

## ***Estimativa de perda de solos por erosão laminar em duas bacias hidrográficas do Oeste Paranaense***

Na temática da gestão ambiental, a erosão dos solos é um dos problemas recorrentes, que pressupõe planejar o uso do solo de acordo com as suas potencialidades e limitações. O presente estudo teve como objetivo determinar o potencial de erosão laminar (estimativa de perda anual de solo) para a Bacia do Rio São Francisco Falso (BSFF) e Bacia do Rio São Francisco Verdadeiro (BSFV), localizadas na região oeste do Estado do Paraná (Brasil), por meio da espacialização da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), utilizando-se o software QGis, a partir de álgebra de mapas. Também foi elaborada a carta de Tolerância de Perda de Solos (T). A partir da espacialização da EUPS verificou-se que a maior parte da área em estudo (56,58%) se concentrou em uma faixa de baixa estimativa de perda anual de solo (0 a 2,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Regiões de alta vertente, onde o relevo é menos dissecado e predominam os Latossolos, apresentaram valores menores para estimativa de perda anual de solo (0 a 10,00 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), enquanto nas regiões de média e baixa vertente, onde há a predominância de solos do tipo Nitossolo e maior dissecação do relevo, verificou-se valores mais elevados (10,00 a 50,00 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> ou > 50,00 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Frações de 15,68% e 18,27% das áreas das BSFV e BSFF, respectivamente, apresentaram valores de estimativa de perda anual maiores que sua respectiva tolerância de perda.

**Palavras-chave:** Erosão dos solos; Bacias hidrográficas; Sensoriamento remoto; Sistema de informações geográficas (SIG).

## ***Estimative of soil loss due to laminar erosion in two river basins of Western Paraná***

In environmental management, soil erosion is one of the recurrent problems, which presupposes planning land use according to its potentialities and limitations. This study had as objective to determine the potential of laminar erosion (estimated annual soil loss) for the São Francisco Falso River Basin (SFFRB) and São Francisco Verdadeiro River Basin (SFVRB), located in the western region of the State of Paraná (Brazil), through the spatialization of the Universal Soil Loss Equation (USLE), from map algebra using the Software QGis. The Soil Loss Tolerance (T) map was also elaborated. From the spatialization of USLE it was found that most of the area under study (56.58%) was concentrated in a low estimate range of annual soil loss (0 to 2,5 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>). Regions of high slope, where the terrain is less dissected and the Latosols predominate, presented lower values for estimating annual soil loss (0 to 10,00 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>), while in the medium and low slope regions, where there is a predominance of Nitosol soils and greater dissection of the terrain, higher values were found (10,00 to 50,00 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> or > 50,00 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>). Fractions of 15,68% and 18,27% of SFVRB and SFFRB areas, respectively, presented annual soil loss estimated values higher than their respective loss tolerance.

**Keywords:** Soil erosion; Watersheds; Remote sensing; Geographic information system (GIS).

Topic: **Geomorfologia**

Received: **20/12/2021**

Approved: **21/02/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Fábio Luiz Fronza** 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/8979036543936916>

<http://orcid.org/0000-0002-8031-7205>

[fabio\\_fronza@hotmail.com](mailto:fabio_fronza@hotmail.com)

**Anderson Sandro da Rocha** 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/1429629017719392>

<http://orcid.org/0000-0001-9225-8209>

[andersonsdr@gmail.com](mailto:andersonsdr@gmail.com)

**Adelmo Lowe Pletsch** 

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/1731491755917260>

<http://orcid.org/0000-0002-4334-2815>

[adelmo@utfpr.edu.br](mailto:adelmo@utfpr.edu.br)



DOI: 10.6008/CBPC2318-2881.2022.001.0012

### **Referencing this:**

FRONZA, F. L.; ROCHA, A. S.; PLETSCHE, A. L. Estimativa de perda de solos por erosão laminar em duas bacias hidrográficas do Oeste Paranaense. *Nature and Conservation*, v.15, n.1, p.129-140, 2022.

DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2022.001.0012>

## INTRODUÇÃO

A erosão dos solos é um dos processos que compõem a dinâmica da natureza, caracterizando-se por ser de extrema relevância quando associada aos parâmetros de conservação dos solos, gestão de recursos hídricos e produtividade agrícola. Em um contexto de crescente expansão da ocupação rural e urbana das bacias hidrográficas, as práticas e atividades agropecuárias, remoção da cobertura vegetal natural do solo, degradação de matas ciliares, utilização da água e alteração do curso de rios são comumente caracterizados como agentes de fomento aos processos naturais de erosão e transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica (CASTRO et al., 2013).

