, “Médio” e “Forte” passam a ocupar uma extensão mais expressiva, principalmente na região central, nordeste e sudoeste do município. O nível “Muito Forte”, que era ausente em 1985, surge em pontos isolados, revelando áreas com alta vulnerabilidade de perda de solos. Ao mesmo tempo, essas mudanças coincidem com o avanço da agricultura no Bioma Cerrado, especialmente no estado de Goiás (Ferreira *et al.*, 2009), onde o relevo mais plano ou suavemente ondulado torna essas áreas cobiçadas para as commodities agrícolas.

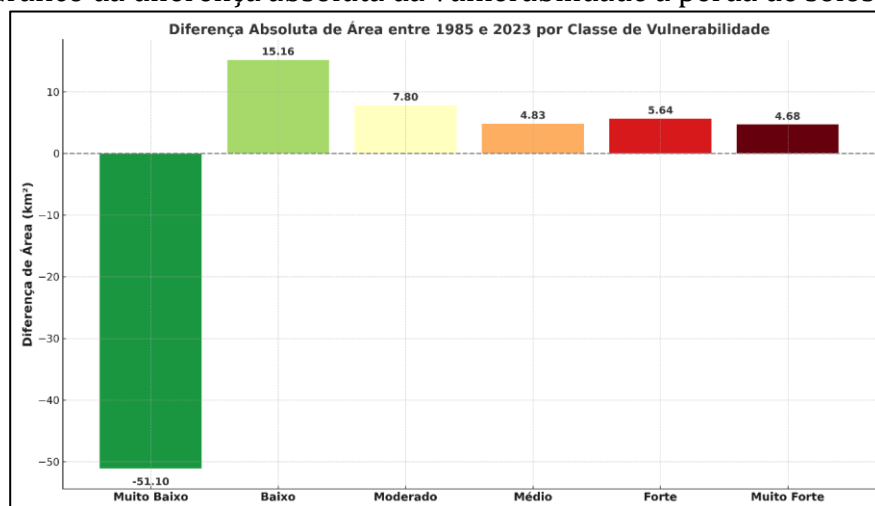
Relacionando o mapa de uso e cobertura com a vulnerabilidade à perda de solo, neste mesmo período houve a expansão da classe “Área Urbana” e “Outras Áreas não Vegetadas”, compondo faixas mais críticas para a vulnerabilidade. É importante destacar também que os

fatores da EUPS/USLE atuam de forma sinérgica na configuração do risco erosivo. A combinação de práticas agrícolas inadequadas (fator CP), alto valor da declividade e do comprimento de rampa (fator LS), solos com alta erodibilidade (fator K) e alta erosividade podem acelerar a perda de solos. O cenário ideal para o agravamento, além das mudanças climáticas, é o solo exposto, muito comum nas lavouras sob preparo convencional (solo arado) e nas pastagens sem práticas conservacionistas (Pena, 2020).

Para avaliar a variação dos níveis de vulnerabilidade ao longo dos trinta e oito (38) anos, calculou-se a diferença absoluta da área em km^2 (Figura 8), onde o conceito de diferença absoluta representa o saldo final entre expansões e reduções de uma categoria específica em dois momentos distintos, ou seja, nos anos de 1985 e 2023. Essa abordagem possibilitou determinar com maior precisão quais níveis de vulnerabilidade se expandiram ou diminuíram, revelando possíveis tendências de uso e cobertura da terra.

No gráfico da Figura 8, é possível constatar o contraste entre o nível “Muito Baixo”, que sofreu uma redução líquida de $51,10 \text{ km}^2$ de área, entre 1985 e 2023, com os outros níveis que tiveram ganhos absolutos, sendo a ordem do acréscimo a seguinte: “Baixo” com aumento de $15,16 \text{ km}^2$; “Moderado” com aumento de $7,80 \text{ km}^2$; “Médio” com aumento de $4,83 \text{ km}^2$; “Forte” com aumento de $5,64 \text{ km}^2$; e “Muito Forte” com aumento de $4,68 \text{ km}^2$.

Figura 8 - Gráfico da diferença absoluta da vulnerabilidade a perda de solos 1985 e 2023



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Esse deslocamento de áreas estáveis para níveis mais críticos foi observado também no trabalho de Santos e Jesus (2017), na bacia do Córrego Pedrinhas em Silvânia. Para as autoras, isso representa um processo de degradação funcional do solo, indicando a diminuição da capacidade natural de recuperação diante da pressão antrópica. Segundo Telles *et al.* (2023), as mudanças nos níveis de vulnerabilidade são indicadores claros da negligência das práticas de uso e cobertura ao longo do tempo, sem uma preocupação com a sustentabilidade e a conservação da terra.

