



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Determinação da Erosão e Transporte de Sedimentos em Bacia Hidrográfica do Sudoeste do Paraná

Jean Rafael Dias Zanella¹, Julio Caetano Tomazoni², Wagner de Aguiar³

¹Mestre em engenharia ambiental, especialista em engenharia de segurança do trabalho, engenheiro ambiental, UTFPR- Campus Francisco Beltrão, Brasil jeanrzanella@gmail.com. ²Pós-doutor em química. Doutor e mestre em geologia, especialista em cartografia e georreferenciamento rural, geógrafo, UTPR Campus Francisco Beltrão, Brasil caetano@utpr.edu.br (autor correspondente). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. Linha Santa Bárbara, s/n -CEP 85601-970 caixa postal 135, Francisco Beltrão- PR. ³Doutor em engenharia agrícola, mestre em geografia, tecnólogo em química industrial, engenheiro ambiental, UTFPR, Campus Francisco Beltrão, Brasil wagneraguiar@utfpr.edu.br. Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Artigo submetido em 02/01/2023 e aceito em 05/06/2023

RESUMO

A bacia do rio Marrecas está localizada no sudoeste do Paraná. A erosão e os impactos relacionados a mesma ocorrem há muito tempo e tem influenciado de forma significativa o meio ambiente e os seres vivos. Além disso, a erosão além de causar impactos no solo, está relacionada ao transporte de sedimentos o que pode ocasionar o assoreamento e contaminação de corpos hídricos além de prejudicar a qualidade do solo e da água. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo de determinar a curva-chave de sedimentos a partir de dados obtidos em campo e ferramentas de monitoramento fluviométrico, bem como, estimar a erosão laminar na bacia por meio de ferramentas de geoprocessamento e amostras coletadas em campo. Ao utilizar Equação Universal de Perda de Solo verificou-se a ocorrência de perda de solo na bacia do rio Marrecas. Além disso, foi possível estimar a produção de sedimentos por meio da vazão e concentração de sedimentos no ponto de controle determinado para a área estudo no Rio Marrecas.

Palavras-chave: Hidrossedimentologia, Curva-chave de sedimentos, Equação universal de perda de solo, Sólidos em suspensão, Erosão laminar.

Determination of Erosion and Sediment Transport in a Hydrographic Basin of Southwest Paraná

ABSTRACT

The Marrecas river basin is located in southwestern Paraná. Erosion and its related impacts have been taking place for a long time and have significantly influenced the environment and living beings. Furthermore, erosion, in addition to causing impacts on the soil, is related to the transport of sediments, which can cause siltation and contamination of water bodies, besides to harming the quality of the soil and water. In this context, the present study aimed to determine the key-curve of sediments from data obtained in the field and fluviometric monitoring tools, as well as to estimate the laminar erosion in the basin through geoprocessing tools and samples collected in the field. Using the Universal Soil Loss Equation, it was verified the occurrence of soil loss in the Marrecas river basin. In addition, it was possible to estimate the production of sediments through the flow and concentration of sediments at the control point determined for the study area in the Rio Marrecas.

Key words: Hydro-sedimentology, Discharge rating curve, Universal soil loss equation, Suspended solids, Erodibility.

Introdução

A pressão sobre os recursos naturais causada pelo aumento populacional e sua busca por alto padrão de vida tem aumentado em uma taxa que é difícil para o planeta sustentar (Fiorese & Aguiar, 2022). Tendências como essa juntamente com muitos outros fatores tem resultado em perda de terras cultiváveis, desmatamento, erosão do solo, escassez de água, esgotamento de água

subterrânea, desequilíbrio ecológico, risco de poluição, deterioração da qualidade da água e degradação ambiental (Pinheiro et al., 2022).

De todas alterações de uso do solo que podem impactar uma bacia hidrográfica e sua hidrologia, urbanização é de longe a mais significativa. Tal desenvolvimento aumenta superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, produzindo maiores volumes de escoamento

superficial a partir de chuvas, com escoamento superficial mais rápido do que se a bacia hidrográfica natural estivesse absorvendo a água da chuva (Moura, 2022).

Apesar da erosão ser um processo de ocorrência natural, a erosão acelerada frequentemente ocorre durante o desenvolvimento urbano devido à remoção da cobertura vegetal superficial e alteração da superfície do solo e subsolos combinados com mudanças no comportamento de fluxos na superfície (Duarte, 2022).

A ocupação da região sudoeste do Paraná demonstra a principal característica da ocupação e/ou colonização no Brasil que é a falta de requisitos mínimos para a conservação ambiental. Além disso, as explorações agropecuárias têm influência significativa no setor econômico de Francisco Beltrão (Pollnow et al., 2022).

Os processos erosivos têm se intensificado na bacia do Rio Marrecas devido ao uso do solo, principalmente devido ao aumento das atividades agropastoris e desenvolvimento urbano. Esse tipo de uso do solo tende a contribuir na ocorrência de erosão laminar e transporte de sedimentos na bacia. Visto que a expansão urbana e as atividades agropastoris tendem a continuar ou a aumentar.

Nesse contexto, a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) possibilita em ambiente SIG integrar técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem ambiental (Rizzo, Cunha & Tonello, 2023).

Nos últimos anos, Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e Sensoriamento Remoto tornaram-se ferramentas úteis para o gerenciamento de recursos naturais e pesquisas sobre desastres naturais (Neves & Lollo, 2022).

O presente estudo teve como objetivo estimar a erosão laminar no interflúvio e a descarga de sedimento na bacia hidrográfica do Rio Marrecas e relacionar à intensidade de chuvas e períodos do ano utilizando dados coletados em campo integrados aos sistemas de informações geográficas para o mapeamento dos resultados estimados. A problematização adotada é, pois, a seguinte: em que medida a erosão laminar no interflúvio e a descarga de sedimento na bacia hidrográfica do Rio Marrecas está relacionada à intensidade de chuvas e períodos do ano?

Material e métodos

A bacia hidrográfica do Rio Marrecas abrange os municípios de Flor da Serra do Sul, Francisco Beltrão, Itapejara D'Oeste, Marmeleiro e Verê. De acordo com Rizzo, Cunha & Tonello, (2023), a Bacia do Rio Marrecas está localizada no Sudoeste do Paraná, com área de 865,43 km² e 164,9 km de perímetro, sendo que o seu canal principal possui extensão de 146,6 km. As principais sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Marrecas são: Frio, Lata, Mandurim, Lonqueador, Cruzinha, Bonito, Quatorze, Santa Rosa, Tuna e Concórdia (Oliveira et al., 2023).

A área objeto de estudos, abrange parte da bacia do Rio Marrecas, com área de 451,14 km², localizada nos Municípios de Francisco Beltrão, Marmeleiro e Flor da Serra do Sul. Maiores detalhes, vide Figura 1.

Neste estudo a erosão laminar foi quantificada utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), utilizando amostragens em campo e o software ArcGIS. Estes cinco valores foram identificados por meio dos dados de terreno, precipitação, uso do solo e propriedades do solo.

A Equação Universal de Perda de Solo, conhecida como USLE (Universal Soil Loss Equation), foi definida, primeiramente, por Wishmeier e Smith e depois melhorada nos seus parâmetros por outros pesquisadores. É a equação mais empregada para o cálculo da erosão em termos médios anuais. Corresponde ao produto de parâmetros básicos, considerando fatores ativos e passivos (Holanda et al., 2022).

A equação de perda de solo (Rizzo, Cunha & Tonello, 2023) é dada pela equação 1.

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (\text{Eq.1})$$

Onde “A” = perda anual de solo em t.ha⁻¹, “R” = fator de erosividade da chuva, que expressa a erosão potencial, ou pode erosivo da precipitação média anual da região, em (MJ.mm)(ha.h)⁻¹, “K” = fator de erodibilidade do solo que representa a capacidade do solo de sofrer erosão por uma determinada chuva, em (t.ha.h) (ha.MJ.mm)⁻¹, “L” = fator topográfico que expressa o comprimento do declive, em metros, “S” = fator topográfico que expressa a declividade do terreno ou grau do declive, “C” = fator que expressa uso e manejo do solo e cultura e “P” = fator que expressa a prática conservacionista do solo.