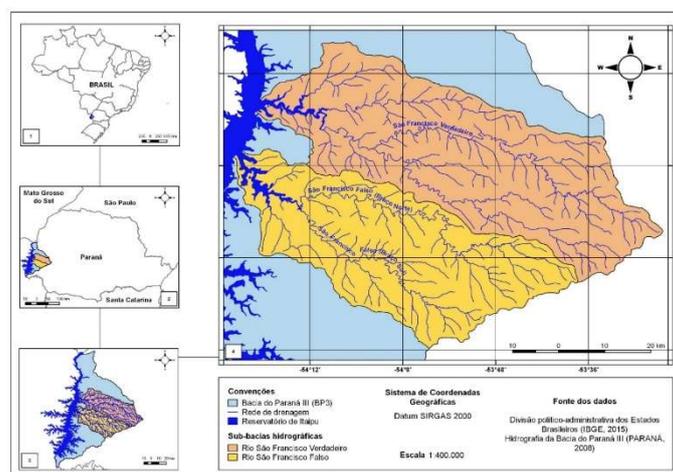
Além das consequências diretas da erosão em bacias hidrográficas, pode-se citar outros agravantes que comprometem, também, os demais usuários da bacia que fazem diferentes usos da água, como por exemplo a redução da qualidade da água para usuários à jusante dos pontos de contaminação, o bloqueio do fluxo de água para sistemas de irrigação, o aumento do risco de enchentes e inundações, redução da expectativa da vida útil de reservatórios e também a escassez de água em determinadas regiões (FFOLIOTT et al., 2013; SAKINATU et al., 2017; MEDEIROS et al., 2019).

Na Bacia do Paraná 3 (BP3), que constitui um conjunto de tributários diretos da área que compreende o reservatório de Itaipu, diferentes autores têm indicado a necessidade controle de erosão do solo (FRUET, 2016; BADE et al., 2016; ROCHA et al., 2018). Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo determinar estimativa da perda de solos por erosão laminar nas bacias hidrográficas dos Rios São Francisco Falso (BSFF) e São Francisco Verdadeiro (BSFV), constituintes da Bacia do Paraná 3 (BP3), situadas na região oeste do Estado do Paraná, por meio da utilização da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Localização da área de estudo

A área de estudo corresponde às sub-bacias hidrográficas do Rio São Francisco Falso e Rio São Francisco Verdadeiro, que se localizam na região Oeste do Estado do Paraná, e encontram-se inseridas na unidade hidrográfica do Paraná 3 (Bacia do Paraná 3 - BP3), como pode ser observado na Figura 1.



**Figura 1:** Localização das sub-bacias dos Rios São Francisco Falso e Verdadeiro.

As bacias abrangem um total de 17 municípios: Cascavel, Céu Azul, Diamante D'Oeste, Entre Rios do Oeste, Marechal Cândido Rondon, Matelândia, Missal, Ouro Verde do Oeste, Pato Bragado, Quatro Pontes, Ramilândia, Santa Helena, Santa Tereza do Oeste, São José das Palmeiras, São Pedro do Iguazu, Toledo e Vera Cruz do Oeste.

### Sistema De Informações Geográficas (SIG)

Todos os procedimentos envolvendo técnicas de geoprocessamento foram realizados em ambiente SIG, no software QGis 2.18.17, por meio do qual desenvolveu-se um conjunto de mapeamentos referentes aos fatores da EUPS, que ao final foram combinados utilizando-se a calculadora *raster* para se obter a estimativa de erosão do solo na área de estudo. Para todos os procedimentos, definiu-se um sistema de coordenadas métricas fazendo-se uso da Projeção Cônica Equivalente de Albers, e para a representação nas cartas temáticas foi utilizado o sistema de coordenadas geográficas. A escala de representação adotada para todas as cartas foi de 1:400.000.

### Determinação da estimativa de perda de solo por meio da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS)

A determinação da estimativa de perda média anual de solos causada por erosão laminar, seguiu o modelo proposto por Wischmeier et al. (1978), denominado EUPS, expresso pela Eq. 1:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

A - perda média anual de solo ( $t \text{ ha}^{-1}$ );  
 R - erosividade das chuvas ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );  
 K - erodibilidade dos solos ( $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ );  
 LS - fator comprimento de rampa e declividade;  
 C - forma de uso e cobertura do solo;  
 P - práticas conservacionistas.

### Fator erosividade das chuvas (R)

O fator erosividade das chuvas foi calculado, utilizando-se das isoietas de precipitação da BP3 obtidas no Plano da BP3 (PARANÁ, 2014), por meio da Eq. 2, proposta por Bertoni et al. (2017):

$$R = 67,355 \times \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,85} \times 12 \quad (2)$$

R - erosividade da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );  
 r - precipitação mensal média em milímetros;  
 P - precipitação anual média em milímetros.

