

Diagnóstico da Erosão, Transporte e Deposição de Solos em Pequena Bacia Hidrográfica: o caso do Ribeirão Jacupiranga


Diagnosis of Erosion, Transport and Deposition of Soils in a Small Hydrographic Basin: the case of Ribeirão Jacupiranga

Diagnóstico de Erosión, Transporte y Deposición de Suelos en una Pequeña Cuenca Hidrográfica: el caso de Ribeirão Jacupiranga


Diogo Yukio Uema¹

 <https://orcid.org/0000-0001-5072-0178>

Tais Muller²

 <https://orcid.org/0000-0001-7373-3131>

Fernando Luiz de Paula Santil³

 <https://orcid.org/0000-0000-0002-1165-2165>

RESUMO: Os processos erosivos são impactos frequentes nas áreas de produção agropastoril mundialmente. O meio ambiente, naturalmente, sofre de erosão, porém a antropização acelera o processo. Em certos locais, o tipo de solo arenoso pode acentuar o transporte das partículas de solo. Nesse contexto, o presente trabalho utilizou a Equação Universal de Perda de Solos, o potencial natural à erosão, e a razão de produção de sedimentos, três métodos de álgebra de mapas que unifica diversos fatores naturais e antrópicos, a fim de calcular e espacializar a erosão do solo em duas bacias hidrográficas no Noroeste do Paraná, a do ribeirão Jacupiranga, de primeira ordem e de segunda ordem, ambas em área de transição de solo argilo-arenoso. Os resultados mostraram uma baixa alteração nos valores de perda de solos durante um período de 17 anos. Com os resultados, pode-se analisar que a área é estável quanto à erosão, e altamente mecanizada, porém nas pequenas áreas em que houveram mudanças, ocorreram por causa de alterações no uso da terra, ou seja, a antropização foi a causa de alterações nos padrões naturais da área. As maiores influências são das classes de 0 a 3, 10 a 20 e 20 a 50.

PALAVRAS-CHAVES: erosão; EUPS; PNE; RPS.

SUMMARY: *Erosive processes are frequent impacts in agropastoral production areas worldwide. The environment naturally suffers from erosion, but anthropization accelerates the process. In certain*

¹ Doutorando em Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM). E-mail: contato.diogoyukio@gmail.com.

² Mestre em Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM). E-mail: eng.taismuller@gmail.com.

³ Doutor em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná (2008). Professor Adjunto no Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). E-mail: santil.f@outlook.com.

locations, the type of sandy soil can accentuate the transport of soil particles. In this context, the present work used the Universal Soil Loss Equation, the natural potential for erosion, and the sediment production ratio, three map algebra methods that unify several natural and anthropic factors, in order to calculate and spatialize the Soil erosion in two river basins in the Northwest of Paraná, the Jacupiranga stream, first order and second order, both in a clay-sandy soil transition area. The results showed a low change in soil loss values over a 17-year period. With the results, it can be analyzed that the area is stable in terms of erosion, and highly mechanized, however in the small areas where there were changes, they occurred because of changes in land use, that is, anthropization was the cause of changes in the natural patterns of the area. The biggest influences are from classes 0 to 3, 10 to 20 and 20 to 50.

KEYWORDS: *erosion; USLE; NEP; SPR.*

RESUMEN: *Los procesos erosivos son impactos frecuentes en las áreas de producción agropastoril a nivel mundial. El medio ambiente sufre naturalmente la erosión, pero la antropización acelera el proceso. En determinadas zonas, el tipo de suelo arenoso puede acentuar el transporte de partículas del suelo. En este contexto, el presente trabajo utilizó la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, el potencial natural de erosión y el índice de producción de sedimentos, tres métodos de álgebra cartográfica que unifican varios factores naturales y antrópicos, con el fin de calcular y espacializar la erosión del suelo en dos ríos. cuencas del Noroeste de Paraná, el arroyo Jacupiranga, de primer orden y de segundo orden, ambos en zona de transición de suelo arcilloso-arenoso. Los resultados mostraron un bajo cambio en los valores de pérdida de suelo durante un período de 17 años. Con los resultados se puede analizar que el área es estable en cuanto a erosión, y altamente mecanizada, sin embargo, en las áreas pequeñas donde hubo cambios, se dieron por cambios de uso del suelo, es decir, la antropización fue la causa de los cambios. en los patrones naturales de la zona. Las mayores influencias son de las clases 0 a 3, 10 a 20 y 20 a 50.*

