

UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA GISus-M PARA ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE BASALTO E ARENITO.

USE OF THE GISus-M TOOL TO ESTIMATE THE LOSS OF DEVELOPED BASALT AND SANDSTONE SOILS.

USO DE LA HERRAMIENTA GISus-M PARA ESTIMAR LA PÉRDIDA DE SUELOS DESARROLLADOS A PARTIR DE BASALTO Y ARENISCA.

RESUMO

Processos erosivos acelerados são ameaças globais, podendo ser quantificados e classificados. A região norte do Paraná é conhecida pela sua alta produtividade de grãos e a rotatividade de culturas (soja, milho, trigo e aveia). O município de Bela Vista do Paraíso tem a particularidade de estar assentado sobre duas formações geológicas, uma eruptiva básica da Formação Serra Geral (JKsg) e uma arenítica da Formação Adamantina (Ka). A utilização de SIGs para a quantificação de perda de solos vem se intensificando nas ciências da terra, na qual o software GISus-M tem relevância pela sua praticidade. Observou-se que os fatores C, que no caso tem seus valores determinados pela metodologia de Durigon *et al.* (2014), estão ligados à perda de solos mensais pelos processos erosivos em função da rotatividade de culturas e seu período de pousio, além de que a erodibilidade (fator K) também tem sua significância, principalmente, associada aos fatores LS. A utilização de modelagem mensal para RUSLE expressa uma melhor observação dos processos erosivos que ocorrem, além de contribuir para medidas de conservação dos solos e o planejamento e ordenamento de estradas vicinais no município.

Palavras-chave: Erosão; RUSLE; Formações geológicas; GISus-M.

ABSTRACT

Accelerated erosive processes are global threats that can be quantified and classified. The northern region of Paraná is known for its high grain yield and crop rotation (soybeans, corn, wheat and oats). The municipality of Bela Vista do Paraíso has the particularity of being located on two geological formations, a basic eruptive of the Serra Geral Formation (JKsg) and a sandstone of the Adamantina Formation (Ka). The use of GIS to quantify soil loss has been intensifying in earth sciences, in which the GISus-M software is relevant for its practicality. It was observed that the C factors, which in this case have their values determined by the methodology of Durigon *et al.* (2014), are linked to monthly soil loss due to erosion due to crop rotation and their fallow period, in addition to erodibility (K factor) also having its significance, mainly associated with LS factors. The use of monthly modeling for RUSLE expresses a better observation of the erosive processes that occur, in addition to contributing to soil conservation measures and the planning and ordering of local roads in the municipality.

Keywords: erosion; RUSLE; geological formations; GISus-M.

Keywords: Erosion; RUSLE; Geological formations; GISus-M.

RESUMEN

Los procesos de erosión acelerada son amenazas globales y pueden cuantificarse y clasificarse. La región norte de Paraná se caracteriza por su alta productividad de granos y rotación de cultivos (soja, maíz, trigo y avena). El municipio de Bela Vista do Paraíso tiene la particularidad de estar basado en dos formaciones geológicas, una eruptiva básica de la Formación Serra Geral (JKsg) y una arenisca de la Formación Adamantina (Ka). El uso de SIG para cuantificar la pérdida de suelo se ha ido intensificando en las ciencias de la tierra, en las que el software GISus-M es relevante por su practicidad. Se observó que los factores C, que en este caso tienen sus valores determinados por la metodología de Durigon *et al.* (2014), están vinculados a la pérdida mensual de suelo por procesos erosivos por

 Hermiliano Felipe Decco ^a

 Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame ^b

^a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Três Lagoas, MS, Brasil

^b Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2024.74138

Correspondência:

hermiliano.decco@ufms.br

Recebido em: 13 mar. 2023

Revisado em: 15 abr. 2024

Aceito em: 15 abr. 2024





la rotación de cultivos y su período de barbecho, además de que la erosionabilidad (factor K) también tiene su importancia, asociada principalmente a factores LS. El uso de modelización mensual para RUSLE proporciona una mejor observación de los procesos de erosión que se producen, además de contribuir a las medidas de conservación del suelo y a la planificación y ordenamiento de los caminos vecinales del municipio.

Palabras Clave: Erosión; RUSLE; Formaciones geológicas; GISus-M.



INTRODUÇÃO

Erosões são ameaças globais para a sustentabilidade e a produtividade dos solos. A compreensão da sua gênese e a distribuição espacial destes processos são chaves centrais para o planejamento e gestões ambientais, pois é possível modelar, quantificar e classificar a susceptibilidade do solo a processos erosivos (Fernandez *et al.*, 2016).

A degradação de solos por meio de processos erosivos é um dos principais problemas apresentados em áreas de produção agrícola no Brasil. Observamos que este fenômeno natural é cada vez mais acelerado pelo uso inadequado do solo, acarretando a perda da capacidade produtiva em áreas de plantio (Souza; Gasparetto, 2012).

Com o advento da utilização de técnicas matemáticas pela ciência geográfica, tornou-se possível a produção de modelos preditivos em diversas áreas. Os modelos matemáticos de simulação de predição de erosão auxiliam nas práticas conservacionistas e de manejos mais indicados para os diferentes cenários de aplicação (Chaves, 1996; Renard *et al.* 1997; Millward, Mersey, 1999; Angima *et al.*, 2003; Fu *et al.*, 2005; Onori; Bonis; Grauso, 2006; Oliveira *et al.*, 2015; Cunha, 2015). Destacando-se a Equação Universal de Perda de Solo (USLE – *Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida a partir de 1950 por Wischmeier e Smith (1978). Esta equação foi revisada. Visando melhorá-la, manteve-se a estrutura da USLE, porém as formas de determinação dos fatores (fator topográfico e uso e manejo) mudaram, sendo sucedida pela Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE – *Revised Universal Soil Loss Equation*) (Renard *et al.*, 1997).

A região Norte Central do estado do Paraná apresenta uma grande capacidade de produção agrícola, com uso intenso do solo. Devido a isso, é necessário darmos conta a essas causas, sendo que estimar e modelar processos erosivos na região pode corroborar na melhor utilização dos solos e, conseqüentemente, sua melhor conservação (Muratori, 1983).

A aplicação de modelos matemáticos é amplamente conhecida na Geografia, principalmente, utilizando-se limites de bacias hidrográficas como sua escala espacial (Christofolleti, 1999). No entanto, pouco se aplica a recortes municipais, visto que a RUSLE tem como sua escala espacial a característica de ser adimensional, pois tem origem em uma pesquisa em parcelas agrícolas (Wischmeier; Smith, 1978), o que corrobora para a aplicação da equação e posterior planejamento pelos gestores municipais.