A análise da diferença absoluta, portanto, não apenas quantifica a mudança, mas também demonstra a magnitude do impacto humano na dinâmica territorial. Em um contexto como o de Silvânia, onde os fatores naturais já impõem limitações, a ampliação de áreas de vulnerabilidade de níveis “Moderado” para “Muito Forte” aponta para a necessidade urgente de revisão das práticas de ocupação e manejo do solo.

A Tabela 3 relaciona as classes de cobertura e uso do solo com os níveis de vulnerabilidade observados, ou seja, cada categoria de uso distribuída pelos diferentes níveis de risco de erosão. Para Telles *et al.* (2023), a interpolação entre o fator CP e o mapa de vulnerabilidade demonstra uma inter-relação entre as variáveis, interpretada da seguinte forma: quanto menor a cobertura vegetal da área, maior a chance de ocorrência de erosão hídrica. Assim, a Tabela 3 destaca de forma quantitativa as correlações entre as coberturas (com seus valores de CP) que contribuem para as altas ou baixas vulnerabilidades.

Tabela 3 - Interpolação entre níveis de vulnerabilidade com uso e cobertura do ano de 2023

Classe	Fisionomia Florestal %	Fisionomia Savânica %	Floresta Plantada %	Pastagem %	Agricultura %	Área Urbana %	Total %
Nível de Vulnerabilidade							
Muito Baixo	77,77	2,3	9,3	3,84	4,1	2,69	100
Baixo	8,2	5,69	0,95	11,34	73,31	0,51	100
Moderado	0,78	6,7	0,05	12,62	79,48	0,37	100
Médio	0,9	3,58	0,06	16,89	78,29	0,28	100
Forte	1,32	0,89	0,07	23,63	73,72	0,37	100
Muito Forte	2,88	1,37	0,25	41,34	53,66	0,5	100

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A classe de cobertura “Florestal”, com valor de CP = 0,00004, é a que mais favorece a existência dos níveis “Muito Baixo” e “Baixo” de vulnerabilidade, representando 77,77% e 8,24% de contribuição, respectivamente. Isso se deve à proteção oferecida pela vegetação do Cerrado de espécies predominantemente arbóreas, que reduz significativamente os efeitos da

erosividade, diminuindo o fenômeno do *splash* (desagregação do solo a partir do impacto da chuva), mesmo em solos com valor de fator K elevado, preservando a sua integridade.

Por outro lado, as classes “Savânica” (fator CP de 0,01) e “Floresta Plantada” (fator CP de 0,0001) apresentaram percentuais mais baixos para a contribuição dos níveis de vulnerabilidade “Muito Baixo” e “Baixo” à perda de solos em Silvânia. Essa tendência pode ser atribuída à presença de uma cobertura vegetal menos densa, associada a terrenos de declividade plana a suavemente ondulada e às práticas de manejo da Floresta Plantada (Telles *et al.*, 2023). Desta forma, é importante destacar que, apesar de protegerem fisicamente os solos, as florestas plantadas, compostas por espécies exóticas, podem gerar impactos ambientais negativos no Bioma Cerrado, como a redução da biodiversidade e alterações na ciclagem, especialmente quando plantadas com finalidades comercial (Haddad, 2019).

As classes de “Pastagem” (fator CP de 0,10) e “Agricultura” (fator CP de 0,20), que correspondem aos maiores valores do fator CP, estão distribuídas majoritariamente nos níveis “Moderado”, “Médio” e “Forte” de vulnerabilidade à erosão hídrica (Tabela 3). A “Agricultura”, que contribui com 53,66% para as áreas mapeadas com vulnerabilidade “Muito Forte”, corrobora a afirmação de Wischmeier e Smith (1965) a respeito dos impactos provocados pela compactação do solo e desagregação das partículas. Já a “Pastagem”, com fator CP considerado intermediário, aparece com um favorecimento de 41,34% das áreas com vulnerabilidade “Muito Forte”.

Por sua vez, a Área Urbana, mesmo com o fator CP igual a zero (0), tem particularidades específicas no município de Silvânia. Suas frações se encontram nos níveis 'Forte' e 'Muito Forte'. Ou seja, mesmo apresentando um valor nulo para o fator CP, na prática, essas áreas possuem um alto risco de erosão devido à impermeabilização do solo, ao avanço das edificações em rupturas de declives e à ausência de vegetação, que é necessária para a percolação da água no solo. Consequentemente, essas condições contribuem para o aumento das erosões lineares (Jesus; Carvalho, 2017).