PALABRAS-CLAVE: *erosión; EUPS; PNE; RPS.*

INTRODUÇÃO

Os processos erosivos se iniciam no processo de desagregação das partículas do solo, a partir principalmente dos agentes erosivos como a chuva, escoamento e vento e, após a desagregação, as partículas são transportadas pela vertente e podem ser retidas em alguma irregularidade topográfica ou chegar ao curso de água mais próximo. Segundo Araújo, Almeida e Guerra (2014), a erosão é a perda da camada superficial do solo, comumente forçada pela ação da água ou do vento. Pode ser dividida em vários tipos, como laminar, a mais frequente, e as ravinas e voçorocas, tipos mais agressivos de erosão, que podem causar danos a estruturas urbanas (Bertoni; Lombardi Neto, 1985).

Segundo dados de pesquisas, as áreas de solos mais arenosos apresentam maior potencial à erosão do que aquelas de solos argilosos, dada às suas estruturas e erodibilidade, impermeabilidade e porosidade, conforme o tipo de uso da terra, precipitação e topografia e, com base nessas variáveis, os resultados de métodos estatísticos podem apresentar dados diversos.

Assim, inúmeros métodos para simulação de perda de solos foram desenvolvidos ao passar das décadas, no entanto a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) se destacou dentre elas, por ser um método considerado 'simples' e que foi adaptado para utilizar dados disponíveis em órgãos governamentais. A EUPS foi publicada pela primeira vez por Wischmeier e Smith (1978), na época influenciados pela United States Department of Agriculture (USDA) e aplicando dados de diversas pesquisas anteriores sobre os fatores da equação. No Brasil foi utilizada principalmente por Bertoni e Lombardi Neto (1985), e a partir disso empregado em diversas regiões do País.

Devido às limitações do método, como só calcular erosão laminar, e não considerar deposição dos sedimentos na bacia, foram criados diversos métodos complementares a EUPS, entre elas a Razão de Produção de Sedimentos (RPS), que calcula o quanto de sedimento é transportado além do exutório (ASCE, 1972; Guedes, 2001; Maner, 1958), e o Potencial Natural à Erosão (PNE), que calcula o potencial de erosão sem contar os fatores antrópicos (Scopel, 1988; Stein *et al.*, 1987).

Baseado nesses fatos, o objetivo geral do presente trabalho busca espacializar, analisar e comparar os resultados da EUPS de duas bacias hidrográficas, uma de primeira ordem, e sua bacia subsequente, além de calcular a RPS e o PNE, a fim de descobrir a dinâmica entre as bacias e, concomitantemente, investiga-se a influência da mudança do uso e ocupação da terra nas perdas de solo, ao estudar os anos de 2003, 2010 e 2020.

Como objeto da realização deste estudo, foi selecionada a área de transição do substrato geológico, em pedologia mais arenosa e média, originária do Arenito do Grupo Caiuá e do Basalto do Grupo Serra Geral, com solos mais argilosos.

A hipótese geral é de que na bacia hidrográfica do Ribeirão Jacupiranga (BHJP), a influência da bacia de primeira ordem, em relação às perdas de solos, é proporcional à sua extensão em comparação à bacia de segunda ordem.