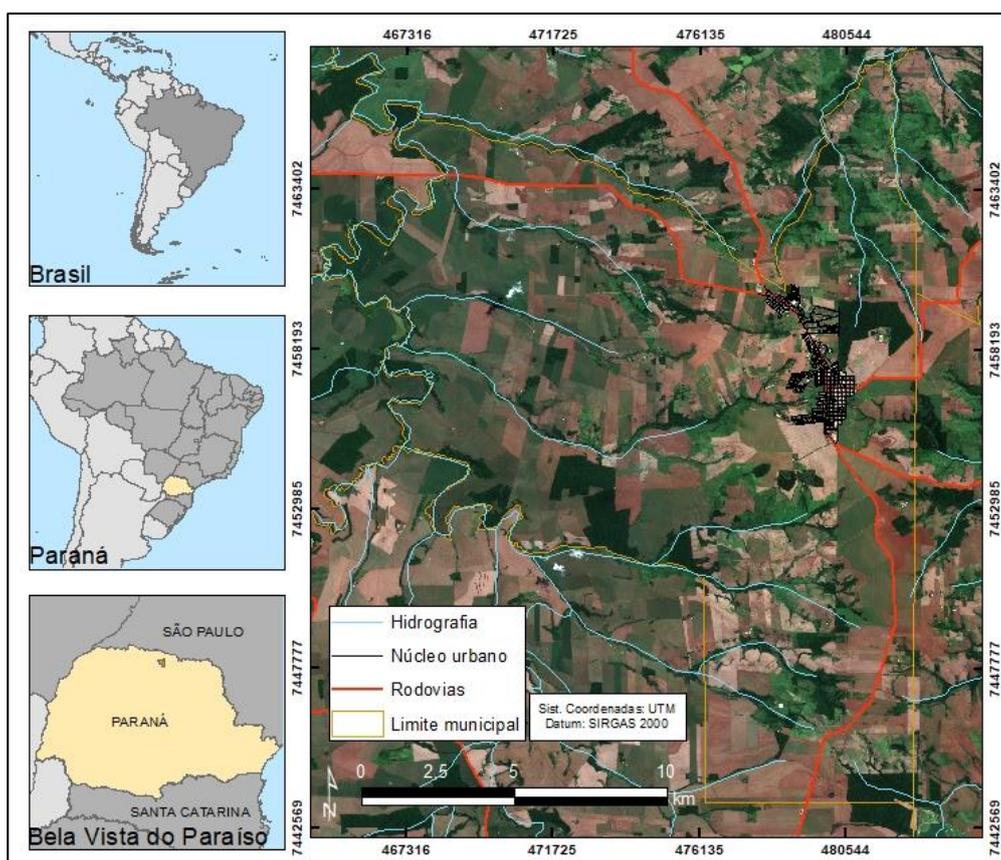
O presente artigo propõe estimar os valores de perdas de solos por intermédio da RUSLE para o município de Bela Vista do Paraíso (PR), que está localizada no Terceiro Planalto Paranaense (Santos *et al.*, 2006). A geologia do município é constituída por rochas eruptivas básicas do Grupo São Bento da Formação

Serra Geral (JKsg) de idade do Cretáceo-Jurássico (predominante no município), com um assentamento de rochas areníticas do Grupo Bauru da Formação Adamantina (Ka) (Pinese, 2002).

MATERIAIS E MÉTODO

O município de Bela Vista do Paraíso se encontra na região norte do estado do Paraná, entre as coordenadas 22° 53' 53" a 23° 7' 10" sul e 51° 9' 59" a 51° 20' 39" oeste, com uma variação de altitude entre 343 e 649 metros. Sua extensão territorial é de 243 km², onde a área para plantio de lavouras é de aproximadamente 153 km² (IBGE, 2020) (figura 1).

Figura 1.: Localização do município de Bela Vista do Paraíso-PR.



Elaborado por: Autor (2023)

Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE)

O modelo RUSLE permite estimar a quantidade de perdas de solo por hectare a partir de uma equação que considera cinco fatores (equação 1):



Equação 1: RUSLE

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Onde:

A = Perda de solo por unidade de área ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

R = Erosividade causada pelas chuvas ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

K = Erodibilidade dos solos face suas características físicas, químicas e biológicas ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$).

L = Fator comprimento da vertente ou rampa.

S = Fator declividade média da rampa ou vertente.

C = Fator uso e manejo da terra.

P = Fator prática conservacionista adotada.

Erosividade das chuvas (Fator R)

O primeiro fator a ser determinado é o valor do índice de erosividade no município. Dias e Silva (2003; 2003b) explicam como é determinado o valor de R:

O fator R deve ser determinado por registros diários de pluviógrafos nos quais são calculados os índices de erosividade ($E_{I_{30}}$) das chuvas individuais. Os valores desse índice são obtidos pela multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas de determinado local: energia cinética total da chuva (E), em MJ mm (ha h)^{-1} , e intensidade máxima em 30 min (I_{30}), em mm h^{-1} . (Dias; Silva, 2003b, p. 348).

Os valores de erosividade (fator R) para o município foram adquiridos na literatura de Waltrick (2010) e Waltrick *et al.* (2012; 2015), na qual se obteve os valores de erosividade anual e mensais.

O valor anual é $8611 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$, porém, como o foco do trabalho está na avaliação mensal de perda de solos, foi necessário o levantamento dos valores de $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ mensais (tabela 1).

Tabela 1.: Valor mensal da Erosividade da chuva do município de Bela Vista do Paraíso, PR ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1868	1035	688	474	599	383	299	274	535	711	774	971

Fonte: Waltrick (2010), Waltrick *et al.* (2012, 2015).

Esses valores foram espacializados no recorte municipal em formato *raster* correspondentes a cada mês para, posteriormente, serem utilizados na equação.

Erodibilidade dos solos (Fator K)

Para o levantamento dos valores de erodibilidade (fator K), adotou-se como ponto de partida o levantamento realizado por Gomes *et al.* (2011) em uma escala de 1:50.000 dos solos do município.



Lal (1988) define a erodibilidade de um solo pela sua capacidade de infiltração e consequente resistência à desagregação e transporte das partículas.

Os resultados obtidos com o mapeamento de Gomes *et al.* (2011) identificaram 13 tipos de solos classificados até o 4º nível categórico, porém foram somente consideradas as classes até o 2º nível categórico, pois os valores da erodibilidade na literatura somente foram descritos até este nível.

Com o levantamento bibliográfico, decidiu-se utilizar os valores conferidos a erodibilidade de Silva e Alvares (2005) que realizaram este levantamento para o estado de São Paulo, valores que se encontravam dentro de uma média das demais literaturas. As classes consideradas com os seguintes valores do Fator K são: Cambissolos Flúvicos – 0,0508 (CY), Gleissolos Melânicos – 0,0279 (GM), Neossolos Regolíticos – 0,0351 (RR), Nitossolos Vermelhos – 0,0237 (NV) e Latossolos Vermelhos – 0,0162 (LV).

Os valores foram classificados quanto ao seu valor de erodibilidade, segundo Castro *et al.* (2011), em: LV – baixa, GM e NV – média, RR – alta, CY – muito alta.

Com base no levantamento de Gomes *et al.* (2011), o arquivo *shapefile* foi convertido em formato *raster* com o *software* ArcGis 10.3; posteriormente, utilizou-se a ferramenta *reclassify*, na qual os valores de cada Fator K foram atribuídos a cada classe de solo.

Comprimento e declividade das vertentes (Fator LS)

Para a determinação do fator LS (L = fator comprimento da vertente ou rampa; S = fator declividade média da rampa ou vertente), utilizou-se uma imagem do sensor SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 metros (órbita 222 ponto 76 da banda X), a qual foi recortada com a malha municipal disponibilizada pelo IBGE, utilizando-se a ferramenta *clip* no *software* ArcGis 10.3.