6. Considerações Finais

Os resultados apresentados neste trabalho reforçam a necessidade urgente de implementar medidas de conservação dos solos em Silvânia. Dentre elas, podemos citar a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como o reaproveitamento de terras já abandonadas, a valorização da agricultura familiar, o manejo adequado das pastagens com a implementação

de rodízios de piquetes e, principalmente, a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Essas intervenções são necessárias não apenas para preservar os horizontes dos solos, mas também para proteger o ecossistema que se mantém em equilíbrio por meio das relações ecológicas inerentes ao bioma Cerrado.

Ao compreendermos um pouco mais sobre a EUPS/USLE, percebe-se que esse modelo matemático é diretamente condicionado ao aumento ou à diminuição dos valores dos fatores analisados, os quais influenciam diretamente nos resultados. Além disso, a substituição da vegetação remanescente do bioma Cerrado por usos antrópicos como agricultura intensiva e pastagem, sem as devidas práticas de manejo, aumentou o valor da variável CP. Esse aumento resultou na elevação dos níveis de vulnerabilidade à perda do solo, transformando áreas que eram classificadas como de nível “Baixo” ou “Moderado” em áreas críticas à erosão hídrica.

Entendemos também que a conservação da cobertura vegetal por meio de sistemas agroflorestais, a preservação de matas ciliares em cursos d’água e o reflorestamento de áreas degradadas atuam diretamente na redução do escoamento superficial e na melhoria da percolação da água no solo. O uso de geotecnologias para a aplicação da EUPS/USLE mostrou ser eficaz na avaliação da vulnerabilidade à erosão no município. Apesar disso, foram encontradas limitações, especialmente em relação à escala de mapeamento dos solos, que ainda é uma carência em muitas regiões do território brasileiro. Para estudos futuros, recomenda-se empregar técnicas qualitativas e digitais de pormenorização do mapa de solos, dentro de uma visão multidisciplinar que combine dados de campo com ferramentas de geoprocessamento e modelagem estatística.

7. Referências

- ABADIAS, I. M.; FONSECA, P. R. B. da; BARBOSA, C. H. Manejo da pecuária: uma análise sobre impactos ambientais. **Revista EDUCamazônia - Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, Humaitá, v. 25, n. 1, p. 113-125, 2020.
- ALEWELL, C.; BORRELLI, 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.
- BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. (org). 8. ed. São Paulo: Editora Ícone, 2012. 335 p.
- BORGES, Kelly Maria Resende. **Avaliação da suscetibilidade erosiva da bacia do Rio Carinhonha (MG/BA) por meio da EUPS: equação universal de perda de solos**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, UnB, Brasília, 2009.

CARAMINAN, L. M.; MORAIS, E. S. de. Explorando à álgebra de mapas com a EUPS e a sua utilidade para a gestão integrada: a bacia hidrográfica do córrego Pindaúva, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.23, n. 1, p. 1116-1133, 2022.

CARVALHO, José Campo de; SALES, Maurício Martines; SOUZA, Newton Moreira de; MELO, Maria Tereza da Silva. (org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. 1ª ed. Brasília: FINATEC, 2006. 464 p.

CARVALHO, H. S. M. de; CASTRO, S. S. de. Mapeamento e identificação de áreas críticas à erosão hídrica linear: o exemplo do Bioma Cerrado no estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.24, n. especial, e2373, p. 1-30, 2023.

CASTAGNA, D.; SOUZA, A. P. de; VENDRUSCULO, L. G.; ZOLIN, C. A.; SANTOS, C. R. dos. Risco de desmatamento em áreas de Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 17, n. 1, p. 199-212, 2024.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Geologia, Recursos Minerais e Potencialidades Econômicas do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. Brasília: CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2005. 226 p.

COSTA, J. C.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F. S. da; SILVA, V. V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 24, p. 228-243, 2019.

CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; GOMES, M. F. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, p. 291-323, 2008.

DECHEN, C. S. F.; TELLES, T. S.; GUIMAAÊS, M. F. de; MARIA, I. C. de. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cerrados/colecaoentomologica/bioma-cerrado/campo-limpo>. Acesso em: 18 de nov. 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos do Bioma Cerrado: manejo e conservação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cerrados>. Acesso em: 10 de abr. 2025.

FERREIRA, M. E.; MIZIARA, F.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; RIBEIRO, F. L.; FERREIRA, N. C. Ativos ambientais do bioma cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no estado Goiás. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 1, n. 61, p. 37-50, 2009.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDDFELD, M.; PEDREROS, D. H.; VERDIRN, J.; SHUKLA, S. ROWLAND, J. *et al.* The climate hazards infrared precipitation with stations a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v 2. n. 150066. 2015.

GOIÁS. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento - SEAPA. **Anuário Estatístico Agropecuário de Goiás**, 2021. Goiânia: SEAPA, 2021. Disponível em: <https://www.agricultura.go.gov.br>. Acesso em: 10 de abr. 2025.