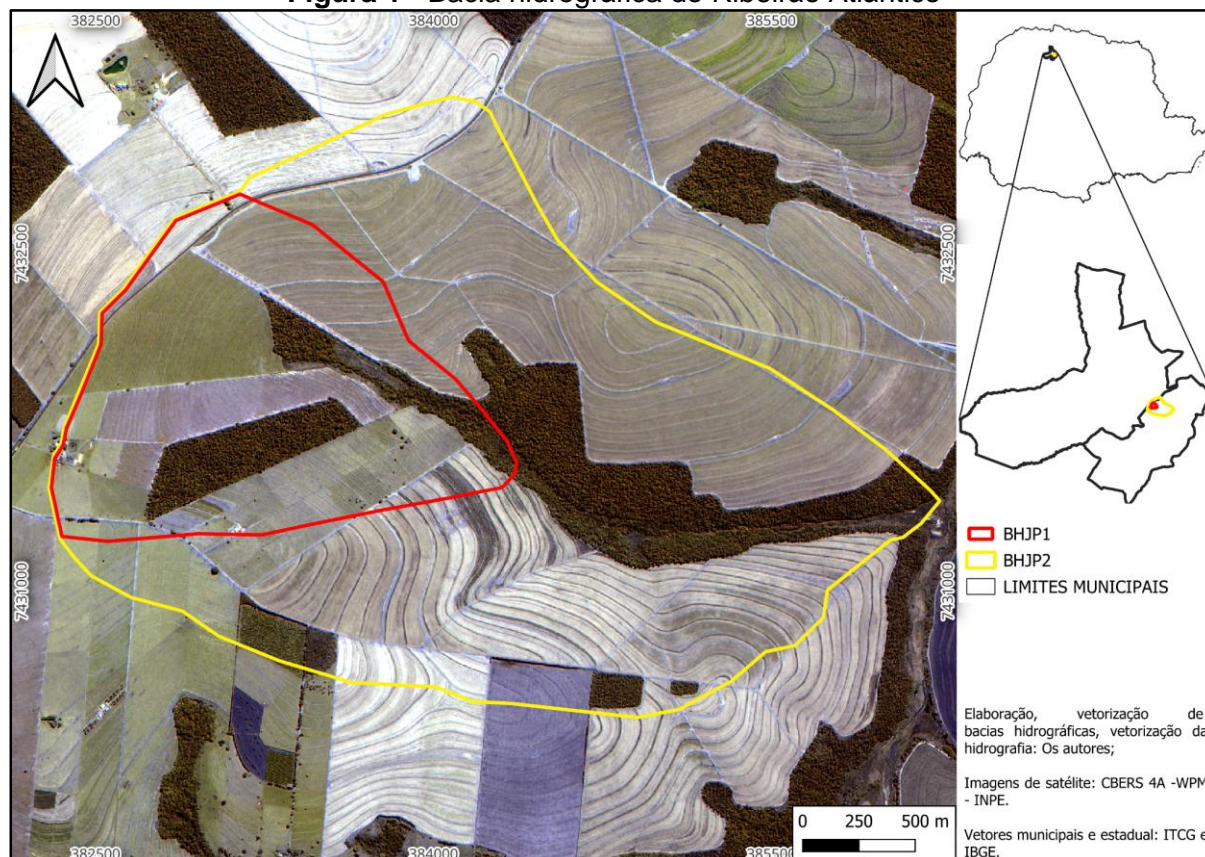
Tal afirmação se dá baseada em premissas como a defendida por Guedes (2001), que disserta que, majoritariamente, a taxa de sedimentos transportados além do exutório é de 1/3 dos sedimentos desagregados e o restante são redepositados onde o escoamento superficial não é forte o suficiente para exercer força cinética para o transporte.

Considerando a hipótese geral, a proposta de realização da presente pesquisa baseia-se, então, em criar uma análise ampla da perda de solos por erosão laminar em bacia hidrográfica de primeira e segunda ordem, selecionadas como objeto deste estudo, desde o desprendimento das partículas (EUPS), transporte e deposição (RPS), e sua análise em cenário natural, sem interferência humana (PNE).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área estudada é a bacia hidrográfica das águas do Jacupiranga, de primeira ordem, e a de segunda ordem, representadas pela sigla da bacia hidrográfica (BHJP) e diferenciadas pelos numerais 1 e 2 (BHJP¹ e BHJP², respectivamente), localizadas entre Presidente Castelo Branco e Nova Esperança, ambos no noroeste do Paraná (Figura 1).

Figura 1 - Bacia hidrográfica do Ribeirão Atlântico



Fonte: Os autores.

O município foi fundado com a intenção de colonização e facilitação da movimentação dos tropeiros e, posteriormente, apresentou motivações agrícolas, passando pelos ciclos do café e atualmente das culturas agrícolas, principalmente cana-de-açúcar.

O substrato geológico da área pode ser considerado uma área de transição entre o arenito do Grupo Caiuá e o basalto do Grupo Serra Geral, pois, segundo Besser, Brumatti e Spisila (2021), a unidade hidrográfica do Pirapó é formada por rochas do Grupo Serra Geral, originária do período Jurássico e Cretáceo, e recoberta parcialmente por rochas sedimentares do Grupo Caiuá.