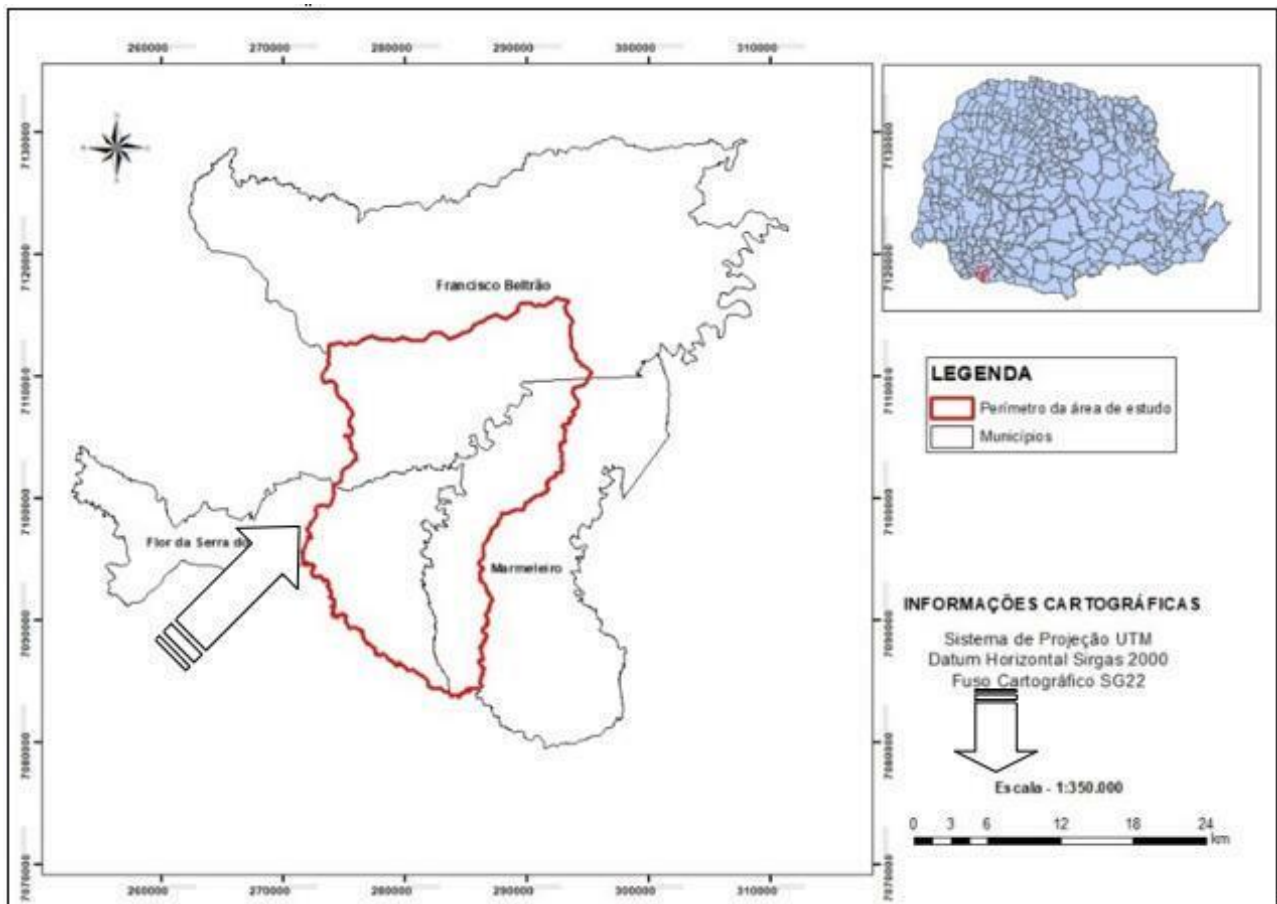


Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo.

Determinação do Fator R de Erosividade das Chuvas

Esse fator expressa a capacidade da chuva de causar erosão em área sem proteção. É definido pelo produto da energia cinética de uma chuva pela sua máxima intensidade em 30 minutos. Vide Equação 2 - Determinação da Energia Cinética de uma Chuva.

$$R = EcI30 = \sum (Ec.I30) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde “EcI30” é o índice de erosão em t.m.ha-1.mm.h-1, “Ec” é a energia cinética da chuva em t.m.ha-1.mm e “I” é a intensidade de chuva do intervalo considerado, em mm.h-1.I30 = máxima intensidade da chuva em 30 min, em mm.h-1.

Portanto, para obter o valor do fator R foi utilizada a equação (3).

$$Y = 146,86 + 55,20X \quad (\text{Eq. 3})$$

$$K = (7,48 \cdot 10^{-6}M + 4,48059 \cdot 10^{-3}P) - (6,31175 \cdot 10^{-2}DMP + 1,039657 \cdot 10^{-2}R) \quad (\text{Eq. 4})$$

Sendo “Y” = variável dependente que resulta no índice mensal de erosividade das chuvas (EI30 mensal), e o somatório dos EI30 mensais ao longo de 12 meses resulta no EI30 anual e “X” = variável independente, a qual é determinada pela equação adaptada por Neves & Lollo (2022): $Rc = p^2.P-1$.

Sendo, “Rc” = coeficiente de relação da chuva, “p” = precipitação média mensal em mm e “P” = precipitação média anual em mm.

2.2 Determinação do Fator K de Erodibilidade do Solo

O fator K pode ser definido como a média de perda de solo de um local pelo índice de erosão da chuva. Esse fator está relacionado às propriedades físicas e químicas do solo, representado o grau de erosão de diferentes tipos de solo quando submetidos às mesmas condições de chuva, declive, manejo e práticas conservacionistas. Neste trabalho será utilizado a equação 4 apresentada por Pinheiro et al. (2022), para solos do Brasil:

Sendo, “M” = (areia fina + silte) x [(areia fina + silte) + (areia grossa)], “P” = valor de permeabilidade do solo, adotando os valores: 1 = muito baixa, 2 = baixa, 3 = baixa a moderada, 4 = moderada, 5 = moderada a rápida e 6 = rápida, “DMP” = diâmetro médio ponderado das partículas de solo (mm) e “R” = [areia grossa x (teor de

matéria orgânica.100⁻¹)]. O DMP é calculado através da equação 5:

DMP = diâmetro médio ponderado das partículas de solo (mm), definido pela Equação 5;

R = [areia grossa.(teor de matéria orgânica/100)].

$$DMP = [0,65 \times \text{areia grossa} + (0,15 \cdot \text{areia fina}) + (0,0117 \cdot \text{silte}) + 0,00024 \cdot \text{argila}] \cdot 100^{-1} \quad (5)$$

Para estimar a erodibilidade do solo (fator K) foi caracterizada os tipos de solo na área de estudo através do plano de informação que representa a distribuição de solos do Paraná elaborado pela EMBRAPA. Ao delimitar e identificar de forma espacial a distribuição de solos dentro da área de estudo, foram determinados pontos de amostragem com coordenadas (longitude e latitude) dos diferentes solos encontrados no perímetro da área de estudo para obter-se uma amostra de solos heterogênea. Por fim, com auxílio de GPS foi possível chegar e coletar as amostras nos pontos especificados.

Após a coleta das amostras, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Câmpus Pato Branco e para laboratório particular situado no município de Francisco Beltrão.

Determinação do Fator Topográfico LS

Silva (2022) adaptou a equação do fator LS através de dados de perdas de solo dos principais tipos de solo presentes no estado de São Paulo, com observações de talhões durante dez anos. A equação adaptada permite o cálculo de perdas médias de solo para diferentes graus de declive e comprimento de rampa, sendo expressa pela equação 6:

$$LS = 0,0984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde, “LS” = fator topográfico, “C” = comprimento de rampa em metros e “D” = grau de declive em porcentagem.

Foi utilizado o software ArcGIS 10.4 para determinar o fator LS. O comprimento de rampa foi determinado a partir do método do retângulo equivalente (equação 7).

$$C = A \cdot 4L^{-1} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde, “C” = comprimento médio de rampa (m), “A” = área de contribuição hídrica da bacia (m²) e “L” = somatório do comprimento de todos os cursos d’água da microbacia.

Determinação do Fator P e Prática Conservacionista

O fator P representa as práticas conservacionistas e corresponde à relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo. Os valores de P variam de 0 a 1 e além de serem relacionados às práticas conservacionistas, também são relacionados à declividade (%).

Na determinação do fator de práticas conservacionistas do solo (P) foi constatada a inexistência de práticas conservacionistas implementadas na área da bacia para solo exposto, sendo então atribuído o valor 1 (um) ao fator P, sendo as áreas de solo exposto, compostas por áreas de solo exposto, estradas, edificações e lavoura em pousio (Oliveira et al., 2022). Para a área de vegetação arbórea o valor de P foi especificado como sendo de vegetação primária, com valor de 0,01. Quanto às áreas de pastagem e agricultura, por se tratar de áreas de lavoura de plantio direto e pastagem plantadas em nível, foi adotado o valor de 0,5 (Silva, 2022).

Determinação do Fator C de Uso e Manejo do Solo

O fator C foi determinado conforme Tabela 1, varia de 0 a 1 onde áreas com nenhuma vegetação o fator tende a 1 e cobertura com floresta virgem tende a 0.

Para determinação do uso do solo foi utilizado imagens do satélite SENTINEL 2, com resolução de 10m. Realizada a composição das bandas foi criado o mosaico de imagens com objetivo de juntar todas as imagens em um só raster. Assim, foi executada a classificação supervisionada dos pixels em relação às classes: Vegetação Densa, Vegetação Rasteira/Agricultura e Solo Exposto. O fator C foi calculado para

diferentes datas (datas das amostragens de sólidos em suspensão no ponto de controle) com objetivo de relacionar o uso do solo e a concentração de sólidos nas datas amostradas.

Tabela 1 - Classes de uso e ocupação do solo e seus respectivos valores do fator C para o local de estudo

Classes de uso e ocupação do solo	Fator C	Bibliografia
Solo Exposto	1,00	Duarte (2022)
Pastagem	0,07	Arantes (2022)
Agricultura	0,0821	Duarte (2022)
Vegetação Arbórea	0,0004	Moura & Sopchaki (2022)

Determinação de Descarga Líquida

A descarga líquida pode ser definida como um volume de água que atravessa determinada

seção em um certo período, e pode ser expressa pela equação 8:

$$Q = V \cdot A \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde, “Q” é a Vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), “V” é a Velocidade do fluxo d’água ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) e “A” = Área da seção transversal do rio (m^2).

Logo, para a obtenção da vazão foram determinadas a área da seção de medição e a velocidade em diferentes pontos desta seção (Figura 2) e assim obter a velocidade média de cada seção utilizando um molinete. A localização da área da seção transversal foi atrás do Grupamento do Corpo de Bombeiros. Onde está localizada a estação fluviométrica Bombeiro Francisco Beltrão (código 02653067).