### Fator erodibilidade dos solos (K)

O fator K pode ser obtido a partir da Eq. 3, proposta por Mannigel et al. (2002):

$$\text{Fator K} = \frac{(\% \text{Areia} + \% \text{Silte})}{\left(\frac{\% \text{Argila}}{100}\right)} \quad (3)$$

Onde: %Areia, %Silte e %Argila correspondem, respectivamente, às frações de areia, silte e argila do solo em estudo. Para se obter o fator K realizou-se a manipulação da tabela de atributos dos dados vetoriais referentes a carta de solos do Estado do Paraná (PARANÁ, 2008), que foi recortada para a área de estudo.

Durante a manipulação, criou-se uma nova coluna que foi preenchida com os valores de K presentes

na literatura e já calculados para a região (Tabela 1), relacionados aos diferentes tipos de solo, tendo sido estes classificados em dois níveis categóricos, de acordo com suas Ordem e Subordem.

Os dados apresentados na Tabela 1, de acordo com Leite (2016), foram obtidos a partir das publicações dos levantamentos de solo realizados pela EMBRAPA.

**Tabela 1:** Fator K para os diferentes tipos de solo da área de estudo.

Classes de solo	Fator K (t ha h ha <sup>-1</sup> MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )
Argissolo Vermelho	0,10070
Gleissolo Háptico	0,00720
Latossolo Vermelho	0,00360
Neossolo Litólico	0,01780
Nitossolo Vermelho	0,0180

### Fator comprimento de rampa e declividade (LS)

O comprimento de rampa (L) foi gerado utilizando-se a função *Slope Lenght* do pacote de ferramentas SAGA GIS, que compõe o QGis. Para tal, selecionou-se como dado de entrada o recorte do mosaico do Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizado pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (BRASIL, 2008).

Verificou-se a qualidade do dado gerado por meio da sobreposição dos divisores de água sobre a camada gerada, onde estes representavam um comprimento de rampa igual a zero. A partir destas linhas, o valor do comprimento de rampa aumenta conforme se aproxima do curso hídrico, onde atinge seu valor máximo.

Na calculadora *raster* realizou-se a multiplicação dos dados comprimento de rampa e declividade, utilizando-se também dos algoritmos do QGis, de maneira que se obteve o fator LS. O dado gerado foi então reclassificado em cinco diferentes classes (Tabela 2), utilizando-se a ferramenta *r.reclass* do GRASS GIS.

**Tabela 2:** Classes do fator LS.

Classe	Intervalo de valores do fator LS
1	0 a 2,01
2	2,01 a 5,00
3	5,01 a 08,00
4	08,01 a 12,00
5	> 12,00

### Fator da forma de uso e cobertura da terra (C) e fator das práticas conservacionistas (P)

Para obter o fator CP, produto dos fatores C e P, foi realizada a manipulação da tabela de atributos do vetor de uso e cobertura da terra da área de estudo, onde foram criadas colunas para os índices C e P. Tais valores foram atribuídos conforme aproximação expressa na Tabela 3.

**Tabela 3:** Valores aproximados de C e P de acordo com a metodologia de Bertoni et al. (2017).

Uso	Fator C	Fator P
Agricultura	0,1376	0,5
Pastagem	0,01	0,5
Vegetação	0,003	0,04

**Fonte:** Modificado de Tomazoni et al. (2005).

A aproximação para os valores escolhidos foi realizada a partir de dados obtidos na literatura

referente ao assunto. Utilizou-se para a forma de uso agricultura uma combinação de C e P referentes, respectivamente, a lavouras com plantio em contorno protegido por terraceamento. O mesmo procedimento foi utilizado para pastagem, onde a combinação foi pastagem com plantio em contorno protegido por terraceamento. Para vegetação, considerou-se vegetação secundária em estágio médio com cobertura vegetal natural de porte médio a baixo, e reflorestamento, ambos com serapilheira. Por fim, pela calculadora de campo, criou-se uma nova coluna a partir do produto das colunas de C e P, denominada CP.

### Fator A - perda média anual de solo

Para a obtenção do fator A, utilizou-se dos valores contidos nos *rasters* individuais dos fatores previamente obtidos, LS, R, K e CP. A partir da utilização da calculadora  *raster*, foi realizado o cálculo proposto pela metodologia da Equação Universal da Perda de Solo, sendo gerado o fator A. Os valores obtidos foram reclassificados em sete diferentes classes (Tabela 5).

**Tabela 5:** Classes de perda de solo.

Classe	Intervalo de valores do fator A (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
1	0 a 2,50
2	2,51 a 5,00
3	5,01 a 10,00
4	10,01 a 15,00
5	15,01 a 20,00
6	20,01 a 50,00
7	> 50,00

Fonte: Modificado de Tomazoni et al. (2005).

### Tolerância de Perda de Solos (T)

De acordo com Mannigel et al. (2002), a tolerância de perda de solos (T) pode ser calculada, para cada sub-horizonte do solo considerado, a partir da equação:

$$T = h \cdot D_s \cdot f \cdot 10 \quad (4)$$

Onde: T = tolerância de perda de solo (t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>); h = espessura do horizonte considerado (m); D<sub>s</sub> = densidade do solo (t m<sup>-3</sup>); f = fator de conversão inerente à variação textural.