A utilização da imagem SRTM com 30 metros de resolução espacial, se deu em função da melhor acurácia para a determinação do fator LS (Nascimento; Romão; Sales, 2020), pois a mesma não demonstrou uma grande interferência do “efeito dossel” da silvicultura, como a imagem SRTM com resolução espacial de 90 metros onde houve uma acurácia menor em função da vegetação e o modelo digital de elevação do satélite ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros, que em função da elevada declividade dos locais com silvicultura o erro médio pode ser aumentado (Orlandi *et al.*, 2019).

Para a realização das próximas etapas, tornou-se necessária a instalação do *Add-in* GISus-M (*GIS-based procedure for automatically calculating soil loss from the Universal Soil Loss Equation*), o qual foi



desenvolvido para o ArcGis (Oliveira *et al.*, 2015). Posteriormente, utilizou-se o *Add-in* GISus-M para a confecção do fator LS usando a ferramenta LS-TOOL, proposta por Zhang *et al.* (2013), a qual vem incorporada junto ao *Add-in*, facilitando assim a confecção e utilização desses dados.

O fator L foi obtido por meio do cálculo da expressão (equação 3) que considera a área de contribuição superficial por unidade de largura. Assim, foi calculado por meio da divisão da área de contribuição pela largura ao longo do fluxo que pode passar dentro de uma célula. Essa largura depende da direção do fluxo, sendo calculada utilizando-se o aspecto de direção (Desmet; Govers, 1996; Cunha, 2015).

Equação 3: Determinação do fator comprimento da vertente ou rampa (Fator L)

$$L(i, j) = \frac{(A(i, j) + D^2)^{m+1} - A(i, j)^{m+1}}{x^{me} D^{m+2} * (22,13)^m}$$

Onde:

$L(i, j)$ = fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j).

$A_{i, j}$ = área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m^2).

D = tamanho da grade de células (m).

$X_{i, j}$ = valor da direção do fluxo.

m = coeficiente dependente da declividade.

$22,13$ = tamanho padrão em metros da parcela USLE (Wischmeier; Smith, 1978) e RUSLE (Renard *et al.*, 1997).

O fator S algoritmo, desenvolvido por (McCool *et al.* 1987, 1989), também é utilizado na RUSLE para a obtenção do fator topográfico, sendo assim os valores do expoente (m) são calculados conforme a equação 4:

Equação 4: Determinação do fator declividade média da rampa ou vertente (Fator S)

$$m = \beta / (1 + \beta)$$

Onde β é o quociente entre a erosão em sulcos e entressulcos que é calculado conforme a equação 5:

Equação 5: Cálculo de β

$$\beta = \left(\frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right) / [3(\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56]$$

A inclinação do declive (S) foi calculada de acordo com os parâmetros de McCool *et al.* (1987).

$$S = 10,8\text{sen}\theta + 0,03(S < 9\%)$$

$$S = 16,8\text{sen}\theta - 0,5(S \geq 9\%)$$

Onde: ϑ = ângulo em graus da encosta.



Uso e manejo dos solos (Fator C) e práticas conservacionistas (Fator P)

Posteriormente, para determinação do fator C, que correspondente ao uso e manejo do solo e sua vulnerabilidade à erosão (Beskow *et al.* 2009), foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2B (órbita descendente 81) disponíveis no sítio da *United States Geological Survey* (USGS).

As cenas foram selecionadas, primeiramente, pela quantidade de nuvens presentes no município. Assim, foram observadas as imagens com parâmetros de *cloud cover* satisfatórios para o período de outubro de 2017 a setembro de 2018 (15/10/2017, 24/11/2017, 19/12/2017, 23/01/2018, 07/02/2018, 24/03/2018, 28/04/2018, 28/05/2018, 22/06/2018, 27/07/2018, 26/08/2018 e 10/09/2018).

As imagens do satélite estão disponíveis em formato *.jp2*. Por isso, o primeiro passo foi transformá-las em arquivos *.geotiff*. Em seguida, utilizou-se a ferramenta *clip* para recortá-las com a malha municipal de Bela Vista do Paraíso. Esses procedimentos foram realizados no *software* ArcGis 10.3. Após esses processos, as imagens foram corrigidas atmosféricamente pelo método da subtração de objetos escuros (*Dark Object Subtraction – DOS*) e convertidas radiometricamente no *software* QGIS 3.4.8 com a ferramenta *Semi-Automatic Classification Plugin – SCP* (Congedo, 2017), para serem utilizadas na confecção do NDVI, segundo a equação de Rouse *et al.* (1973).

Equação 6: Determinação do NDVI proposto por Rouse *et al.* (1973)

$$NDVI = \frac{IVP - VER}{IVP + VER}$$

Onde:

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.

IVP – Infravermelho Próximo.

VER – Vermelho.

Como foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, as bandas utilizadas foram as 4 e 8. A banda 4 trabalha na faixa do Vermelho (VER) e a 8, na faixa do infravermelho próximo (IVP).

No *software* QGIS 3.4.8, utilizou-se o *plugin* SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*), no qual na função *preprocessing* escolheu-se o satélite Sentinel-2. O *software* trabalha automaticamente para esta correção como é descrito por Congedo (2017) e Rezende, Marques e Rosa (2017).



O fator C_r (uso e manejo do solo) foi considerado utilizando-se como variável os valores de NDVI (Oliveira *et al.*, 2015). O *Add-in* GISus-M já oferece a possibilidade de realizar a conversão do NDVI em valores para o fator C_r e assim utilizar na RUSLE, conforme proposto por De Jong (1994).

Durigon *et al.* (2014) propõe uma equação para que os valores de NDVI em conversão para o fator C_r estejam mais próximos da realidade de uma cobertura vegetal mais densa, como apresentado nas regiões tropicais (equação 7).

Equação 7: Determinação do fator C_r proposto por Durigon *et al.* (2014).

$$C_r = \left(\frac{-NDVI + 1}{2} \right)$$

Onde:

C_r = C reescalado

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

Durigon *et al.* (2014) explicam que, para os resultados serem condizentes com os valores dos fatores C e P utilizados na RUSLE, os valores mais próximos a 1 são de locais em que possivelmente o solo está exposto e as técnicas de manejo sejam inadequadas. Os valores mais próximos a 0 são de áreas onde temos uma boa cobertura vegetal e o solo está protegido. Desta forma, há uma inversão dos valores comumente observados pelo NDVI proposto por Rouse *et al.* (1973).

Para os valores do fator P, que corresponde às práticas conservacionistas adotadas para redução dos processos erosivos, utilizou-se a opção do *Add-in* GISus-M que adota os mesmos valores do fator C_r (Oliveira *et al.*, 2015).