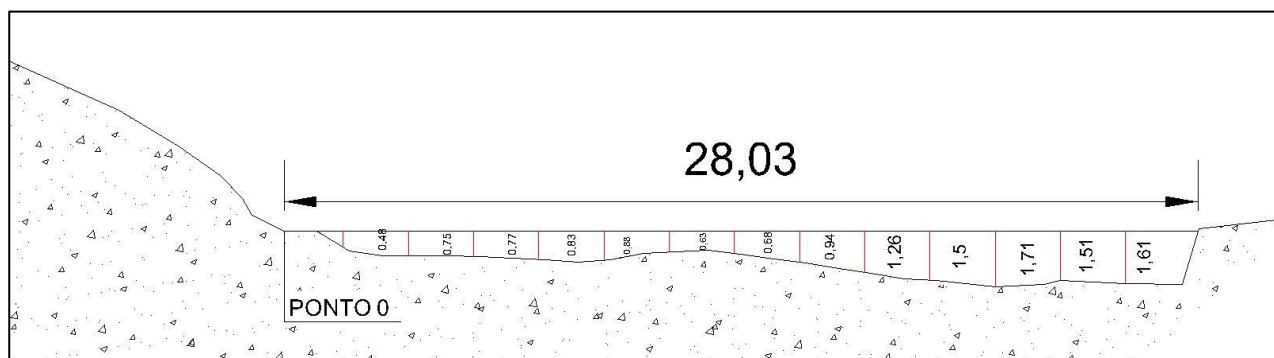


Figura 2 - Seção transversal do rio Marrecas no ponto de controle.

Determinação da Descarga de Sedimentos

A descarga de sólidos em suspensão depende da concentração de sólidos em suspensão e a vazão da seção transversal. Logo, foi realizada amostragens pontuais da concentração de sólidos em suspensão em cada vertical da seção transversal do rio Marrecas e as amostras foram encaminhadas para análise em laboratório. A determinação da descarga de sedimentos foi realizada utilizando a equação 9:

$$Q_s = Q \cdot CSS \cdot 0,0864 \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde, “Qs” é a descarga de sedimentos em $\text{Ton} \cdot \text{dia}^{-1}$, “Q” é a descarga líquida, vazão em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e “CSS” é a concentração de sedimentos em $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

2.8 Amostragem de Sólidos em Suspensão

Foram coletadas amostras de cada vertical da seção transversal do rio em estudo em cada dia

de amostragem. Em cada vertical o bote ficou posicionado de forma que pudesse ser realizado o trânsito do amostrador DH-48 de mesma velocidade proporcional em função da profundidade de cada vertical. Logo após as amostragens, as amostras foram encaminhadas para análise em laboratório para determinação da concentração de sólidos em suspensão.

Resultados e discussão

Fator R de Erosividade das Chuvas

O fator R foi calculado a partir da estação pluviométrica do Águas Paraná, localizada no Batalhão de Bombeiros de Francisco Beltrão (Latitude -26,07361111, Longitude -53,05694444), local escolhido também como ponto de controle deste estudo.

Portanto, o valor total de Erosividade encontrado para a bacia do rio Marrecas foi de $14.732 \text{ t} \cdot \text{m} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Fator Erodibilidade do Solo – K

A distribuição espacial do fator K está diretamente relacionada à variabilidade dos solos na área de estudo. Os solos da área de estudo por possuírem textura argilosa, apresentam em geral baixa erodibilidade. Além disso, à medida que o

grau de maturidade e profundidade diminui, o grau de erodibilidade aumenta (Caraminan & Moraes, 2022). Obteve-se variação de 0,0148 a 0,0436 nos valores do fator K, vide Tabela 2 e Figura 3.

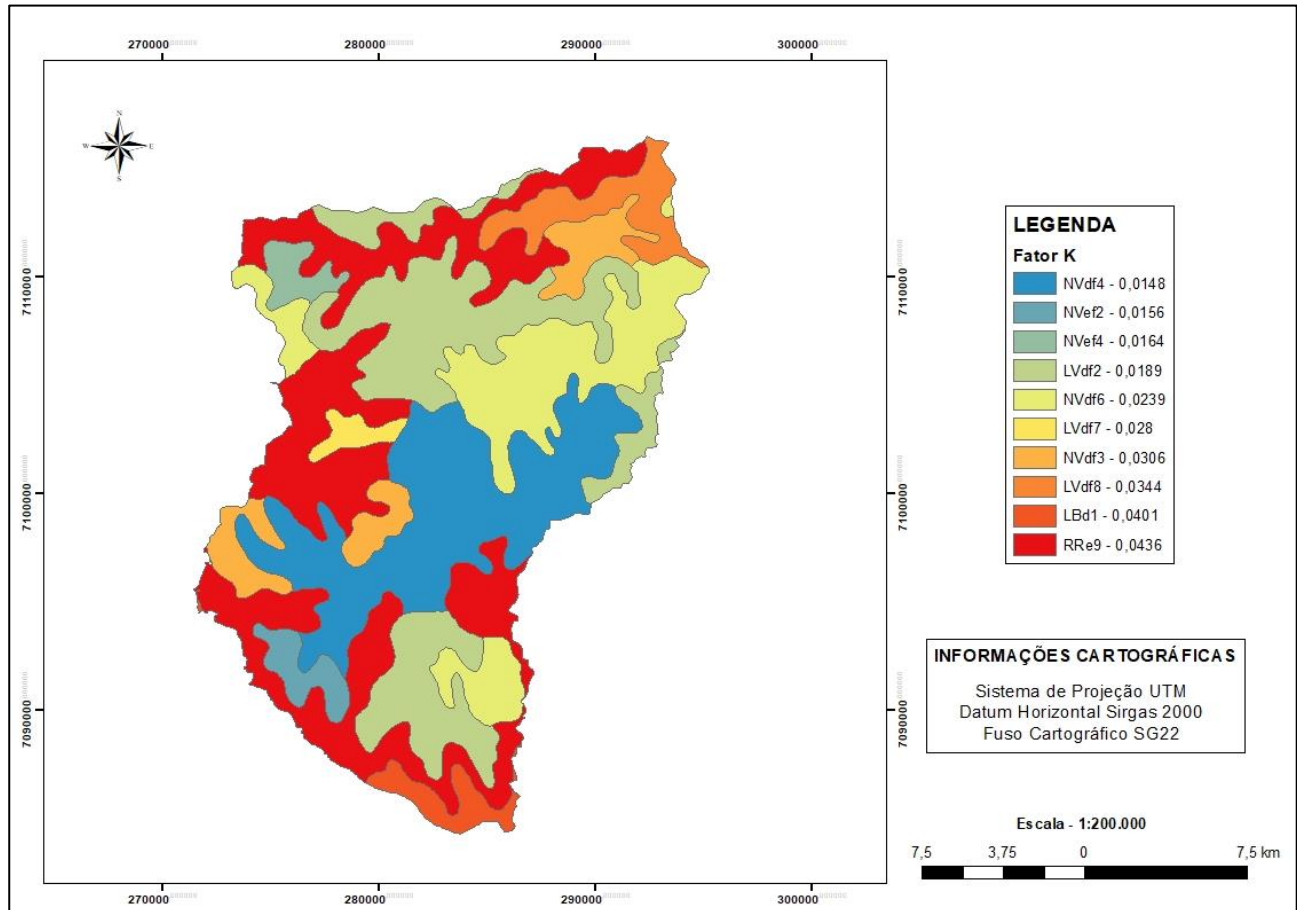


Figura 3 - Fator K para a área de estudo.

Tabela 1 - Relação do fator K e tipo de solo para a área de estudo.

Solo	Fator K	Área (ha)	% da área total
NVdf4	0,0148	8.747,624	19,39
NVef2	0,0156	861,2107	1,91
NVef4	0,0164	701,8856	1,56
LVdf2	0,0189	9.415,666	20,87
NVdf6	0,0239	6.400,754	14,19
LVdf7	0,028	486,2556	1,08
NVdf3	0,0306	2.614,2	5,79
LVdf8	0,0344	1.940,938	4,30
LBd1	0,0401	932,2276	2,07
RRe9	0,0436	13.013,12	28,85
Total		45.114,2	100

Fator Topográfico LS

No Fator LS (Figura 4), ocorreu variação de grande amplitude com valores de 0,03 a 180,18.

Ainda, analisando os valores obtidos, pode-se afirmar que os valores mais elevados são decorrentes de encostas mais acentuadas. As áreas com valores mais baixos, são áreas de topo de morro, chapas e de menor declividade, resultado

também encontrado por Guedes, Viegas & Aguiar (2022). De acordo com Caraminan & Morais (2022), o grau de declive que estabelece a velocidade de escoamento superficial, fator

significativo para determinar o potencial de carregamento pela erosão em relação ao tamanho e quantidade de material.