O solo da parte onde se caracteriza o Arenito Caiuá é formado por arenitos finos a médios, que foram formados em ambientes eólicos e fluviais (MINEROPAR, 2001). Segundo Marcatto (2020, p. 179):

A topossequência de solos Jacupiranga (Formação Caiuá) é formada pelo sistema pedológico Latossolo – Argissolo, sendo que os Latossolos possuem maior extensão na vertente. Nesta topossequência, a ocorrência de argila predominantemente dispersa na cobertura latossólica, possibilita a sua mobilidade no perfil. A partir da média vertente, atuam os processos de e-
iluviação, que mobilizam a argila vertical e lateralmente, resultando na formação de horizontes mais arenosos (E) que contrastam com os mais argilosos (Bt). No sopé da vertente, a presença de um horizonte de transição denominado de Bt/Bw, aponta para uma evolução do Bt sobre o Bw, com espessamento pela base do primeiro sobre o segundo.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho o método utilizado para quantificar e espacializar a perda de solos por erosão laminar é a EUPS, aprimorada por Wischmeier e Smith (1978), que utilizaram diversos fatores e pesquisas anteriores realizadas pela USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) nas décadas anteriores, para uni-las e assim publicar a equação. O método foi apresentado no cenário nacional brasileiro por Bertoni e Lombardi Neto (1985), e a partir disso utilizado em todas as regiões por diversos pesquisadores. A EUPS pode ser visualizada na equação 1:

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

Onde:

A = Perda de Solos calculada por unidade de área, t/ ha.ano;

R = Fator erosividade da chuva (fator pluvial), Mj.mm/ha.h;

K = Fator erodibilidade do solo, t/ha/Mj.mm/ha.h;

L = Fator comprimento da rampa/ encosta;

S = Fator declividade da rampa/ encosta;

C = Fator de cobertura do solo (adimensional);

P = Fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Considerando os dados de precipitação disponíveis para a área de pesquisa, para a obtenção do fator R, erosividade, foi utilizada a metodologia de Rufino, Biscaia e Merten (1993), aplicada também por Terassi *et al.* (2021), onde se divide o Estado do Paraná em oito regiões isoerosivas, elaborando uma equação com constantes para cada uma das oito

regiões. Neste trabalho, na área do município de Presidente Castelo Branco e Mandaguaçu utilizou-se a equação da região isoerosiva 4, descrita na equação 2:

$$im = 16,73 + 4,02 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{9,80665} \quad (2)$$

Os dados de precipitação diários e mensais foram baixados do site do Instituto de Terras do Paraná, para os anos de 2003, 2010 e 2020, e na sequência trabalhados no *Microsoft Excel* com a equação citada.

Para espacializar a erodibilidade, foi necessário elaborar mapa de classes de solos e, em sua tabela de atributos divididas por classes, foram atribuídos valores para o fator K, sempre referenciados em pesquisas anteriores, em áreas com características geográficas semelhantes e classes de solos iguais (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores fator K

| Classe de Solo | Valor K | Referência Bibliográfica |
|---|---------|--|
| Latossolo Vermelho Distrófico e Eutrófico | 0,0285 | Mannigel <i>et al.</i> (2002); Bonifácio (2019); Bertoni e Lombardi Neto (1985). |
| Nitossolo Vermelho Eutrófico | 0,018 | |
| Argissolo Vermelho | 0,1007 | |