Para verificar se a perda média anual de solo (fator A) encontrava-se dentro dos limites tolerados (T), realizou-se a manipulação da tabela de atributos dos dados vetoriais referentes a carta de solos da área de estudo. Nesse sentido, criou-se uma coluna denominada limite de perda, que foi preenchida com a média de valores já presentes na literatura (DEMARCHI et al., 2014) por meio das quais foram definidos os valores referentes as classes de solos (Tabela 6).

**Tabela 6:** Valores de T utilizados no estudo.

Classes de solo	Tolerância de perda de solo – T (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Argissolo Vermelho Eutrófico	10,54
Gleissolo Háptico	8,70
Latossolo Vermelho Distroférrico	13,90
Latossolo Vermelho Eutroférrico	13,56
Neossolo Litólico Eutrófico	5,28
Nitossolo Vermelho Eutroférrico	15,94

Fonte: Modificado de et al. (2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do potencial de perda do solo das bacias Rio São Francisco Falso e Rio São Francisco Verdadeiro, apresentam importantes variações nos setores de alto, médio e baixo curso. As diferenças em termos espaciais e quantitativas foram principalmente influenciadas pelos fatores topográfico (LS) e erodibilidade do solo (K).

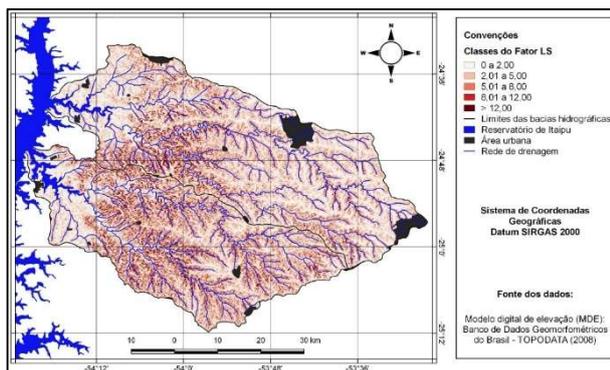
### Fatores preliminares para determinação da EUPS

Acerca do fator topográfico - LS (comprimento de rampa e declividade), que pode ser observado na Figura 2, verifica-se valores predominantes entre 0 e 12,00, com algumas regiões onde esse valor é ainda superior > 12,00.

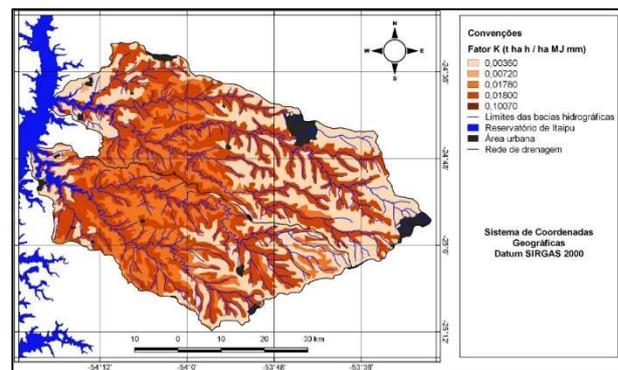
As regiões de maior valor do LS acompanham as variações de dissecação do terreno e são visivelmente relacionadas à declividade. No setor de alto curso observa-se, para a BSFV, valores de LS de todas as faixas, com predominâncias de valores de 0 a 8,00. Já para a BSFF a predominância ocorre entre valores mais altos, na faixa de 5,00 a 12,00. Na região de baixo curso os valores de LS concentram-se na faixa mais baixa, a 0 a 2,00.

Para o fator K (erodibilidade do solo), os valores se distribuem numa faixa que vai de 0,00360 a 0,10070 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, como pode ser observado na Figura 3.

Nesse sentido, a erodibilidade varia de acordo com o grau de intemperização do solo, ou seja, os mais maduros e profundos possuem menores valores de erodibilidade do que os mais jovens e rasos e também de acordo com as frações de areia, argila e silte. Os valores mais altos encontram-se nas regiões onde o relevo é mais dissecado e às margens dos principais corpos hídricos onde estão localizados solos do tipo Neossolos e Nitossolos.



**Figura 2:** Carta do fator LS (comprimento de rampa e declividade).



**Figura 3:** Carta do fator K (erodibilidade do solo).

Os Latossolos possuem menor valor de erodibilidade (0,00360 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) por serem mais profundos e argilosos, seguidos pelos Gleissolos, com baixos valores de erodibilidade (0,00720 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>).

Já os Neossolos e Nitossolos, por sua vez, apesar de possuírem diferentes características e também pelo fato de ocorrerem em diferentes condições morfológicas na área de estudo, ambos apresentaram

valores médios muito próximos de erodibilidade ( $0,01780$  e  $0,0180 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , respectivamente).