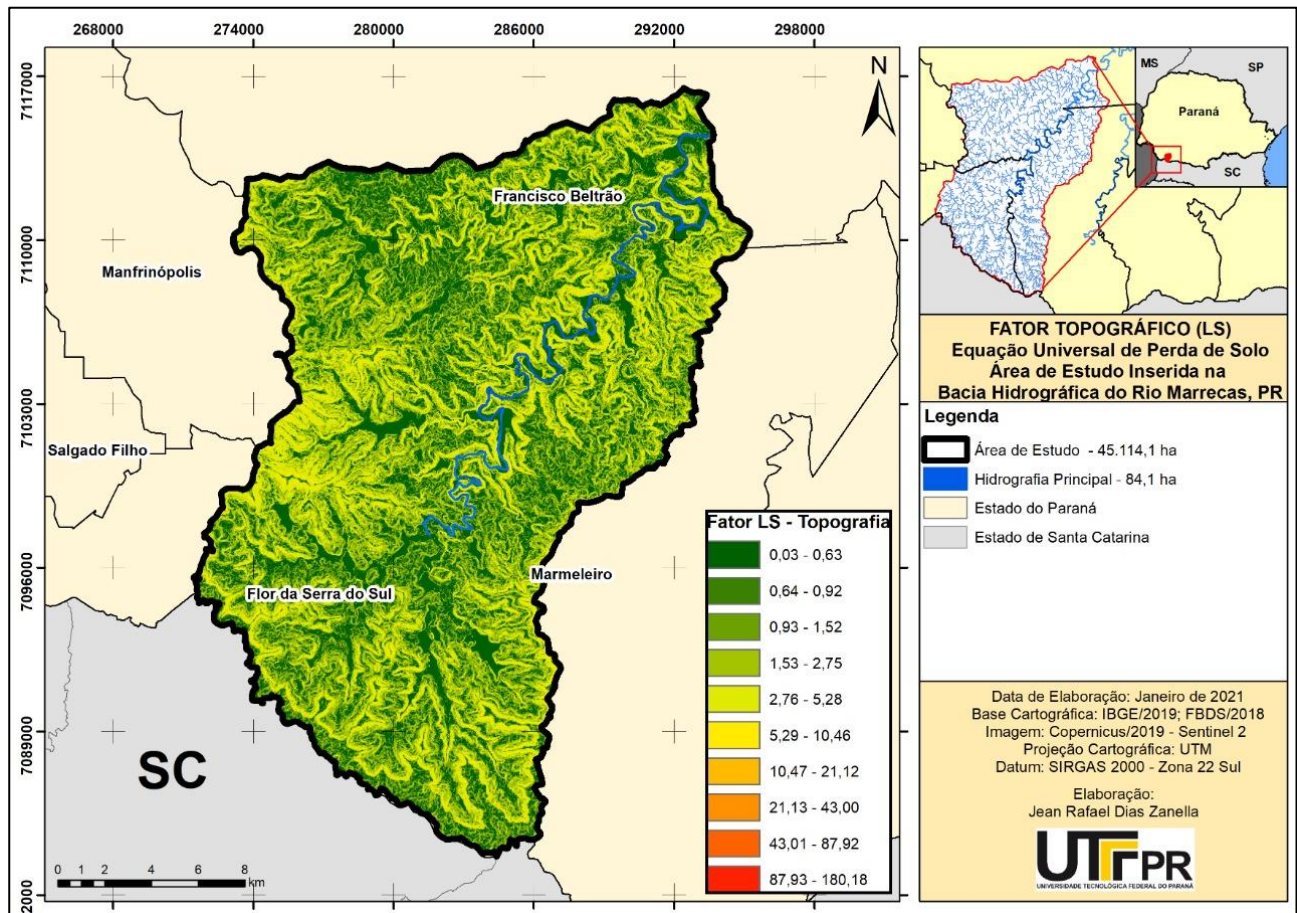


Figura 4 - Fator LS para a área de estudo.

Fator CP – Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas

Foram determinadas as características de cada forma de uso do solo com auxílio de estudos

elaborados para a região onde a área de estudo se encontra para as diferentes datas de amostragem conforme Tabela 3 e Figuras 5 a 10.

Tabela 3 - Distribuição do Fator CP.

CP	11/07/19	22/11/19	28/11/19	20/02/20	28/02/20	15/05/20	
	Área (%)						Média
0,00001 – 0,00002	31,21	30,85	31,64	31,95	28,10	33,03	31,114
0,00021 – 0,0005	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
0,00051-0,5	67,66	68,03	67,24	66,92	70,77	65,85	67,745
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100

DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DO FATOR C*P
Equação Universal de Perda de Solo
Data: 22 de novembro de 2019

Legenda

- Área de Estudo - 45.114,1 ha
- Estado do Paraná
- Estado de Santa Catarina

Intervalo Fator C*P

- 0,0005 - 0,5
- 0,0002 - 0,0005
- 0,0001 - 0,0002

Data de Elaboração: Janeiro de 2021
Base Cartográfica: IBGE/2018; FROD/2018
Imagem: Copernicus/2019 - Sentinel 2
Projeção Cartográfica: UTM
Datum: SIRGAS 2000 - Zona 22 Sul

Elaboração:
Jean Rafael Dias Zanella

UTPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA DO PARANÁ

Zanella, J. R. D., Tomazoni, J .C., Aguiar, W.

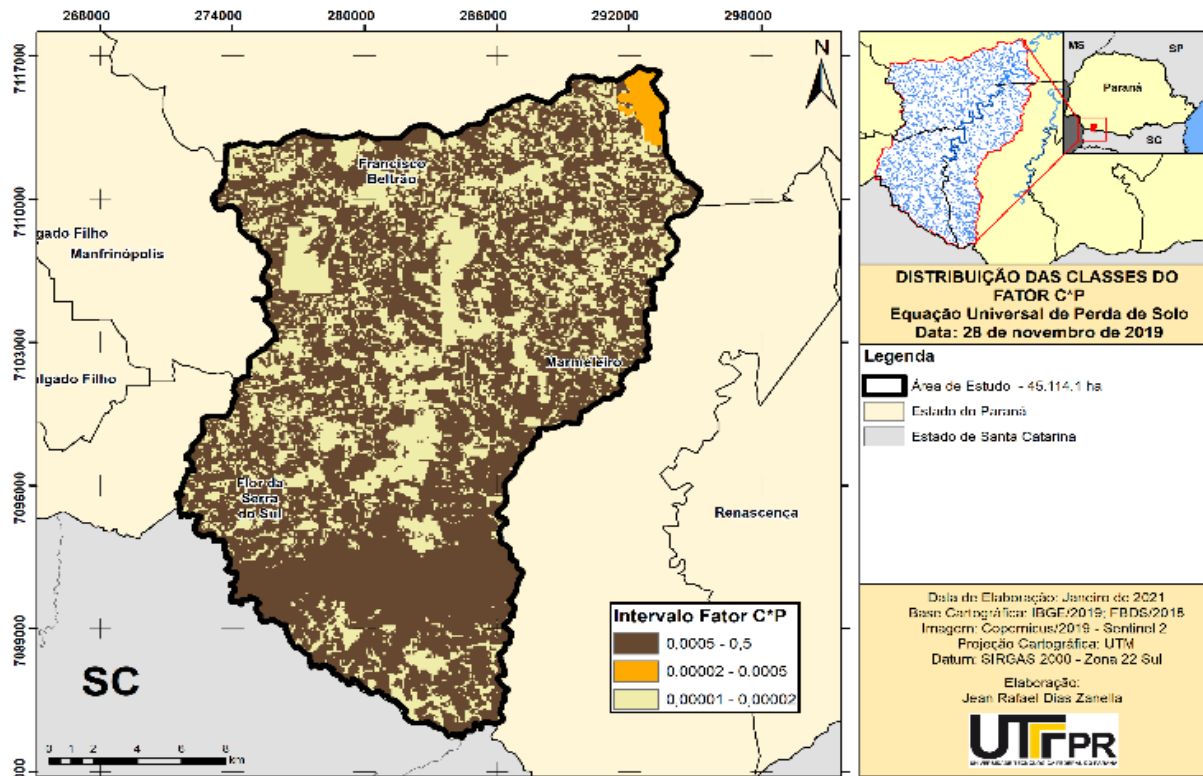


Figura 7 – Fator CP para 28/11/2019 para a área de estudo.

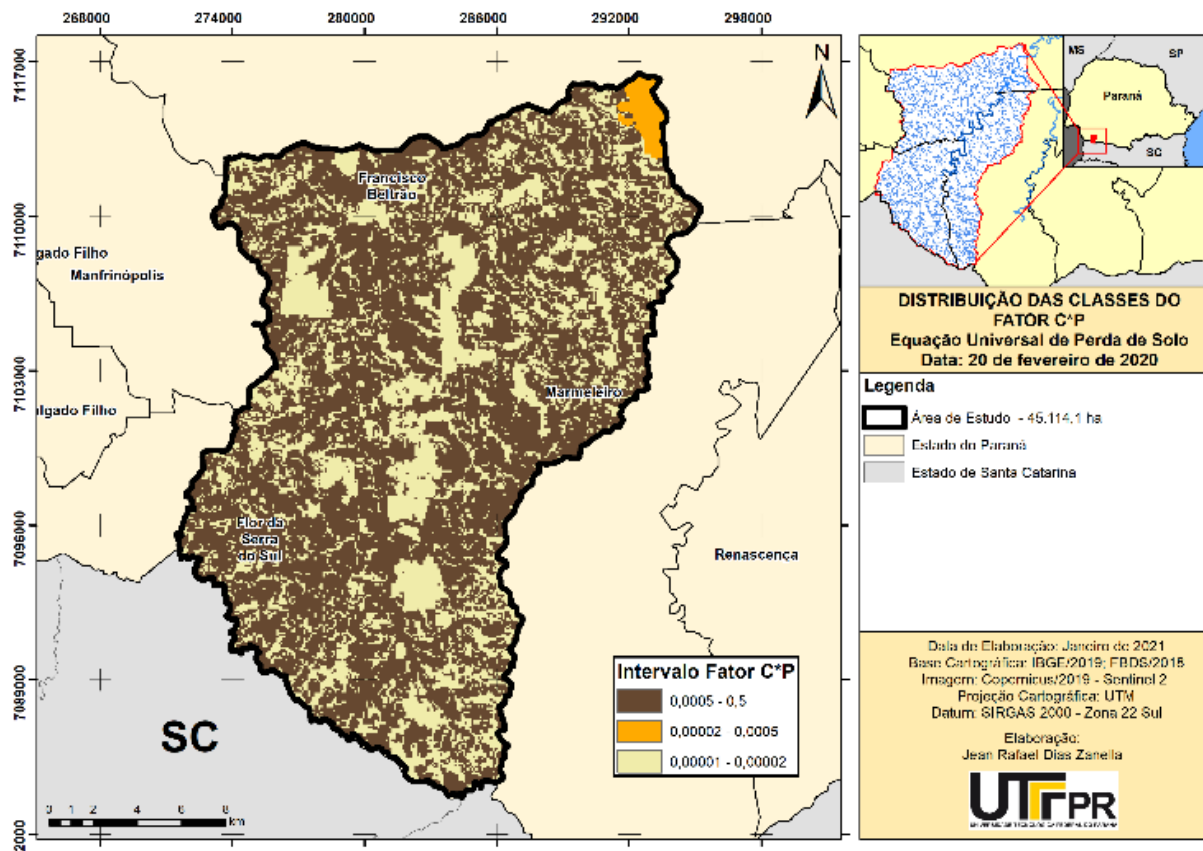


Figura 8 – Fator CP para 20/02/2020 para a área de estudo.