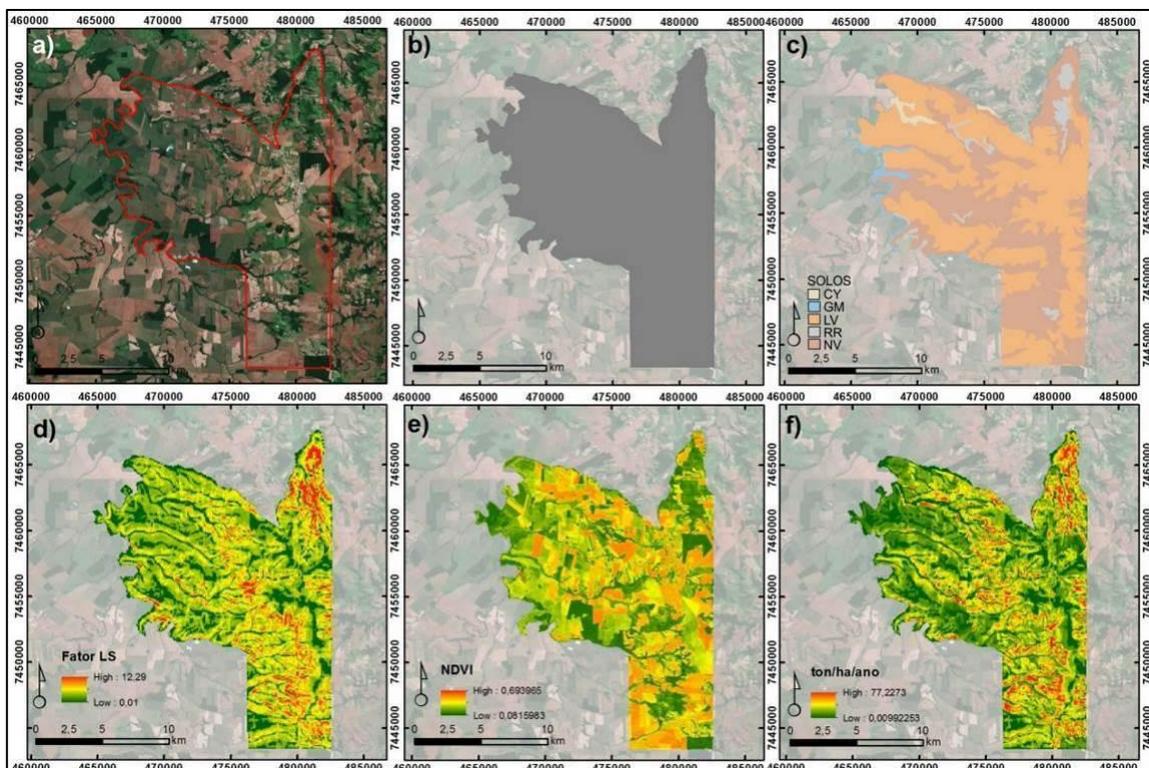
Utilização da ferramenta GISus-M

De posse de todas essas variáveis e com o *Add-in* GISus-M instalado no ArcGis 10.3, o processo de confecção dos mapas da RUSLE foi iniciado para o período selecionado, que compreendeu os meses de outubro de 2017 a setembro de 2018. Nesse, primeiramente, foi inserido o fator R (erosividade), sendo que este foi específico para cada mês e seus valores já citados na tabela 1; posteriormente, foi acrescentado o fator K (erodibilidade), este sempre permanecerá o mesmo arquivo, pois é uma variável de valores que não se altera com o período proposto, como também o próximo, o fator LS. Os valores de C e P são inseridos, obtidos através do NDVI convertidos para o índice C_r .

A figura 2 ilustra os passos que foram seguidos para a confecção do modelo RUSLE, na qual cada item representa um passo:

- a) Imagem Sentinel-2 (órbita descendente 81) de 24/03/2018 mostrando a composição colorida RGB 432 e a malha municipal segundo o IBGE;
- b) Para cada mês houve um fator R como já apresentado na tabela 6.1;
- c) Mapa de solos de Gomes *et al.* (2011) com adaptações de classes ao segundo nível categórico (CY - Cambissolos Flúvicos; GM - Gleissolos Melânicos; RR - Neossolos Regolíticos; NV - Nitossolos Vermelhos; LV Latossolos Vermelhos);
- d) Fator LS onde o maior valor foi de 12,29 e o menor 0,01;
- e) Fatores C e P com valores obtidos no NDVI;
- f) Resultado final do modelo USLE.

Figura 2: Etapas realizadas no procedimento metodológico.



Elaborado por: Autor (2023)



Após esses procedimentos, a simulação da equação universal de perda de solos revisada (RUSLE) foi realizada e interpretada no presente artigo. Para a melhor interpretação dos resultados da RUSLE, foi quantificada a área para cada classe proposta por Beskow *et al.* (2009) (tabela 3).

Tabela 2.: Intervalo de perda de solos proposta por Beskow et al. (2009).

ton/ha/ano	Vulnerabilidade
0-2,5	Ligeira
2,5-5	Leve a moderado
5-10	Moderado
10-15	Moderado a alto
15-20	Alto
20-50	Alto a muito alto
50-100	Muito alto
>100	Extremamente alto

Fonte: Beskow *et al.* (2009)

Análise estatística dos dados

Após a quantificação da área em km² de cada uma das 8 classes propostas por Beskow *et al.* (2009), os dados de área extraídos foram submetidos ao teste de normalidade de Anderson-Darling, a um nível de confiança de 95% e, posteriormente, foram realizados testes de correlação de Spearman para o conjunto de variáveis (equação 8).

Equação 8: Correlação de Spearman.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{(n^3 - n)}$$

Onde:

n = número de pontos de dados das duas variáveis.

D_i = diferença de alcance do elemento n .

Após esses procedimentos, realizou-se a análise multivariada de agrupamento (*cluster*) para descrever ou validar as similaridades presentes no grupo de variáveis entre os períodos investigados adotando-se o agrupamento de variáveis pelo método hierárquico, no qual os parâmetros medida de distância foi o euclidiano, utilizando o *software Action Stat*.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 4 apresenta os valores em km², seguindo os intervalos de Beskow *et al.* (2009) para cada mês, entre outubro de 2017 à setembro de 2018. Os mapas de perda mensal de solos foram divididos com estes intervalos, com o intuito de assim estimar o comportamento da quantidade de solo erodido para cada mês (ton/ha/mês) para cada classe.

Tabela 3.: Área em km² da perda de solos utilizando os intervalos de Beskow *et al.* (2009).

ton/ha/mês	out/17	nov/17	dez/17	jan/18	fev/18	ma/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18
0 - 2,5	44,73	52,5	67,41	48,24	72,51	54,68	119,2	98,12	122,7	92,31	98,29	97,16
2,5 - 5	16,31	44,47	66,71	67,87	70,53	58,36	68,39	72,69	78,29	96,98	97,97	56,01
5 - 10	101,5	91,75	69,73	68,24	67,13	84,45	40,34	48,80	33,1	44,47	39,98	45,74
10 - 15	45,38	33,44	21,62	26,87	19,08	28,35	9,05	13,5	4,46	4,87	3,53	29,24
15 - 20	19,43	11,68	8,42	12,48	6,75	9,86	2,44	4,62	1,17	1,11	0,49	8,41
20 - 50	12,89	6,46	6,23	15,57	4,32	4,67	0,89	2,62	0,6	0,62	0,1	3,79
50 - 100	0,1	0,06	0,13	0,95	0,07	0,01	-	0,008	-	-	-	0,01
>100	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-