Por fim, os Argissolos apresentam-se com os maiores valores de erodibilidade ( $0,1007 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ). Esse tipo de solo ocorre apenas no leito do reservatório de Itaipu e é formado, basicamente, por depósito de material transportado no horizonte superficial (LEITE, 2016).

Os setores de alto e baixo cursos da BSFV apresentam leve predominância de valores mais baixos de erodibilidade devido à maior recorrência dos Latossolos. O setor de médio curso, por sua vez, apresenta os valores mais elevados em decorrência da maior predominância dos Neossolos e Nitossolos.

Na BSFF verifica-se que, nos setores de baixo e médio cursos, predominam valores elevados de erodibilidade devido à predominância dos Neossolos e Nitossolos. No setor de alto curso verifica-se uma distribuição mais ponderada da erodibilidade devido à ocorrência dos Latossolos.

Os valores do fator R (erosividade das chuvas), aumentam no sentido que se desloca da região noroeste para a região sudeste da área de estudo, em faixa que vai de  $6.423,28$  a  $7.404,10 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , como pode ser observado na Figura 4.

A erosividade das chuvas é mais intensa no setor de alto curso, e diminui no sentido em que se desloca para os setores de médio e baixo curso. Por não se tratar de uma correlação linear, a variação da precipitação pluviométrica torna-se relevante, pois, a partir da variação que se estende na faixa de  $1600 \text{ mm ano}^{-1}$  a  $2000 \text{ mm ano}^{-1}$ , ou seja uma diferença de  $400 \text{ mm ano}^{-1}$ , obtém-se uma variação de aproximadamente  $1.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  no valor da erosividade.

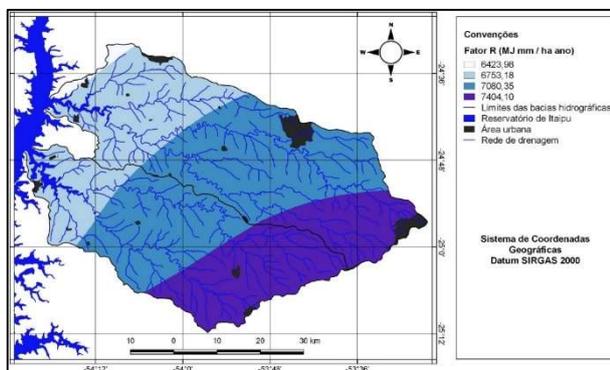


Figura 4: Carta do fator R (erosividade das chuvas).

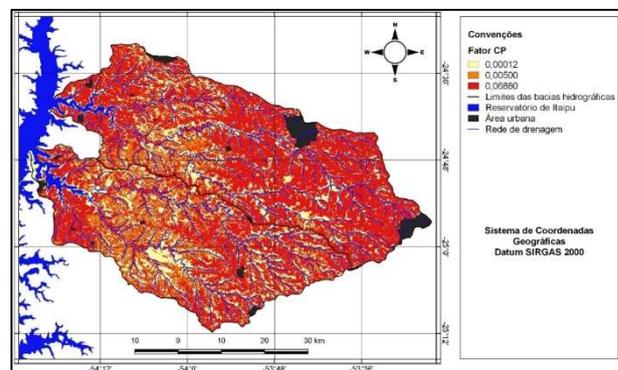


Figura 5: Carta do fator CP (cobertura da terra - C, e práticas conservacionistas - P).

Waltrick et al. (2015) realizaram a espacialização dos dados de erosividade das chuvas para o Estado do Paraná utilizando uma série histórica de dados de chuva referente ao período de 1986 a 2008. Na região oeste do estado verificaram-se valores elevados de erosividade, variando na faixa de  $10.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  a  $12.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Ao comparar a região oeste com as demais regiões do estado, apenas a região sudoeste apresenta valores maiores de erosividade. Os autores justificam os altos valores pelo fato de que ambas as regiões oeste e sudoeste são locais de intensa ocorrência de tempestades.

Ao analisar-se a carta referente ao fator CP (cobertura da terra (C) e práticas conservacionistas (P), observada na Figura 5, verifica-se que predominam os valores mais altos de CP, que vão de  $0,00012$  a  $0,06880$ . Isso ocorre devido à predominância de práticas agrícolas na região, que reduzem a capacidade de

desprendimento, transporte e deposição das partículas dos solos carregados por meio do escoamento superficial através da erosão laminar.

Os valores de CP são mais elevados (0,06880) nos setores de alto e baixo cursos das bacias devido ao aproveitamento da predominância dos Latossolos e das declividades baixas, nessas regiões, para práticas agrícolas mecanizadas.