GOIÁS. Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão – SEPLAN-GO. **Anuário Estatístico do Estado de Goiás**, 2022. Goiânia: SEPLAN-GO, 2022. Disponível em: <https://www.seplan.go.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2025.

GOMES, L.; SIMÕES, S. J. C.; NORA, E. L. D.; SOUSA NETO, E. R. S. de; FORTI, M. C.; OMETTO, J. P. H. B. Agricultural expansion in the Brazilian Cerrado: increased soil and nutrient losses and decreased agricultural productivity. **Land**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2019.

HADDAD, Thais Mazzafera. **Restauração da vegetação de cerrado após silvicultura de pinus spp.** 2019. 113 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE - Pedologia 1:250.000**, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html>. Acesso em: 5 de abril 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE cidades Silvânia**, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/silvania/panorama>. Acesso em: 14 de mai. 2025.

JESUS, A. S. de; CARVALHO, J. C de. Processos erosivos em área urbana e as implicações na qualidade de vida. **Bol. Goia. Geogr**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 1-17, jan./abr. 2017.

LIMA, Gabriella Santos Arruda de. **Cenários sobre a perda de solos na região metropolitana de Goiânia, e alternativas para mitigação**. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - CIAMB, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

LÓPEZ, F. H. E.; MENES, M. M.; MOTA, O. J. L.; SAENS, M. E.; GONZÁLEZ, C. R. Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. **Terra Latinoamericana**, v. 21, n. 2, p. 233-244, 2003.

OLIVEIRA, F. V. de; JESUS, A. S. de. Suscetibilidade erosiva na bacia do Córrego Lava-Pés em Silvânia - GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17., 2017, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Instituto de Geociências - Unicamp, 2017. p. 1010-1015.

OLIVEIRA, Laís Martins de. **Estudo experimental de uso de solução de cal para estabilização de um solo saprolítico de talude de erosão**. 2018. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

PENA, Diogo Silva. **Influência da expansão agrícola sobre a perda de solo no estado de Goiás**. 2020. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - CIAMB, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

PINTO, S. A. F.; GARCIA, G. J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 17, n.1, p. 30-37, 2005.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento; IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**: perfil municipal de Silvânia (GO). Brasília: PNUD, 2013. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br>. Acesso em: 10 de abr. 2025.

SANTOS, L. G. A.; JESUS, A. S. de. Suscetibilidade erosiva na bacia do Córrego Pedrinhas em Silvânia-GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17., 2017, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Instituto de Geociências - Unicamp, 2017. p. 1016-1021.

SESTRAS, P.; MIRCEA, S.; ROȘCA, S.; BILAȘCO, S.; SĂLĂGEAN, T.; DRAGOMIR, L. O.; HERBEI, M. V.; BRUMA, S.; SABOU, C.; MARKOVIĆ, R.; KADER, S. GIS based soil erosion assessment using the USLE model for efficient land management: a case study in an area with diverse pedo-geomorphological and bioclimatic characteristics. **Nomlae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 51, n. 3, p. 1-14, 2023.

SILVA, M. R.; MASCARENHAS, M. M. A.; JESUS, A. S. de. Erodibilidade de solos tropicais não saturados em Silvânia-GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOSINTÉTICOS e CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 7., 2015, Brasília. **Anais [...]**. São Paulo: ABMS, 2015. v. único. p. 230-237.

SILVA, D. F. F. da; BARBOSA NETO, M. V.; MIRANDA, M. R. B. de; SILVA, J. F. L. Analysis of soil loss potential in the area of Jaboatão river hydrographic basin - PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 15, n. 4, p. 2025-2041, 2022.

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 EROSÃO, 3., 1987, Marília. **Anais [...]**. Marília: ABGE - DAEE, 1987. v.1, p. 105-135.

TELLES, T. S.; BARBOSA, G. M. C. de; MERTEN, G. H.; PELLINI, T.; DIDONÉ, E. J.; GUIMARAES, M. F. Soil governance as a requirement for agricultural land conservation: a historical overview. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 54, e20218315, p. 1-12, 2023.

TRINDADE, A. L. F.; OLIVEIRA, P. T. S. de; ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 12, p. 1919-1928, 2016.

WEIS, M. G.; SILVA, N. M. da; PESSI, D. D.; BRABOSA, D. S.; MOREIRA, R. M.; LUIZ, R. B.; PARALHOS FILHO, A. C. Identificação de processos erosivos através de modelos hidrológicos e imagens aéreas de alta resolução. **Nativa**, Sinop, v. 10, n. 3, p. 391-399, 2022.

WISCHMEIER, Walter H.; SMITH, Dwight, D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**: guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington: Agricultural Research Service, U.S. Dept of Agriculture in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station, 1965. 47p.