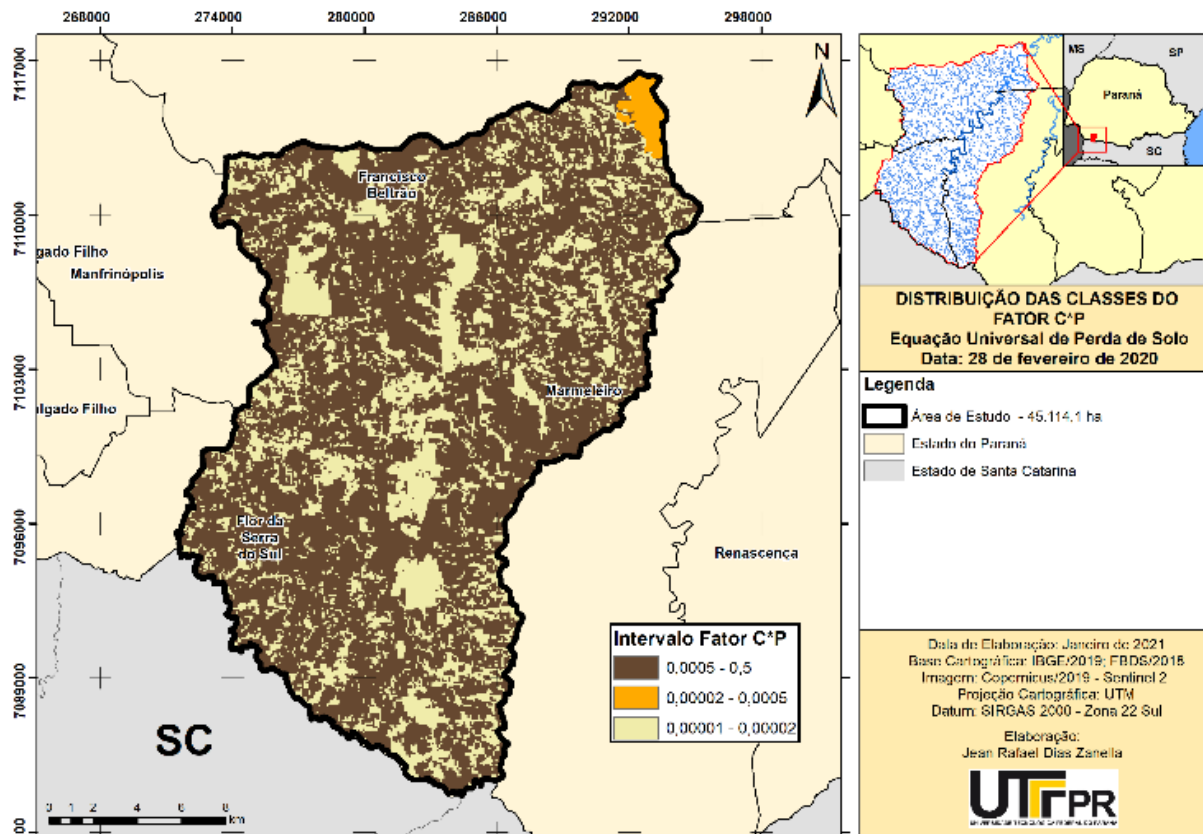


Figura 9 – Fator CP para 28/02/2020 para a área de estudo.

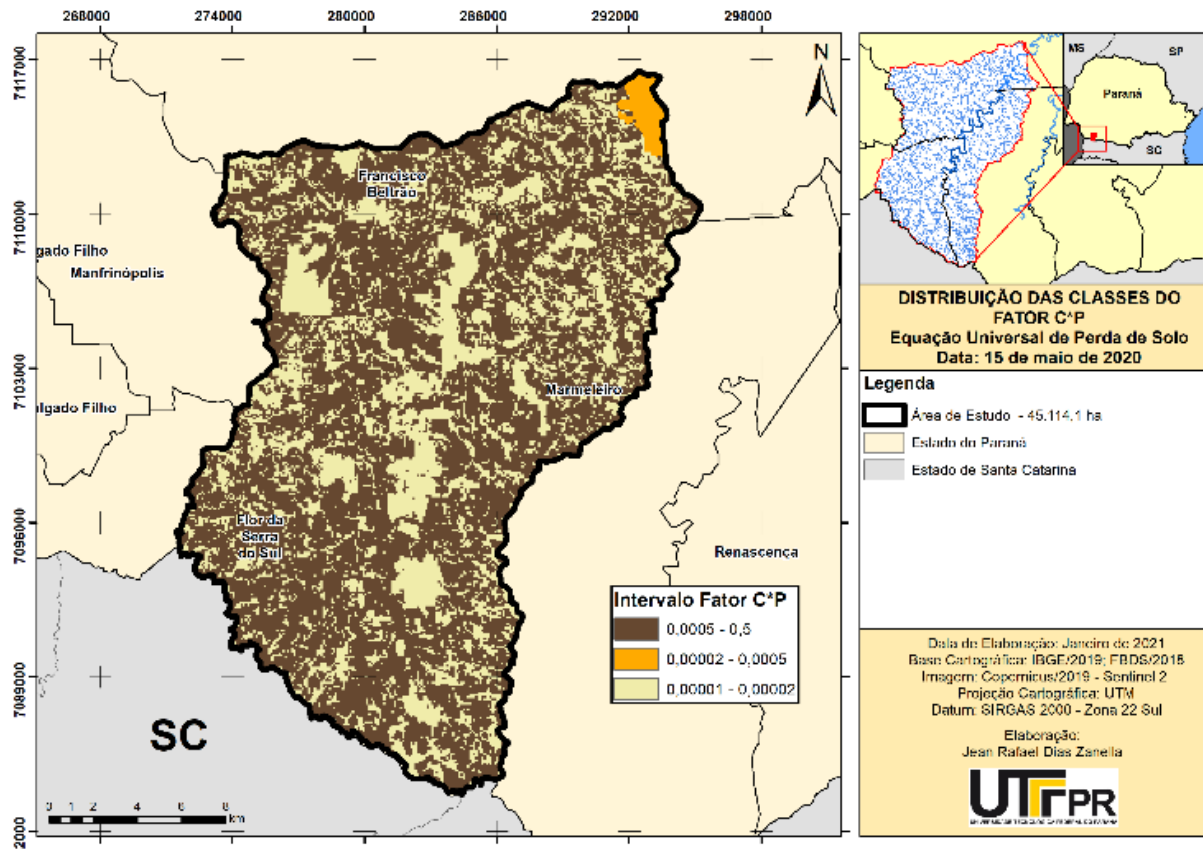


Figura 10 – Fator CP para 15/05/2020 para a área de estudo.

Perda de Solo – A

A perda de solo foi resultado da relação de todos os fatores da EUPS processados no ArcGIS 10.4.1. Foi calculado perdas de solo para as diferentes datas de monitoramento, conforme Figura 5. Os índices de perda de solo foram divididos em seis classes: normal, leve, moderada, forte, muito forte e catastrófica, conforme Tabela 4.

Para a data de 11/07/2019 obteve valores entre 0 e $>200 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. A maior parte da área de estudo para a correspondente área, cerca de 48,60% é considerada perda de solo normal e leve, cerca de 35,76%. Para a classe muito forte e catastrófico, cerca de 0,03 e 0,01 respectivamente

da área total de estudo. Logo, para 11/07/2019 84,36% do total da área foram classificadas em perdas de solo normal e leve. Observa-se que para esta data, 32% do solo da área de estudo é solo exposto, maior valor encontrado entre as datas (juntamente com a data de 20/02/2020), porém a classe do fator CP entre 0,005 e 5 (classe mais baixa) foi a maior parte da área de estudo, vide Figuras 11 e 16.

Logo, pode-se dizer que o fator R foi significativo para os baixos valores estimados de perda de solo, visto que, este valor foi consideravelmente menor para o mês de julho dentro do período de monitoramento do que os demais encontrados para os outros meses.

Tabela 2 - Perdas de solo para as diferentes datas de monitoramento.