Por conferir maior proteção ao solo frente à força de impacto das gotas de chuva, que causa desagregação das partículas do solo e consequente arraste dessas partículas pelo escoamento superficial da água, a pastagem e composições vegetais arbóreas apresentam valores reduzidos de CP quando em comparação com culturas agrícolas temporárias. Nesse sentido, as práticas conservacionistas que se empregam pela manutenção de programas de preservação de matas ciliares, como o Cultivando Água Boa, são de extrema relevância para reduzir a interferência do fator CP nos cálculos da EUPS.

### Espacialização da EUPS (A) nas bacias dos Rio São Francisco Verdadeiro e Rio São Francisco Falso

A distribuição espacial (Figura 6) e quantitativa da perda média dos solos (A) por meio da EUPS, evidenciam valores entre 0 e 2,50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> considerados de baixo potencial erosivo, até valores superiores a 50,00 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, caracterizados como fortemente alto. Os dados obtidos por meio da EUPS, permitem verificar que para ambas as bacias, a média de perda de solos concentra-se na faixa mínima, de 0 a 2,50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

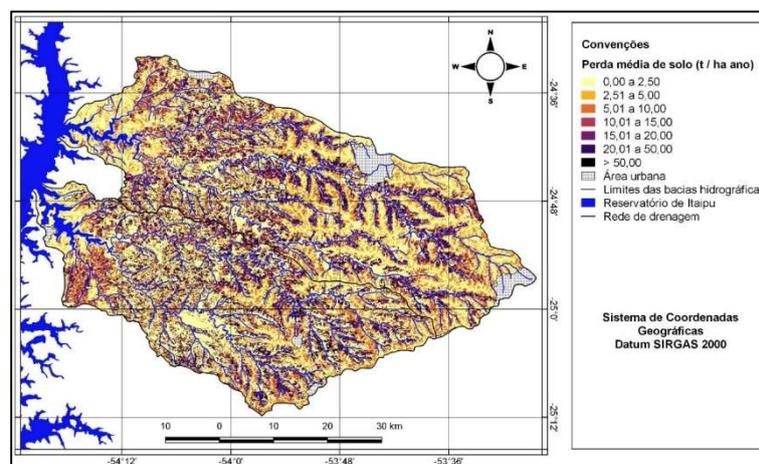


Figura 6: Carta do fator A – perda média de solos para a área de estudo.

Verifica-se que os valores mais baixos de A ocorrem nas regiões de alta vertente, onde o relevo é menos dissecado e ocorrem os Latossolos. Já os maiores valores de A ocorrem nas regiões de média e baixa vertente, onde há a ocorrência de solos do tipo Nitossolo e maior dissecção do relevo.

No setor superior, onde se concentra o alto curso das bacias pode-se observar uma forte influência dos fatores LS (comprimento de rampa e declividade) e K (erodibilidade) para delineamento das regiões com perda média de solo mais elevadas (> 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Isso acontece nas regiões de baixa vertente, onde há um relevo mais declivoso e predominam solos do tipo Nitossolos, que por sua vez apresentaram um valor médio (0,018 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) de erodibilidade para o presente estudo.

Já no setor de médio curso das bacias predomina a influência dos fatores topográfico (LS) e de

cobertura da terra e práticas conservacionistas (CP), onde as faixas de perda média de solo são mais heterogêneas. Essa maior heterogeneidade da perda média de solo associa-se, primeiramente, as práticas de uso e manejo, onde é visível a influência das atividades desenvolvidas sob o solo sobre essa perda, o que é verificado ao observar-se que os menores valores de perda solo ocorrem onde há a manutenção de florestas e áreas vegetadas, seguidos pelas áreas de pastagem, devido às altas declividades que impedem a mecanização agrícola.

O fator topográfico também é preponderante e pode-se observar sua influência principalmente no setor de médio curso da BSFV, onde as faixas de maior perda média de solo situam-se nas regiões de baixa vertente, onde ocorrem áreas de alta declividade.

Em outros estudos também foi verificada forte influência do fator LS para a predição da erosão do solo. Serio et al. (2008), Demarchi et al. (2014), Barbosa et al. (2015) verificaram que os maiores valores de erosão para sua área em estudo foram regiões de relevo dissecado com maior incidência de chuvas, onde os fatores LS e R combinavam-se de maneira mais acentuada.

Por fim, no setor de baixo curso, predomina a influência dos fatores CP e K, pois trata-se de uma região mais plana, com terreno pouco dissecado. Nessa região o fator R também apresenta valores menores devido aos reduzidos índices de precipitação pluviométrica quando comparados com os setores de alto e médio curso. Nesse sentido, os valores de perda média de solo acabam predominando em valores reduzidos ( $0$  a  $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) em decorrência da predominância de solos do tipo Latossolos, de menor erodibilidade ( $0,00360 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ).