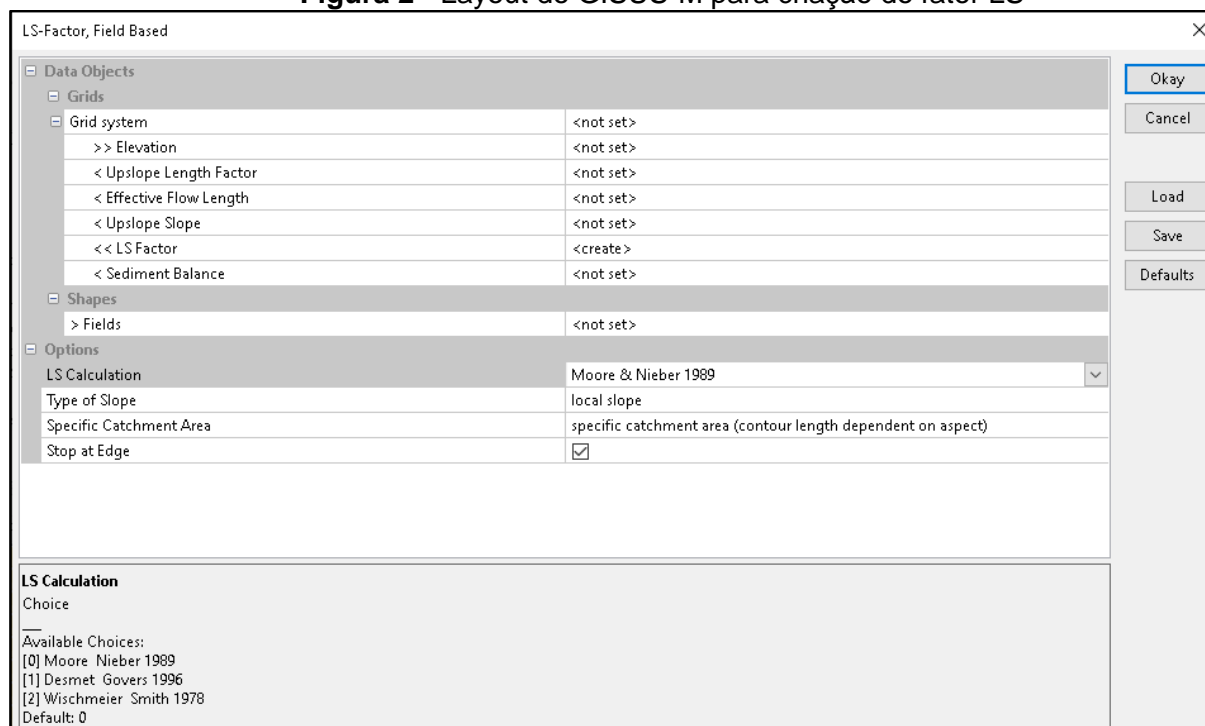
Adaptação: Os autores.

A topografia do terreno é um dos principais fatores em relação à dinâmica erosiva de uma área e ela depende da junção da declividade do terreno e do comprimento de rampa. O fator topográfico (LS) do presente trabalho foi baseado nas imagens de radar do satélite japonês ALOS PALSAR, com 12,5 metros de resolução espacial, e posteriormente modelo digital de elevação (MDE). O Fator foi gerado semiautomaticamente no add-in GISUS-M, no interior do ArcGIS 10.2, seguindo o método de Desmet e Govers (1996), o layout do programa pode ser visualizado na Figura 2.

Para criar os fatores uso e ocupação do solo (C) e práticas conservacionistas (P) utilizaram-se as mesmas bases vetoriais de divisão de classes de uso da terra, vetorizadas a partir de imagens do satélite CBERS 4A - WPM, para 2020, com dois metros de resolução espacial na panorâmica e oito metros na multiespectral. Segundo o INPE ([2022]), as correções geométricas e espectrais não são necessárias no CBERS 4A - WPM, pois o mesmo já é disponibilizado em nível 4, o que, segundo o instituto, já são imagens ortorretificadas, corrigidas radiometricamente e geometricamente, com um sistema refinado pelo uso de

pontos de controle e modelo digital de elevação do terreno. As imagens utilizadas para os anos de 2003 e 2010 foram do SPOT-5, já corrigidas geometricamente e radiometricamente.

Figura 2 - Layout do GISUS-M para criação do fator LS



Fonte: ESRI (2016). **Adaptação:** Os autores.

Para o CBERS 4^a - WPM, a utilização de todas as bandas com sua resolução máxima de dois metros precede processos em ambiente SIG no QGIS, com o complemento OTB (orfeo toolbox) e com as ferramentas de *superimpose* e *pansharpening*, para fundir as bandas multiespectrais de oito metros com a pancromática de dois metros. Os valores de cada classe do fator C e P foram baseados em referências bibliográficas de trabalhos clássicos e recentes (Souza, 2016; Bertoni e Lombardi Neto, 1985), nos quais os valores se adequam ao presente trabalho. Para o fator de uso e ocupação do solo, os valores estão representados na Tabela 2 e os valores de P na Tabela 3.