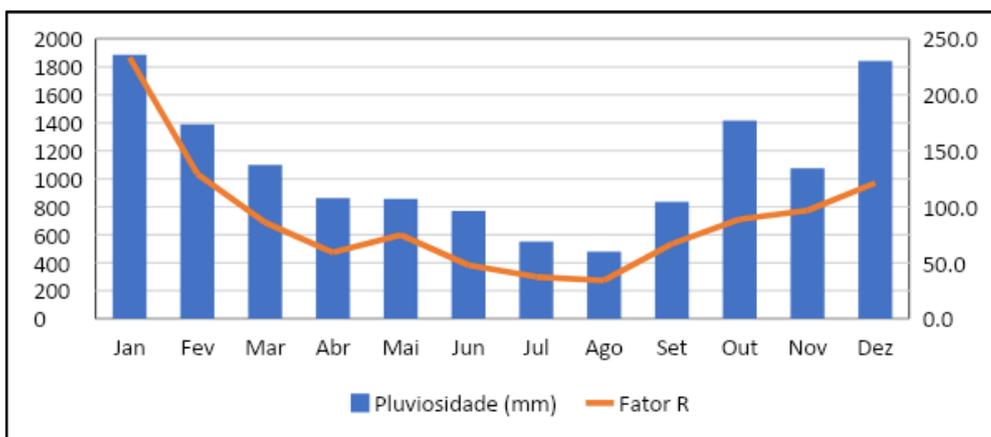
Fonte: Os autores

O valor máximo de perda de solos foi verificado no mês de janeiro de 2018, com uma perda máxima de 194,2 ton/ha/mês, porém com uma área de 0,02 km². Esse é o único mês que atingiu a classe de perda superior a 100 ton/ha/mês. Isso se deve, principalmente, ao seu fator R ser de 1898 MJ mm ha h mês em uma região de Neossolo Regolítico que apresenta alta erodibilidade. Salienta-se que esse resultado somente não foi maior pelo fato de ser um mês em que grande parte das lavouras do município estão em desenvolvimento, sobretudo a soja (Johann *et al.*, 2016), nas quais a cobertura vegetal observado pelo NDVI, impedindo que processos erosivos se intensifiquem ainda mais (Amaral *et al.*, 2008).

No entanto, ainda temos nas estações de primavera e verão os maiores valores de perda de solos entre o intervalo estudado. Isso pode estar associado à época de semeadura das culturas, no caso a soja, pois o solo fica pouco protegido e associado às intensas chuvas erosivas com suas enxurradas acarretam em processos erosivos (Cogo; Levien; Schwarz, 2003). Como pode ser observado na figura 3 que demonstra a pluviosidade histórica mensal da estação meteorológica do INMET no município de Londrina (PR) com os valores de erosividade do município de Bela Vista do Paraíso, segundo Waltrick (2010), Waltrick *et al.* (2012, 2015).



Figura 3: Pluviosidade histórica mensal associada à erosividade da chuva (Fator R).



Fonte: Waltrick, 2010; Waltrick et al., 2012; 2015; INMET, 2023.

O menor valor de perda de solo estimado com o modelo, se deu no mês de agosto de 2018, com 36,08 ton/ha/mês, este também tem seu resultado ligado ao valor do fator R, 274 MJ mm ha h mês, o menor valor de erosividade para o período estudado, grande em parte por ser o mês com o mais baixo índice pluviométrico (60 mm), onde se pode caracterizar por ser um mês com escassez de chuvas erosivas (McGregor et al., 1995).

Contribuindo para que o seu resultado de perda de solos não venha a ser maior, pois neste mês geralmente as áreas de lavouras estão iniciando a sua época de pousio anual, onde o solo fica exposto, porém é muito comum no município a utilização da palhada do milho colhido entre os meses de junho e julho para proteção do solo, proporcionando assim uma manutenção de resíduos culturais na superfície do solo, acarretando o aumento da retenção de água e maior proteção do solo contra o impacto direto das chuvas (Igue, 1984).

Observa-se que a erosividade das chuvas (fator R) é associada aos fatores de uso e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P). Em meses que o pousio é realizado com um índice de chuvas erosivas acarretam resultados na classe 5 a 10 ton/ha/mês, chegando a uma área máxima de 101,509 km².

A classe de perda mensal de 0 a 2,5 ton/ha/mês tem a maior média de 79,17 km² de ocupação no município (tabela 4), o que se deve ao relevo do município ser predominante da classe suave ondulada (EMBRAPA, 1979) como pode ser observado na tabela 5.



Tabela 4.: Área das classes de declividade para Bela Vista do Paraíso, PR (EMBRAPA, 1979).

Declividade (%)	Descrição do relevo	Área (km ²)	Área (%)
0-3	Plano	29,05	11,98
3-8	Suave ondulado	126,239	52,06
8-20	Ondulado	85,5	35,26
20-45	Forte ondulado	1,674	0,7
45-75	Montanhoso	-	-
>75	Forte montanhoso	-	-

Fonte: Os autores

Observando a perda de solos do município em sua totalidade, também podemos correlacionar com as diferentes classes de solos apresentadas, já que a erodibilidade (fator K) também influencia significativamente para os resultados da RUSLE.

O município possui cinco classes de solos, sendo a predominante o LV com 129,468 km² (52,94%), seguido do NV com 99,876 km² (40,84%), RR com 8,024 km² (3,28%), GM 4,498 km² (1,83%) e CY com 2,67 km² (1,09%).

A tabela 6 demonstra a área em km² de perda de solos mensais para cada classe de solo, utilizando-se novamente os intervalos de Beskow *et al.* (2009).

Tabela 5.: Intervalo de perda de solos (Beskow *et al.* 2009) para as diferentes classes de solos.

Solos	Intervalo de perda de solos ano (ton/ha/mês)							
	0 – 2,5	2,5 – 5	5 – 10	10- 15	15 – 20	20 – 50	50 – 100	>100
Outubro 2017								
LV	31,838	9,504	73,227	11,286	1,674	0,323	0,001	-
RR	0,686	0,106	0,99	1,516	1,511	3,105	0,092	-
NV	9,106	6,29	26,419	31,759	15,552	8,738	0,012	-
CY	1,056	0,003	0,224	0,198	0,473	0,657	-	-
GM	2,019	0,406	0,637	0,626	0,226	0,074	-	-
Novembro 2017								
LV	37,828	29,008	52,985	6,826	1,046	0,16	-	-
RR	0,696	0,468	1,873	1,991	1,44	1,514	0,024	-
NV	10,798	14,147	35,456	23,821	8,887	4,725	0,043	-
CY	1,058	0,089	0,534	0,581	0,284	0,066	-	-
GM	2,095	0,75	0,894	0,221	0,024	0,003	-	-
Dezembro 2017								
LV	52,485	43,407	27,927	3,421	0,494	0,118	0,001	-
RR	0,691	0,375	1,493	1,665	1,442	2,228	0,112	-
NV	11,013	21,636	38,643	16,225	6,397	3,933	0,026	-
CY	1,066	0,155	1,012	0,258	0,081	0,04	-	-
GM	2,126	1,136	0,649	0,055	0,015	0,007	-	-
Janeiro 2018								