Data	Perdas de solo (ton ha ⁻¹ a ⁻¹)	Área (ha)	Área (%)
11/07/2019	Normal (<0,5)	21.922,8	48,60
	Leve (0,5 - 5)	16.131,8	35,76
	Moderada (5,01 - 15)	6.537,7	14,49
	Forte(15,01 - 50)	494,0	1,10
	Muito Forte (50,01 - 200)	15,6	0,03
	Catastrófico (>200)	3,23	0,01
22/11/2019	Normal (<0,5)	16969,745	37,61
	Leve (0,5 - 5)	11162,601	24,74
	Moderada (5,01 - 15)	5938,2265	13,16
	Forte (15,01 - 50)	3118,529	6,91
	Muito Forte (50,01 - 200)	7083,7448	15,70
	Catastrófico (>200)	842,63172	1,87
28/11/2019	Normal (<0,5)	17420,987	38,63
	Leve (0,5 - 5)	11987,247	26,58
	Moderada (5,01 - 15)	6227,438	13,81
	Forte (15,01 - 50)	2761,9097	6,12
	Muito Forte (50,01 - 200)	6081,517	13,48
	Catatrófico (> 200)	622,04512	1,38
20/02/2020	Normal (<0,5)	27108,69	60,10142
	Leve (0,5 - 5)	8665,722	19,21237
	Moderada (5,01 - 15)	6268,411	13,8974
	Forte (15,01 - 50)	3024,542	6,705573
	Muito Forte (50,01 - 200)	31,98304	0,070908
	Catatrófico (> 200)	5,558613	0,012324
28/02/2020	Normal (<0,5)	27622,52	61,14
	Leve (0,5 - 5)	9740,59	21,56
	Moderada (5,01 - 15)	5291,33	11,71
	Forte (15,01 - 50)	2496,84	5,53
	Muito Forte (50,01 - 200)	22,63	0,05
	Catatrófico (> 200)	3,74	0,01
15/05/2020	Normal (<0,5)	18257,55	40,43
	Leve (0,5 - 5)	10898,90	24,14
	Moderada (5,01 - 15)	7116,40	15,76
	Forte (15,01 - 50)	2288,97	5,07
	Muito Forte (50,01 - 200)	5697,11	12,62
	Catatrófico (> 200)	894,42	1,98

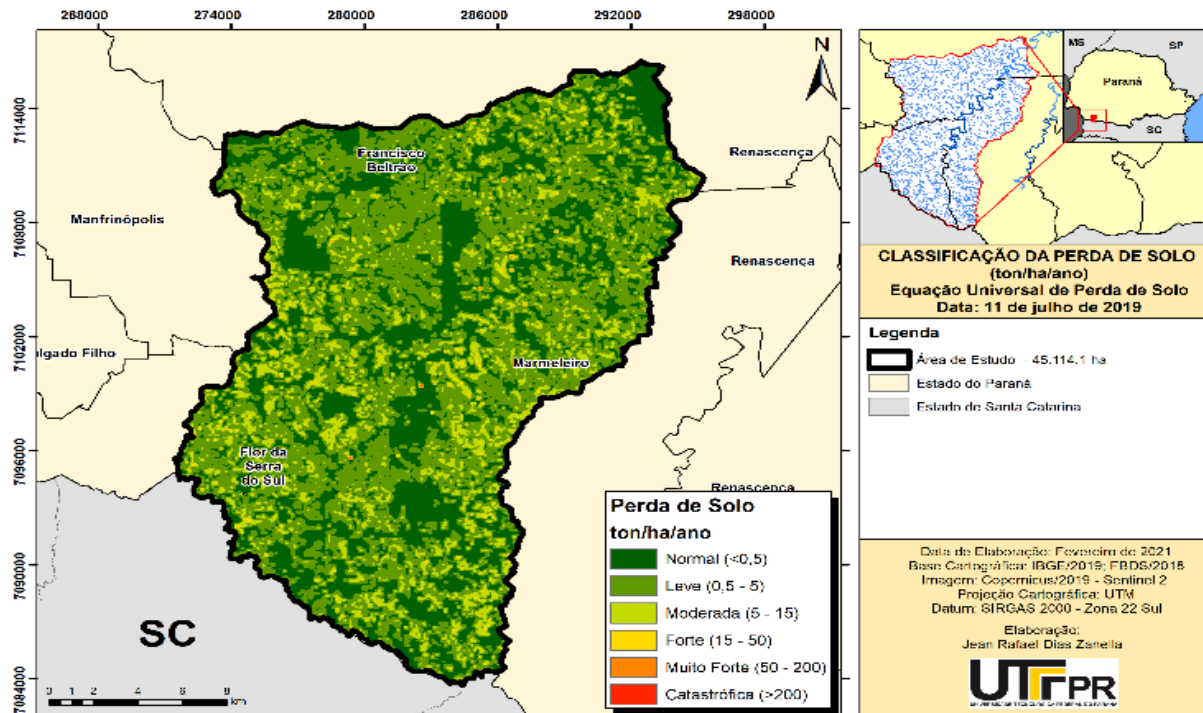


Figura 11 - Perdas de solo para 11/07/2019 para a área de estudo.

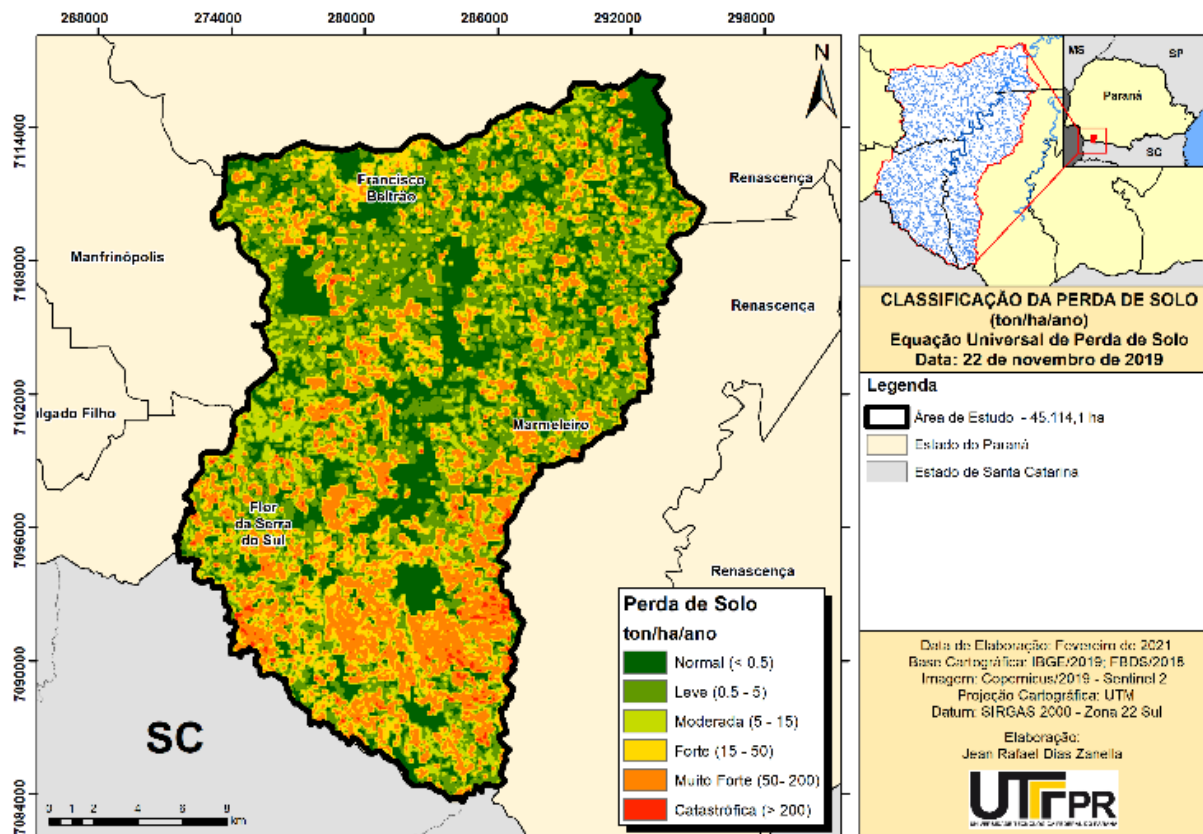


Figura 12 - Perdas de solo para 22/11/2019 para a área de estudo.

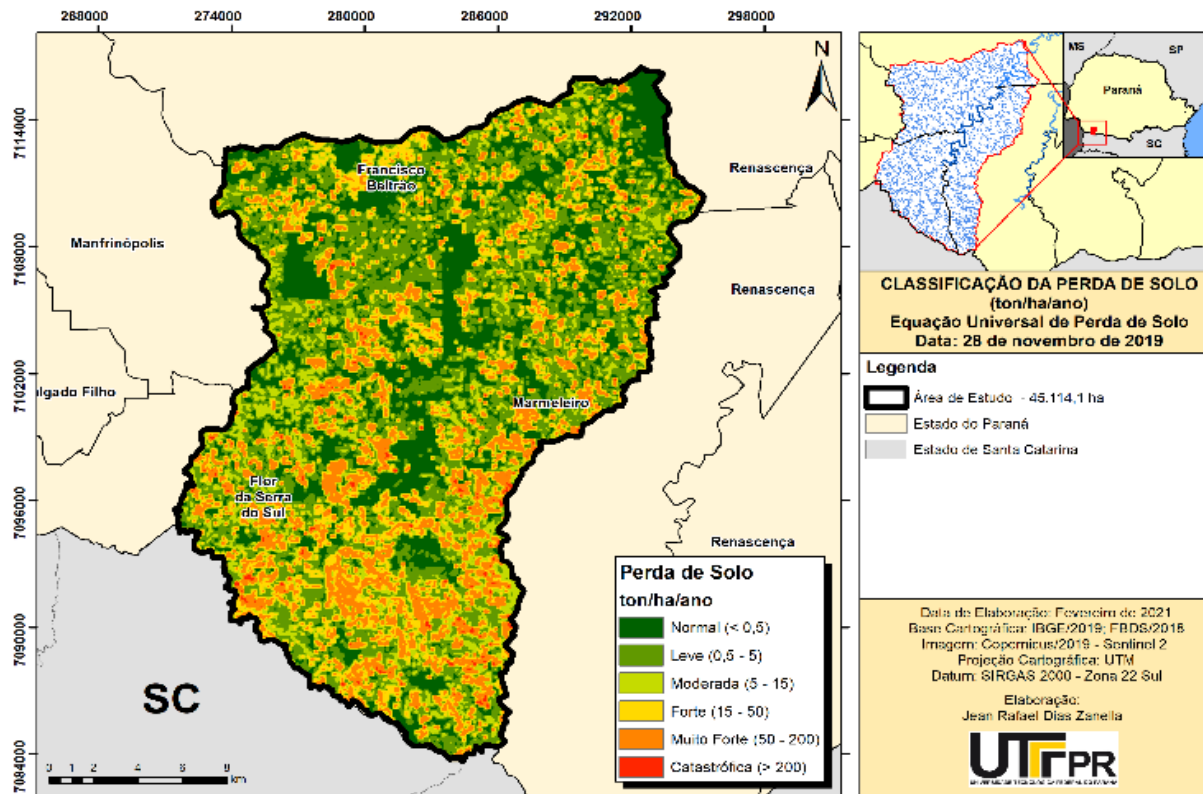


Figura 13 - Perdas de solo para 28/11/2019 para a área de estudo.