Ainda assim, uma fração extremamente relevante, de aproximadamente 10% da área de ambas as bacias, concentra uma perda média de solos na faixa de  $20$  a  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , seguida por uma fração menor de 4,26% e 2,67%, para as BSFF e BSFV respectivamente, que excedem as  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de perda de solo. Essas áreas onde a estimativa de perda de solo excede as  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  encontram-se localizadas, em maior parte, nas regiões de baixa vertente, onde o relevo é mais dissecado (declividade  $>20 \%$ ) e há a ocorrência dos Nitossolos. Também podem ser encontradas nas regiões de alta e média vertente quando o relevo é mais dissecado e ocorrem os Neossolos.

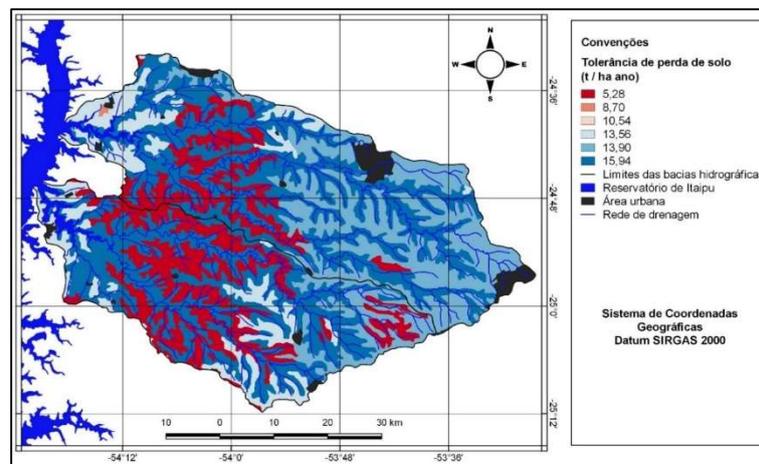
Os valores determinados de perda média de solos encontram-se alinhados àqueles obtidos em outros estudos para o Paraná. Tomazoni et al. (2005), ao realizarem a espacialização da EUPS para a bacia do Rio Jirau, região sudoeste do Paraná, encontraram valores predominantemente (45,24%) da área na faixa de perda média de  $0$  a  $2,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Souza et al. (2012), verificaram que 80,17% da área da bacia do Córrego Pinhalzinho Segundo, no noroeste do Paraná, encontrava-se com uma perda média de solos de  $0$  a  $3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

### **Tolerância de perda de solos (T)**

Ao analisarmos a tolerância de perda de solos (T) para a região em estudo (Figura 7), verifica-se que variou entre  $5,28 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e  $15,94 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

É visível que as regiões de declives mais acentuados e, principalmente, as áreas marginais aos corpos

hídricos, são os locais onde verificaram-se as maiores tolerâncias de perdas médias de solo ( $> 15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). Nessas regiões a perda de solos varia de 20 a  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , e em alguns casos é superior a  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , ou seja, pode estar ocorrendo uma perda média de solos superior em mais de três vezes a capacidade de tolerância de perda.



**Figura 7:** Carta da Tolerância de Perda de Solos (T) para a área em estudo.

Em geral, verifica-se que para solos mais jovens e rasos, predomina uma menor tolerância de perda de solos. Esse tipo de solo, neste estudo representado pelos Neossolos, encontra-se no setor intermediário (médio curso) das bacias, onde há menores valores de tolerância de perda ( $5,28 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). Ao analisar os resultados obtidos pela EUPS, no entanto, verifica-se valores muito acima da tolerância para este tipo de solo, tendo sido observados locais de ocorrência dos Neossolos com uma perda média anual de solos acima de  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

De acordo com Bertoni et al. (2017), para solos mais profundos é razoável assumir que, devido à presença de material subjacente favorável, a renovação do solo abaixo pode ser extremamente rápida, fato este que não ocorre em solos rasos.

Os Nissotolos por sua vez apresentam-se com os valores mais elevados de T, de  $15,94 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Apesar disso, verificou-se que também ocorrem nas regiões de baixa vertente ao longo dos três setores da bacia e coincidem com os locais de valores mais elevados de perda média de solos.

Dessa forma, pode-se evidenciar que valores superiores à tolerância de perda de solos (T) podem afetar até mesmo os processos pedogenéticos do solo, impedido sua evolução natural, em função da perda descontrolada do solo, por meio da erosão acelerada.

Contudo, verificou-se que o valor limite de T é de  $15,94 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para as bacias BSFV e BSFF, ou seja, qualquer local que apresente valores de A superiores a  $15,94 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  está teoricamente perdendo mais solo que capacidade natural de regeneração do local.

## CONCLUSÕES

A partir da realização do estudo pode-se verificar que a metodologia utilizada foi eficaz na identificação e previsão das áreas de baixo, médio e alto potencial erosivo, e a espacialização da EUPS em ambiente SIG mostrou-se eficiente para obtenção dos resultados de estimativa de erosão laminar do solo

para grandes áreas.