LV	35,464	59,408	24,932	5,269	1,843	0,916	0,019	-
RR	0,683	0,017	0,609	1,075	0,938	3,982	0,682	0,02
NV	8,999	8,443	40,96	19,438	9,389	10,397	0,248	0,001
CY	1,055	0,016	0,384	0,694	0,234	0,226	0,003	-
GM	2,016	0,094	1,349	0,394	0,078	0,055	0,003	-
Fevereiro 2018								
LV	58,572	43,432	22,608	2,752	0,377	0,112	-	-
RR	0,689	0,22	1,6	1,772	1,518	2,136	0,07	-
NV	10,133	26,385	41,606	13,597	4,3	1,861	0,002	-
CY	1,059	0,018	0,535	0,462	0,378	0,158	-	-
GM	2,025	0,047	0,771	0,495	0,176	0,057	-	-
Março 2018								
LV	40,246	39,106	42,395	5,253	0,73	0,125	-	-
RR	0,695	0,413	2,094	2,222	1,431	1,148	0,004	-
NV	10,576	17,85	38,466	20,241	7,389	3,355	0,006	-
CY	1,058	0,062	0,67	0,484	0,302	0,035	-	-
GM	2,074	0,924	0,822	0,153	0,014	0,007	-	-
Abril 2018								
LV	91,279	27,301	8,704	0,538	0,038	0,003	-	-
RR	0,759	1,123	2,843	1,882	0,931	0,469	-	-
NV	23,543	38,007	27,961	6,487	1,466	0,415	-	-
CY	1,069	0,729	0,673	0,131	0,003	0,006	-	-
GM	2,593	1,218	0,16	0,015	0,003	-	-	-
Mai 2018								
LV	79,3	34,722	12,624	1,042	0,13	0,038	-	-
RR	0,707	0,589	2,162	1,797	1,209	1,533	0,008	-
NV	14,9	35,836	32,547	10,365	3,187	1,04	-	-
CY	1,065	0,188	0,989	0,27	0,09	0,011	-	-
GM	2,122	1,344	0,48	0,033	0,007	0,002	-	-
Junho 2018								
LV	95,215	29,597	2,971	0,071	0,008	0,002	-	-
RR	0,771	1,143	2,759	1,782	0,964	0,588	-	-
NV	23,283	45,973	26,013	2,432	0,162	0,013	-	-
CY	1,071	0,353	0,981	0,171	0,035	-	-	-
GM	2,386	1,213	0,382	0,007	0,001	-	-	-
Julho 2018								
LV	72,289	51,663	3,822	0,081	0,001	0,001	-	-
RR	0,742	0,943	2,831	1,892	0,988	0,612	-	-
NV	15,892	42,962	36,243	2,643	0,125	0,013	-	-
CY	1,069	0,213	1,068	0,26	0,002	-	-	-
GM	2,283	1,195	0,506	0,003	0,001	-	-	-
Agosto 2018								
LV	75,242	49,316	3,277	0,022	0,002	-	-	-
RR	0,865	1,524	3,557	1,55	0,408	0,101	-	-
NV	18,609	45,769	31,631	1,776	0,087	0,006	-	-
CY	1,078	0,276	1,079	0,179	-	-	-	-
GM	2,466	1,082	0,438	0,003	-	-	-	-
Setembro 2018								
LV	32,667	45,398	46,91	2,639	0,217	0,023	-	-
RR	0,69	0,19	1,608	1,877	1,685	1,942	0,015	-
NV	9,281	9,935	47,239	23,774	5,986	1,662	-	-
CY	1,056	0,02	0,294	0,618	0,463	0,161	-	-
GM	2,019	0,466	1,1	0,336	0,063	0,003	-	-

Fonte: Os autores



A classe dos LV, predominante no município, sendo estas praticamente todas utilizadas para o plantio de grãos, oscila entre os três primeiros intervalos de perda de solos 0-2,5, 2,5-5 e 5 a 10 ton/ha/mês, com a variação encontrada atrelada aos fatores C e P, pois, em meses com fator R alto, há uma cobertura vegetal que realiza o contrapeso na RUSLE. Em meses com fator R baixo, as áreas de plantio estavam no período de pousio, sendo também observado nos locais onde há NV.

Evidenciam os maiores resultados de perda de solos onde se localizam os RR. Esses são relacionados ao fator LS que, segundo a classificação da EMBRAPA (1979), encontrando-se nas categorias de ondulado a forte ondulado. As áreas com essa classe de solo apresentaram perdas de solos no intervalo de 20 a 50 ton/ha/mês. Salienta-se que esses locais geralmente não são áreas de agricultura de cultivo temporário. Em saídas à campo para reconhecimento da área, verificou-se que locais estavam destinados à pecuária, praticamente inexpressiva no município.

Os RR podem se caracterizar como solos com alta suscetibilidade à erosão. Borges, Athayde e Reginato (2017), ao estudarem a vulnerabilidade de contaminação do aquífero Serra Geral no Paraná, caracterizaram-no como um solo com capacidade de infiltração moderada, o que com o valor do fator LS dessa região que se encontram entre mais elevados, assim contribuindo para que os valores de perdas de solos venham a ser elevados.

A classe dos CY, que apresenta o maior valor para o fator K com $0,0508 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, compreende áreas associadas à classe de 20 a 50 ton/ha/mês muito em razão da sua susceptibilidade a processos erosivos, pois se encontram em áreas de planícies de inundação, que se caracterizam por ter uma permeabilidade muito lenta da água no interior do perfil (Curcio *et al.*, 2007).

Os CY e os GM se encontram em áreas de planície de inundação do município. Portanto, não possuem um fator LS de valores elevados, valendo salientar que essas áreas de planície de inundação devem ser preservadas pelo seu alto grau de fragilidade (Galvão; Stevaux; Saad, 2014).

Os resultados apresentados são frutos de modelos espaciais. Portanto, é importante enfatizar que esses devem ser atualizados constantemente, para que suas informações passem a ter cada vez mais confiabilidade (Kyriakidis; Dungan, 2001).

Lima *et al.* (2021) também ressaltam que a utilização de somente uma metodologia para a determinação da erodibilidade para diferentes tipos de solos, onde há uma certa distinção quanto as suas características físicas como químicas podem subestimar ou superestimar os valores do fator K.



Uma vez realizada a avaliação visual dos modelos mensais da RUSLE para o município de Bela Vista do Paraíso, também foi efetuada a análise estatística dos dados da tabela 4 com os valores de área de cada classe de Beskow *et al.* (2009).

Segundo os dados apresentados, a distribuição de normalidade pelo teste de Anderson-Darling, em sua maioria, não seguiu uma distribuição normal, ou seja, com valores acima de 95% de confiança, exceto os meses de outubro de 2017, novembro de 2017, janeiro de 2018, março de 2018 e setembro de 2018. Por isso, foi realizada a correlação de Spearman que é indicada para dados que não seguem uma distribuição normal.

A matriz de correlação de Spearman demonstrou uma correlação acima de 0,95 nos meses de: novembro de 2017, dezembro de 2017, janeiro de 2018 e março de 2018. Outra correlação foi verificada nos meses de: fevereiro de 2018, abril de 2018, maio de 2018, junho de 2018, julho de 2018, agosto de 2018 e setembro de 2018. O mês de outubro de 2017 teve os menores índices de correlação com os demais meses, porém todos os valores foram superiores a 0,88, como é apresentado na tabela 7.