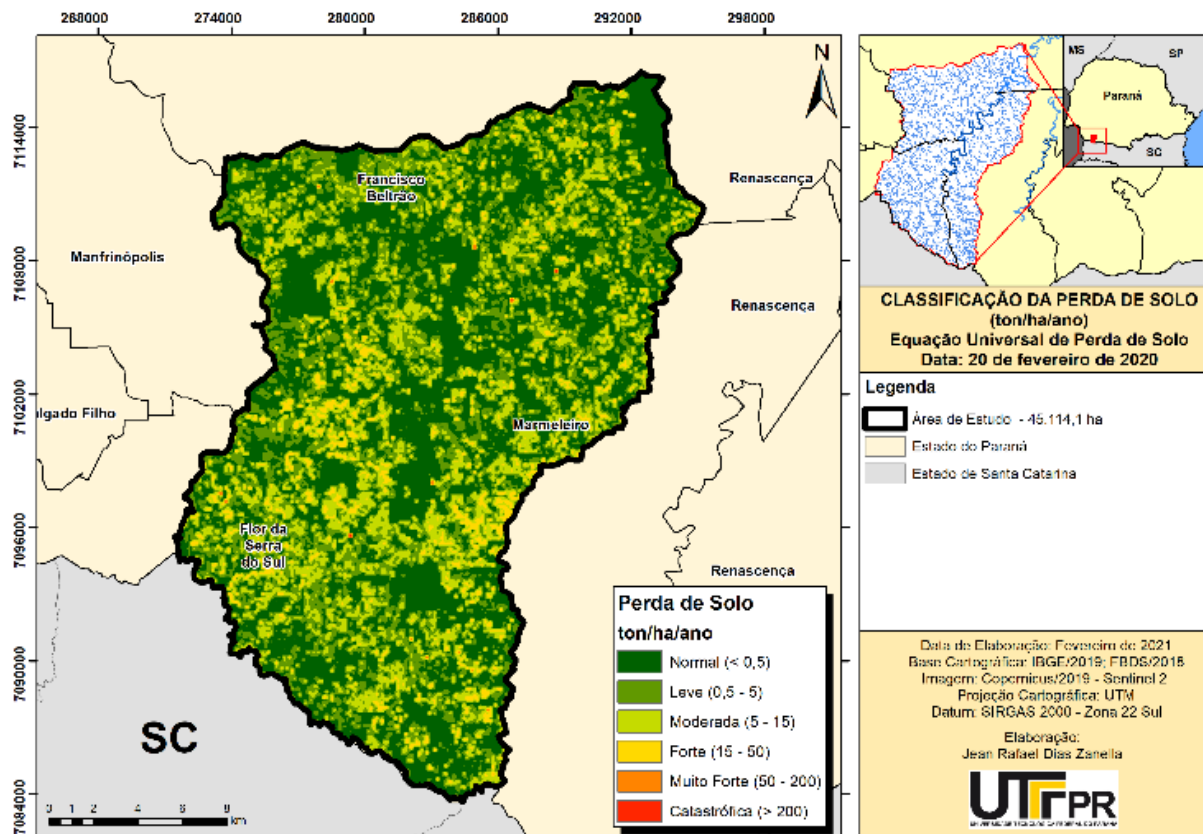


Figura 14 - Perdas de solo para 20/02/2020 para a área de estudo.

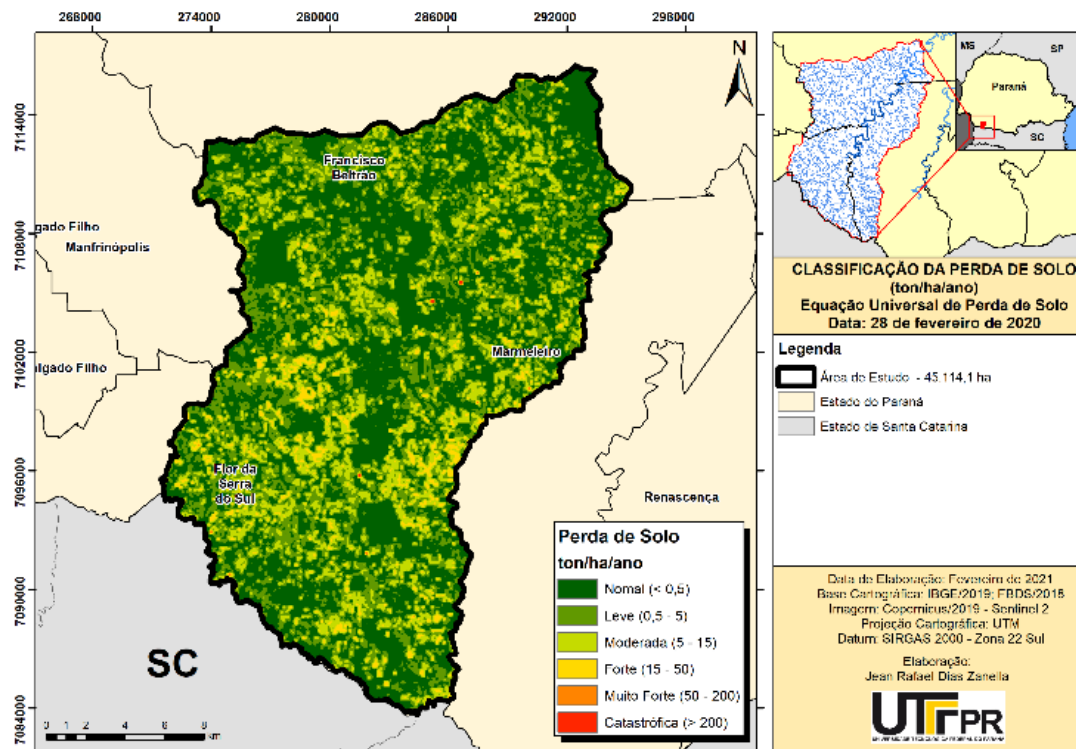


Figura 15 - Perdas de solo para 28/02/2020 para a área de estudo.

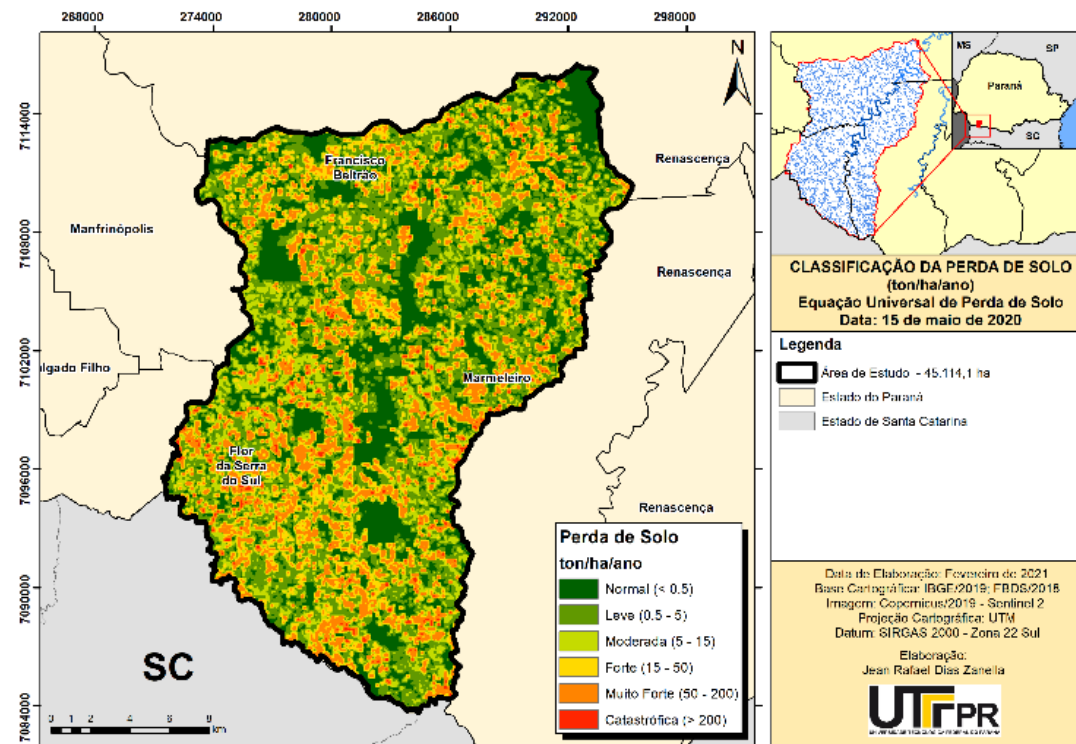


Figura 16 - Perdas de solo para 15/05/2020 para a área de estudo.