A RPS utilizada será a de Vanoni (1975) equação 3, pois foi considerada por Uema (2018), em seu estudo, como a de melhor resultado de RPS em relação ao desvio padrão com diversos outros métodos.

$$RPS = 0,42 * \text{Área em milhas}^{-0,125} \quad (3)$$

Após a descoberta do valor da RPS, pode-se realizar a seguinte equação para descobrir a produção de sedimentos que ultrapassam o exutório (equação 4):

$$\text{SDR} = Y/E \quad (4)$$

No qual o “Y” representa a produção de sedimentos que ultrapassam o exutório e o “E” representa a erosão total aproximada da bacia hidrográfica dada pela EUPS.

Tabela 2 - Valores Fator C

| Classe de Uso | Fator C |
|--------------------|---------|
| Solo Exposto | 1 |
| Cultura Temporária | 0,3066 |
| Pastagem | 0,008 |
| Florestas, APP, RL | 0,0001 |
| Água | 0 |
| Fazendas | 1 |

Fonte: Souza (2016); Bertoni e Lombardi Neto (1985). **Adaptação:** Os autores.

Tabela 3 - Valores Fator P

| Classes de Práticas Conservacionistas | Fator P |
|---------------------------------------|---------|
| Plantio em Contorno | 0,5 |
| Cordões de Vegetação Permanente | 0,2 |
| Estradas de Terra | 0,5 |
| Água | 0 |

Fonte: Souza (2016); Bertoni e Lombardi Neto (1985). **Adaptação:** Os autores.

Para o presente trabalho, pelo motivo de os resultados finais das EUPS não serem um valor total bruto, mas sim espacializados, utilizou-se dados das perdas de solo estimados e os resultados da RPS em porcentagens, assim não influenciando no valor bruto de sedimentos calculados. A equação da PNE foi retratada por:

$$\text{PNE} = R * K * L * S$$

No qual o PNE representa o potencial natural à erosão, o R representa a erosividade da chuva, o K representa a erodibilidade do solo, o L indica o comprimento da rampa ou vertente e o S representa a declividade da área. A PNE do presente trabalho foi elaborada no SIG QGIS, a partir dos fatores já obtidos para a EUPS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos fatores de obtenção das EUPS estão apresentados neste capítulo, organizados em subitens para cada bacia hidrográfica de segunda ordem e estão descritos os dados, respectivamente, dos fatores R, K, LS, C e P. Apenas o Fator R é referente às duas bacias hidrográficas, com o mesmo valor de erosividade.

Fator R

A precipitação mensal ocorrida nos anos estudados está presente na Tabela 4, apresentando normalmente os meses mais chuvosos entre dezembro e fevereiro, e os mais secos entre maio e julho.

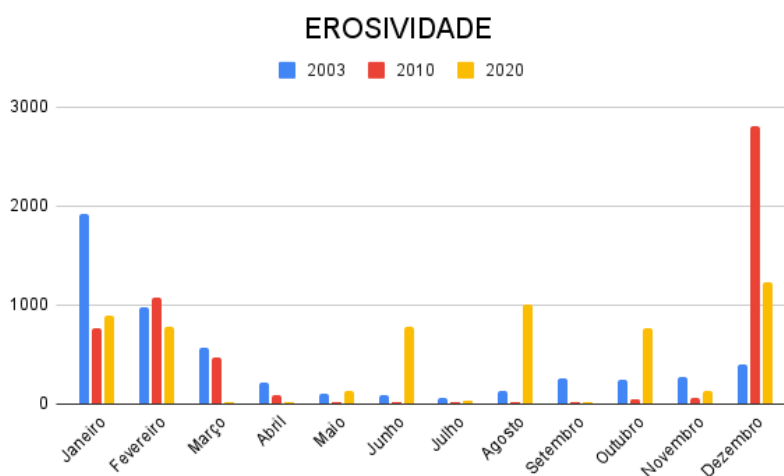
Tabela 4 - Pluviosidades anuais

| | 2003 | 2010 | 2020 |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Janeiro | 309,9 | 109,4 | 154 |
| Fevereiro | 219,8 | 130,4 | 144,2 |
| Março | 166,2 | 85,4 | 0,2 |
| Abril | 100,2 | 34,2 | 0 |
| Mai | 63,3 | 0,4 | 54,8 |
| Junho | 58,7 | 0,2 | 143,8 |
| Julho | 46,7 | 1,4 | 23,2 |
| Agosto | 75,2 | 8,6 | 163,8 |
| Setembro | 109,8 | 4,8 | 9,2 |
| Outubro | 106,9 | 23 | 142,4 |
| Novembro | 112,1 | 26,4 | 54,8 |
| Dezembro | 137,8 | 212,4 | 181,6 |
| Total | 1506,6 | 636,6 | 1072 |

Fonte: Os autores.