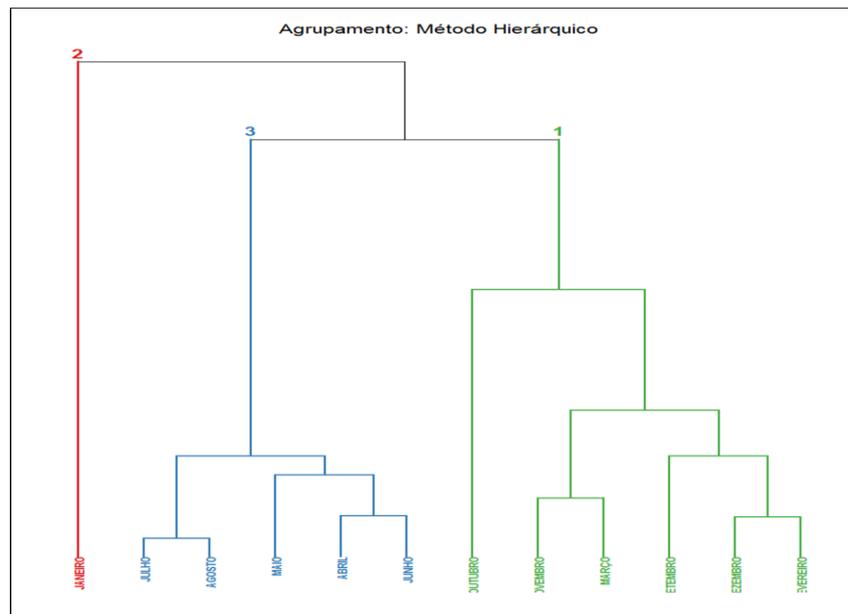
Tabela 6.: Matriz de correlação de Spearman.

	Out/ 17	Nov/ 17	Dez/ 17	Jan/ 18	Fev/ 18	Mar/ 18	Abr/ 18	Mai/ 18	Jun/ 18	Jul/1 8	Ago/ 18	Set/1 8
Out/17		0,88	0,88	0,78	0,73	0,83	0,73	0,73	0,73	0,68	0,73	0,73
	1	0	0	5	8	3	0	8	0	2	0	8
Nov/17	0,88			0,95	0,92	0,97	0,92	0,92	0,92	0,89	0,92	0,92
	0	1	1	2	8	6	2	8	2	8	2	8
Dez/17	0,88			0,95	0,92	0,97	0,92	0,92	0,92	0,89	0,92	0,92
	0	1	1	2	8	6	2	8	2	8	2	8
Jan/18	0,78	0,95	0,95		0,88	0,97	0,87	0,88	0,87	0,89	0,87	0,88
	5	2	2	1	0	6	4	0	4	8	4	0
Fev/18	0,73	0,92	0,92	0,88		0,90	0,99		0,99	0,97	0,99	
	8	8	8	0	1	4	4	1	4	0	4	1
Mar/18	0,83	0,97	0,97	0,97	0,90		0,89	0,90	0,89	0,92	0,89	0,90
	3	6	6	6	4	1	8	4	8	2	8	4
Abr/18	0,73	0,92	0,92	0,87	0,99	0,89		0,99		0,97		0,99
	0	2	2	4	4	8	1	4	1	5	1	4
Mai/18	0,73	0,92	0,92	0,88		0,90	0,99		0,99	0,97	0,99	
	8	8	8	0	1	4	4	1	4	0	4	1
Jun/18	0,73	0,92	0,92	0,87	0,99	0,89		0,99		0,97		0,99
	0	2	2	4	4	8	1	4	1	5	1	4
Jul/18	0,68	0,89	0,89	0,89	0,97	0,92	0,97	0,97	0,97		0,97	0,97
	2	8	8	8	0	2	5	0	5	1	5	0
Ago/18	0,73	0,92	0,92	0,87	0,99	0,89		0,99		0,97		0,99
	0	2	2	4	4	8	1	4	1	5	1	4
Set/18	0,73	0,92	0,92	0,88		0,90	0,99		0,99	0,97	0,99	
	8	8	8	0	1	4	4	1	4	0	4	1

Fonte: Os autores

Desta forma, sendo evidenciada a correlação entre as análises mensais, foi realizada a análise de agrupamento dos *clusters*, sendo possível observar a formação de três grupos por similaridade como é observada na figura 4 que apresenta o dendograma.

Figura 4: Dendograma dos agrupamentos.



Fonte: Os autores

O dendograma de agrupamentos pode ser dividido em três grupos:

Grupo 1 (verde): outubro de 2017, novembro de 2017, dezembro de 2017, fevereiro de 2018, março de 2018 e setembro de 2018;

Grupo 2 (vermelho): Janeiro de 2018;

Grupo 3 (azul): abril de 2018, maio de 2018, junho de 2018, julho de 2018 e agosto de 2018.

A divisão destes grupos está correlacionada aos valores de erosividade mensal (fator R), principalmente quanto à formação de um grupo somente com o mês de janeiro de 2018, em que é observado o maior valor ($1868 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), acarretando, assim, valores nas classes de maior perda de solo por hectare.

O grupo 1 apresenta valores de erosividade entre 535 (setembro) a 1035 (fevereiro) $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, e o grupo 3 demonstra valores menores de erosividade entre 274 (agosto) a 599 (maio) $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Waltrick, 2010; Waltrick *et al.* 2012; 2015).



Além desta ligação relacionada à erosividade, também é observado que os agrupamentos, quanto aos fatores de uso e manejo do solo (fatores C e P), estes valores aqui elencados conjuntamente podem explicar os agrupamentos, onde o grupo 1 apresenta valores de perda de solos por hectare predominantes na classe moderada de Beskow *et al.* (2009), entre 5 a 10 ton/ha.

O grupo 3 na classe ligeira (0-2,5 ton/ha), onde mesmo apresentando valores altos de fatores C e P, os valores de erosividade foram os mais baixos em função de valores do fator R serem mais baixos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1) Observa-se que os processos erosivos no município estão principalmente relacionados à erosividade (fator R), em que a sazonalidade das chuvas determina os maiores e menores valores de perda de solos, mas também ao seu uso, cobertura vegetal e práticas conservacionistas.

2) Os valores de erodibilidade (fator K) também têm influência no resultado final da RUSLE, mesmo não apresentando variabilidade mensal, as classes de solos mais erodíveis como RR e CY têm maiores valores de perda de solo. No caso do RR também está atrelado aos maiores valores do fator LS.

3) A utilização de imagens de satélite do período de um ano com observações mensais apresenta uma melhor análise de como os processos erosivos laminares ocorrem, conforme a sazonalidade das lavouras, o que pode contribuir na melhoria das técnicas de manejo dos solos.

4) Práticas conservacionistas devem ser adotadas nas áreas de lavoura do município de forma intensiva, tal como curvas de nível, pois tem 35,26% do relevo classificado como ondulado.

5) A utilização da RUSLE com o recorte espacial do município é uma grande ferramenta para que as prefeituras possam planejar a melhor forma de gerir seus recursos, como a conservação de estradas vicinais que auxiliam no processo de aceleração dos processos erosivos.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina pelo apoio a pesquisa e a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pela concessão do afastamento integral do servidor para a qualificação em nível de doutorado.



REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; BARBOSA, F. T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catarinense. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas. v. 32, n. 5, p. 2145-2155, 2008.
- ANGIMA, S. D.; STOTT, D. E.; O'NEILL, M. K.; ONG, C. K.; WEESIES, G. A. Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 97, n. 1-3, p. 295-308, 2003.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURI, N. VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, n. 1, p. 49-59, 2009.
- BORGES, V. M.; ATHAYDE, G. B.; REGINATO, P. A. R. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná-Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 4, p. 327-337, 2017.
- CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In. ALVAREZ V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (eds.) **O solo nos grandes domínios, morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 731-750.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas. v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.
- CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation Versão 5.1.0.1. Tutorial. 2017. Disponível em: <<https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-v5-pt/latest/semiautomaticclassificationmanual-v5-pt.pdf>> Acesso em: 24 jun. 2019.
- CUNHA, E. R. **Geoprocessamento aplicado a estimativa de perdas de solo da bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2015.
- CURCIO, G. R.; GALVÃO, F.; BONNET, A.; BARDDAL, M. L.; DEDECEK, R. A. A floresta fluvial em dois compartimentos do rio Iguazu, Paraná, Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 125-147, 2007.
- DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of soil and water conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.
- DE JONG, S. M., **Applications of reflective remote sensing for land degradation studies in a Mediterranean environment**. PhD Thesis - Utrecht University, Utrecht, 1994. 237 pp.
- DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE): I-Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno-1ª aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 335-345, 2003.
- DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II-correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 347-354, 2003b.
- DURIGON, V. L.; CARVALHO, D. F.; ANTUNES, M. A. H.; OLIVEIRA, P. T. S.; FERNANDES, M. M. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 2, p. 441-453, 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In. REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p.
- FERNANDEZ, H. M.; MARTINS, F. M. G.; ISIDORO, J. M. G. P.; ZAVALA, L.; JORDÁN, A. Soil erosion, Serra de Grândola (Portugal). **Journal of Maps**, v. 1, n. 5, p. 1138-1145, 2016.
- FU, B. J.; ZHAO, W. W.; CHEN, L. D.; ZHANG, Q. J.; LÜ, Y. H.; GULINK, H.; POESEN, J. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the Loess Plateau of China. **Land degradation & development**, v. 16, n. 1, p. 73-85, 2005.



- GALVÃO, V.; STEVAUX, J. C.; SAAD, A. R. Análise Geoambiental dos Ambientes da Planície Aluvial do Alto Curso do Rio Paraná: Fragilidade e Impactos Ambientais Relativos ao Desenvolvimento do Uso Turístico. **Geociências**, v. 33, n. 3, p. 472-491, 2014.
- GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A.; CURCIO, G. R.; CAVIGLIONE, J. H.; UHLMANN, A.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P. **Levantamento semidetalhado de solos do município de Bela Vista do Paraíso-PR**. Londrina, PR: Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, 2011.
- IBGE, (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/bela-vista-do-paraíso/pesquisa/24/76693>) acessado dia 28 de outubro de 2020
- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. *In*. FUNDAÇÃO CARGIL. ADUBAÇÃO verde no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.232-267.
- KYRIAKIDIS, P. C.; DUNGAN, J. L. A geostatistical approach for mapping thematic classification accuracy and evaluating the impact of inaccurate spatial data on ecological model predictions. **Environmental and ecological statistics**, v. 8, n. 4, p. 311-330, 2001.
- LAL, R. Erodibility and erosivity. *In*. LAL, R. *et al*. Soil erosion research methods. Washington: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.
- LIMA, C. G. R.; BACANI, V. M.; MONTANARI, R.; VICK, E. P.; FERREIRA, C. C.; SILVA, E. R. S. Metodologias Indiretas De Mensuração Da Erodibilidade Do Solo E Caracterização Da Variabilidade Espacial. **Mercator (Fortaleza)**, v. 20, p. e20023, 2021.
- McCOOL, D. K.; BROWN, L. C.; FOSTER, G. R.; MUTCHLER, C. K.; MEYER, L. D. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, v. 30, n. 5, p. 1387-1396, 1987.
- McCOOL, D. K.; FOSTER, G. R.; MUTCHLER, C. K.; MEYER, L. D. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, v. 32, n. 5, p. 1571-1576, 1989.
- McGREGOR, K. C.; BINGER, R. L.; BOWIE, A. J.; FOSTER, G. R. Erosivity index values for northern Mississippi. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 4, p. 1039-1047, 1995.
- MILLWARD, A. A.; MERSEY, J. E. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. **Catena**, v. 38, n. 2, p. 109-129, 1999.
- MURATORI, A. M. **Erosão no Noroeste do Paraná: uma proposta metodológica de estudo sistemático através do uso de fotografias aéreas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983.
- NASCIMENTO, D. T. F.; ROMÃO, P. A.; SALES, M. M. Emprego de dados geomorfométricos na análise da suscetibilidade erosiva. **Élisée**, v. 9, p. 1-17, 2020.
- OLIVEIRA, J. A.; DOMINGUEZ, J. M. L.; NEARING, M. A.; OLIVEIRA, P. T. S. A GIS-based procedure for automatically calculating soil loss from the universal soil loss equation: GISus-M. **Applied engineering in agriculture**, v. 31, n. 6, p. 907, 2015.
- ONORI, F.; BONIS, P.; GRAUSO, S. Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). **Environmental Geology**, v. 50, n. 8, p. 1129-1140, 2006.
- ORLANDI, A. G.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; BIAS, E. S.; CORRÊA, D. C.; GOMES, R. A. T. Vertical accuracy assessment of the processed SRTM data for the Brazilian territory. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 25, p. e2019021, 2019.
- PINESE, J. P. P. Síntese geológica da bacia do rio Tibagi. *In*. MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A.; PIMENTA, J. A. (orgs.) A Bacia do Rio Tibagi. Londrina: ME Medri, 2002. p. 21-38.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agricultural Handbook**, n. 703, United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1997.



- REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; ROSA, R. Uso de dados do Sentinel-2 para cálculo de NDVI com base nos valores da reflectância aparente e de superfície. *In. XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2017, Santos-SP. Anais [...]* Santos-SP, SBSR, 2017. p. 4181-4188.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHIELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In. Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, 1973. Proceedings...* Whashington: NASA, 1974, v. 1, p. 309-317, 1973.
- SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 7, n. 2, p. 3-12, 2006.
- SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Erodibilidade dos solos paulistas: levantamento de informações e estruturação de um banco de dados. *Geociências*, v. 24, n. 1, p. 33-42, 2005.
- SOUZA, V.; GASPARETTO, N.V.L. Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) na bacia do córrego Pinhalzinho Segundo, noroeste do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 13, n. 3, p. 267-278, 2012.
- WALTRICK, P. C. **Erosividade de chuvas no Paraná: atualização, influência do “El niño” e “La niña” e estimativa para cenários climáticos futuros.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; OLIVEIRA, D.; GRIMM, A. M.; DIECKOW, J. Erosividade de chuvas no estado do Paraná: Atualização e influência dos eventos “El Niño” e “La Niña”. *Boletim Técnico da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Curitiba*, 2012.
- WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 1, p. 256-267, 2015.
- WISCHMEIER, W. H, SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation. *Agricultural Handbook* No. 537. Planning, Science and Education Administration. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1978.
- ZHANG, H.; YANG, Q.; LI, R.; LIU, Q.; MOORE, D.; HE, P.; RITSEMA, C.J.; GEISSEN, V. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. *Computers and Geosciences*, v. 52, p. 177-188, 2013.