A maior parte da área em estudo (56,58%) concentrou-se em uma faixa de baixa estimativa de perda anual de solo (0 a 2,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Regiões de alta vertente apresentaram valores menores para A (0 a 10,00 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), enquanto que valores maiores de A ocorreram nas regiões de média e baixa vertente (10,00 a 50,00 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> ou > 50,00 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

Nas regiões de alto e baixo curso a EUPS sofreu maior influência dos fatores erodibilidade dos solos (K) e fator comprimento de rampa e declividade (LS), e na região de médio curso a EUPS sofreu maior influência dos fatores erodibilidade dos solos (K), fator comprimento de rampa e declividade (LS) e forma de uso e cobertura do solo e práticas conservacionistas (CP).

Cabe ressaltar que se evidenciou, também, a importância da adoção das práticas de manejo e conservação do solo, como o terraceamento, cultivo em nível, associados ao o plantio direto, bem como a manutenção e manejo das matas ciliares, que conferem a principal proteção para os corpos hídricos frente à erosão, que contribuem para a infiltração da água no solo, reduzindo o escoamento superficial e aporte de sedimentos aos corpos hídricos. Em se tratando especificamente do reservatório de Itaipu, a manutenção de sua vida útil relaciona-se diretamente com a redução da erosão dos solos e consequente aporte de sedimentos para o reservatório.

## REFERÊNCIAS

BADE, M. R.; ROCHA, A. S.; CUNHA, J. E.; NOBREGA, M. T.. Geomorphological partitioning of Paraná III (Brazil/Paraguay) hydrological basin. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, p.1370-1383, 2016. DOI: <http://doi.org/10.5935/1984-2295.20160094>

BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C. L.; FILHO, A. C. P.. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v.38, n.1, p.170-179, 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.. **Conservação do Solo**. 10 ed. São Paulo: Icone, 2017.

BRASIL. Divisão de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Topodata**: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Brasília: INPE, 2008.

CASTRO, M. N.; CASTRO, R. M.; SOUZA, P. C.. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. **Renefara: Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, Goiânia, v.4, n.4, p.230-241, 2013.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L.. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.29, n.2, p.102-114, 2014. DOI: <http://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n2p102-114>

FFOLIOTT, P. F.; BROOKS, K. N.; NEARY, D. G.; TAPIA, R. P.; CHEVESICH, P. G.. **Soil Erosion and Sediment Production on Watershed Landscapes: Processes and Control**. International Hydrological Programme for Latin America and the Caribbean (IHP-LAC). UNESCO, 2013.

FRUET, J. G. W.. **Fragilidade ambiental**: subsídios para a gestão de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas periurbanas de Marechal Cândido Rondon – PR. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2016.

LEITE, D. S.. **Mapeamento da erodibilidade e erosividade na Bacia Hidrográfica do São Francisco Verdadeiro – Oeste do Paraná**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, P.; MEDEIROS, L. R.. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.5, p.1335-1340, 2002. DOI: <http://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2374>

MEDEIROS, I. C.; SILVA, J. F. C. B. C.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.. Run-off-erosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil. **Int. J. Environ. Sci. Technol.**, v.16, p.3035-3048, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1007/s13762-018-1940-3>

PARANÁ. Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Mapa de Solos**. Curitiba: ITCG, 2008.

PARANÁ. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano da Bacia Hidrográfica do Paraná 3**: Características da Bacia (Produto 1). Curitiba: SUDERSHA, 2014.

ROCHA, A. S.; BADE, M. R.. **Geografia da bacia hidrográfica**

do Paraná 3: fragilidades e potencialidades socioambientais. Jundiá: In House, 2018.

ROCHA, A. S.; NÓBREGA, M. T.; CUNHA, J. E.; BADE, M. R.. Mapeamento da Capacidade de Uso das Terras na Bacia Hidrográfica do Paraná 3: Contribuições para o planejamento rural a ambiental. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.19, n.68, p.266-285, dez. 2018. DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG196818>

SAKINATU, I.; MUHAMMAD, A. A.. Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review, **Geology, Ecology, and Landscapes**, v.1, n.1, p.1-11, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1080/24749508.2017.1301053>

SERIO, J.; COSTA, C. A. G.; TEIXEIRA, A. S.; ORTEGA, E.. Aplicação da USLE e SIG na caracterização de três micro bacias hidrográficas no Brasil. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.*, Curitiba, v.6, n.2, p.213-221, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v6i2.10484>

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**, Brasília, v.13, n.3, p.267-278, 2012.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E.. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na Bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasília, v.03, n.57, p.235-244, 2005.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D.. Estimativa da erosividade de chuvas no Estado o Paraná pelo Método da Pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **R. Bras. Ci. Solo**, Brasília, v.39, p.256-267, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1590/01000683rbc20150147>

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D.. **Predicting rainfall-erosion losses: a guide to conservation planning**. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 537, 1978.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea ([https://opensea.io/HUB\\_CBPC](https://opensea.io/HUB_CBPC)), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

*The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).*



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157784612104044545/>