Descarga Líquida e Concentração de Sedimentos

Analisando as três primeiras amostragens, nos dias 11/07/2019, 22/11/2019 e 28/11/2019, observa-se que a concentração de sólidos em suspensão aumentou a medida que aumentou a vazão, $3,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $2,94 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $11,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente. Logo, pode-se afirmar que a

contribuição de sólidos suspensos na bacia em estudo recebeu contribuição de seus afluentes e região circunvizinha, visto que, ocorreu eventos de chuva no dia anterior das datas de amostragem (22/11/2019 e 28/11/2019).

Na amostragem do dia 20/02/2020, foi encontrado uma concentração de $81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ com uma vazão de $2,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, vazão com pouca

diferença da data de 11/07/2019. Observa-se que essa concentração é um pouco acima da encontrada na amostra 01, mesmo com a vazão menor. Já nas amostragens 05 e 06 foram encontrados valores de concentração de sólidos suspensos de 70mg.L⁻¹ e 109 mg.L⁻¹, e vazão de 4,41 m³.s⁻¹ e 3,98 m³.s⁻¹, respectivamente. A amostragem do dia 28/11/2019, foi realizada na maior vazão encontrada de todas as amostragens realizadas. Maiores detalhes videm Tabela 5.

Tabela 3 -Descarga líquida e concentração de sedimentos em suspensão.

Data de amostragem	Cota (m)	Concentração de sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)
11/07/2019	2,04	68	3,0
22/11/2019	2,01	49	2,6
28/11/2019	2,72	91	15,5
20/02/2020	1,9	81	1,4
28/02/2020	2,2	70	5,2
16/05/2020	2,15	109	4,8
16/03/2021	2,43	8	9,55
17/03/2021	2,43	7	9,55
22/03/2021	2,43	10	9,55
28/03/2021	2,51	12	11,51

Descarga de Sedimentos

Os valores de produção de sedimentos para os eventos monitorados para a área de estudo foram obtidos através da equação 9 e podem ser verificados na Tabela 6. A data com maior descarga de sedimentos, bem como, maior vazão, foi em 28/11/2019 com 89,83 ton.dia⁻¹ e vazão de 11,42 m³.s⁻¹. Já a data com menor descarga de sedimentos foi em 22/11/2019 com 12,47 ton.dia⁻¹ e vazão de 3,15 m³.s⁻¹.

No entanto, verifica-se que para a vazão de 2,29 m³.s⁻¹ foi calculada a descarga de sedimentos de 16,02 ton.dia⁻¹, resultado maior do que para a vazão de 2,94 m³.s⁻¹ que foi de 12,47 ton.dia⁻¹. Isso pode estar relacionado com o uso e ocupação do solo para as datas monitoradas. Ao comparar o uso do solo para a data de 22/11/2019 e 20/02/2020, observa-se que há maior quantidade de área de solo exposto para a data de 20/02/2020, 4% a mais. Logo, por mais que a média mensal de precipitação para o mês de novembro de 2019 seja maior que a média mensal de fevereiro de 2020 em ambas as datas ocorreram eventos de precipitação e quantidade área de solo exposto para a data de 20/02/2020 é maior do que para a data de 22/11/2019 e uma quantidade maior de sedimentos pode ter sido carreados para a bacia da área de

estudo, visto que há uma diferença significativa de concentração de sedimentos para ambas as datas, 41 mg.L⁻¹ para 22/11/2019 e 81 mg.L⁻¹ para 20/02/2020.

Tabela 4 - Descarga de sedimentos.

Data de amostragem	Descarga de Sedimentos (t.dia ⁻¹)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)
11/07/2019	17,62	3,0
22/11/2019	11,00	2,6
28/11/2019	121,86	15,5
20/02/2020	9,79	1,4
28/02/2020	31,44	5,2
16/05/2020	45,20	4,8
16/03/2021	6,60	9,55
17/03/2021	5,77	9,55
22/03/2021	8,25	9,55
28/03/2021	11,93	11,51

Conclusões

Através da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), dados coletados em campo e uso de geotecnologias foi possível de determinar a ocorrência de erosão laminar na bacia hidrográfica que drena o alto e médio vale do rio Marrecas. A classe de perda de solo de maior ocorrência para todas as datas de amostragem na área de estudo foi a Classe Normal (<0,5 ton.ha⁻¹.ano⁻¹). Verificou-se que nas datas de ocorrência de maior precipitação (22/11/2019, 28/11/2019 e 15/05/2020) foram as datas em que as perdas de solo classificadas como Muito Forte foram maiores do que a média.

A perda de solo na bacia possui grande influência do fator topográfico LS, bem como, eventos extremos de precipitação que está diretamente relacionado ao fator R (Erosividade).

Com os dados coletados de cota e vazão foi possível determinar a curva-chave. Além disso a correlação entre os dados de cota e vazão foi de 0,9729. A partir da curva-chave de sedimentos foi possível estimar a descarga de sedimentos para a área de estudo.

Verificou-se que é possível obter dados aceitáveis em amostragens utilizando um ponto de controle. A concentração de material transportado no Rio Marrecas está diretamente relacionada com a quantidade de precipitações, sendo o maior valor (109 mg.L⁻¹) registrado no mês de maio de 2020.

Além disso, foi possível estimar a produção de sedimentos por meio da vazão e concentração de sedimento no ponto de controle determinado par ao estudo no Rio Marrecas. A data que registrou maior quantidade de descarga de sedimentos no Rio Marrecas (121,86 ton.dia⁻¹),

também foi a data que registrou maior vazão do mesmo rio (15,5 m³.s⁻¹).

Verificou-se a importância do monitoramento hidrossedimentológico em eventos de diferentes intensidades permitindo a criação da curva-chave de sedimento. O estudo mostra evidências fortes de erosão laminar no período e área de estudo. Fica evidente que em períodos extremos de precipitação há maior ocorrência de erosão laminar.

Referências

- Arantes, A. E. (2022). Suscetibilidade à Erosão Laminar e Linear da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e a sua Relação com o Uso e Cobertura da Terra em 2012. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(06), 3032-3046.
- Caraminan, L. M., & de Moraes, E. S. (2022). 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*, 23(1), 1117.
- Duarte, P. G. D. S. (2022). Métodos de machine learning aplicados à classificação do uso e ocupação do solo na microbacia do Lago Igapó na cidade de Londrina/Pr (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Fiorese, C. H. U., & de Aguiar, T. O. (2022). Potencial natural à erosão na sub-bacia hidrográfica do córrego Rico, no município de Muniz Freire (ES). *Caderno de Ciências Agrárias*, 14, 1-6.
- Guedes, F. C., Viegas, J. A., & Aguiar, M. C. P. (2022). Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) na Bacia Hidrográfica Urbana do Córrego Carneirinhos, na cidade de João Monlevade-MG. *Research, Society and Development*, 11(7), e40411730094-e40411730094.
- Holanda, F. S. R., Dantas, J. O., dos Santos, I. T. B. F., Junior, V. F. R., dos Santos, M. H., & Santos, L. D. V. (2022). Dinâmica hidrossedimentológica do rio Poxim Açú à jusante da Barragem Jaime Umbelino em Sergipe, Brasil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 7(2), 073-082.
- Moura, L. F. S., & Sopchaki, C. H. (2023). Modelagem espacial da erosão por perda de sedimentos para a região da sub-bacia do rio aracoiaba-ceará e sua influência no assoreamento dos cursos fluviais. *Boletim Paulista de Geografia*, 109(1), 213-234.
- Moura, J. D. (2022). Validação do método de geoprocessamento na estimativa de perdas de solo por erosão laminar, em pequenas propriedades rurais, pela comparação com o método a campo (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Neves, M. D. P., & Lollo, J. A. D. (2022). Erosividade da Chuva no Município de São Pedro-SP: Análise entre 1960-2020. *Sociedade & Natureza*, 34.
- Oliveira, U. C., de Souza Cidral, W. R., de Souza Silva, I., & Evangelista, J. P. (2022). Distribuição espacial da perda de solo na bacia hidrográfica do rio Itacolomi, Ceará, Brasil. *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, 20(2), 151-151.
- Oliveira, L. D., dos Santos Alves, W., Castro, R. M., Pereira, M. A. B., Moraes, W. A., & Possa, E. M. (2023). Estimativa da erosão hídrica em uma bacia hidrográfica no estado de Goiás (Brasil) por meio de modelagem e inteligência geoespacial. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(01), 081-100.
- Pinheiro, R. J. B., Nummer, A. V., Fernandes, L. P., & Bastos, C. A. B. (2022). Erodibilidade obtida por métodos indiretos e diretos de uma voçoroca localizada na região oeste do estado do Rio Grande do Sul-Brasil. *Geotecnia*, (154), 25-46.
- Pollnow, G. E., Bonow, R. C., Mayer, F. A., & Morales, M. M. G. (2022). Diversificação produtiva e agroecologia: uma experiência com sementes varietais e crioulas em áreas cultivadas com tabaco do município de Arroio do Padre, Rio Grande do Sul. *Cadernos de Agroecologia*, 17(3).
- Rizzo, F. A., Cunha, D. C. da, & Tonello, P. S. (2023). Análise da vulnerabilidade dos solos quanto à erosão hídrica na bacia do Córrego Pequiá, Açailândia, Maranhão. *Revista do Departamento de Geografia*, 43, e192740-e192740.
- Silva, P. R. D. (2022). Análise prospectiva de diferentes cenários de uso do solo e práticas de manejo e conservação de água e solo em bacias hidrográficas agrícolas (Doctoral dissertation, Universidade de Brasília).