A erosividade apresentou valores mensais segundo a Figura 3, com os meses mais erosivos os de dezembro de 2010 e fevereiro de 2003 e 2020, diretamente proporcional ao gráfico de precipitação. O valor anual de erosividade foi de 5.184,4 em 2003, 5.394,8 em 2010 e 5.787,0 em 2020. Comparando com trabalhos como o de Terassi (2015), apresenta uma erosividade dentro da média do estado, com médio poder erosivo.

Figura 3 - Erosividade



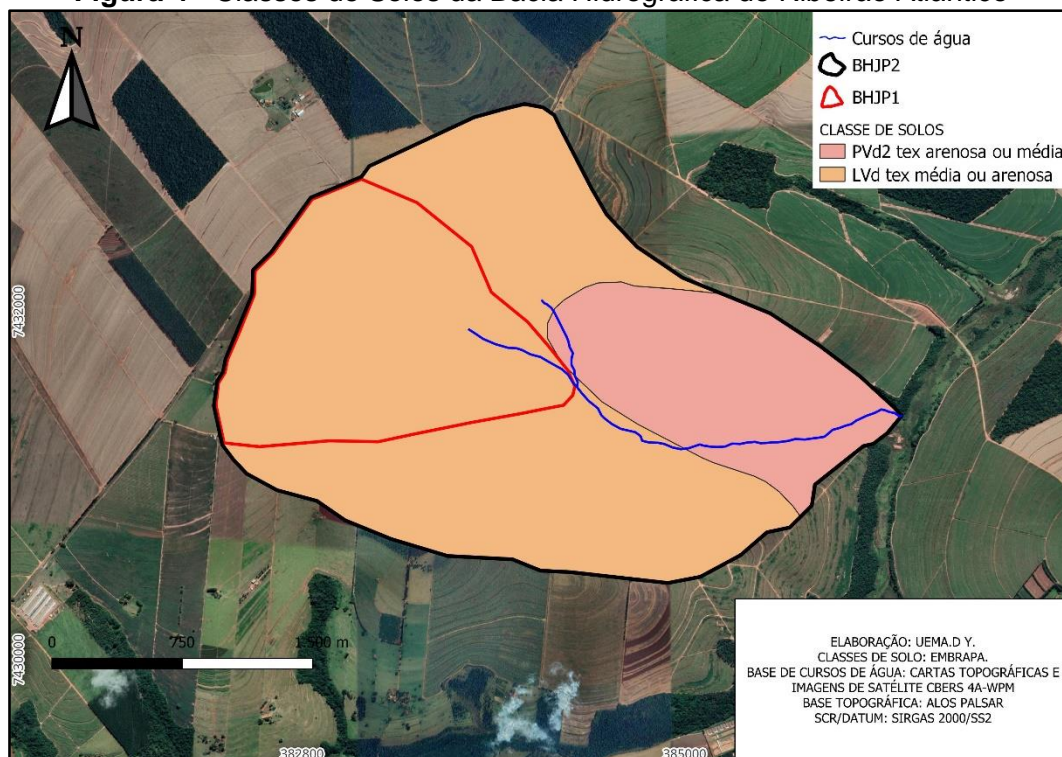
Fonte: Os autores.

Fator K

As classes de solos para a BHJP foram identificadas como Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho, ambas texturas mais arenosas (Figura 4), o que indica facilidade na erosão do solo, com partículas mais porosas, que facilitam a infiltração da água, podendo se desagregarem.

A Tabela 5 apresenta as áreas da classe de solos na bacia hidrográfica do Ribeirão Atlântico.

Figura 4 - Classes de Solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Atlântico



Fonte: Os autores.

Tabela 5 - Área de Classes de Solo

| Classes de Solos | % da Área | Km ² |
|--------------------|-----------|-----------------|
| LV textura média | 77,94% | 5,207 |
| PV textura arenosa | 22,06% | 1,474 |

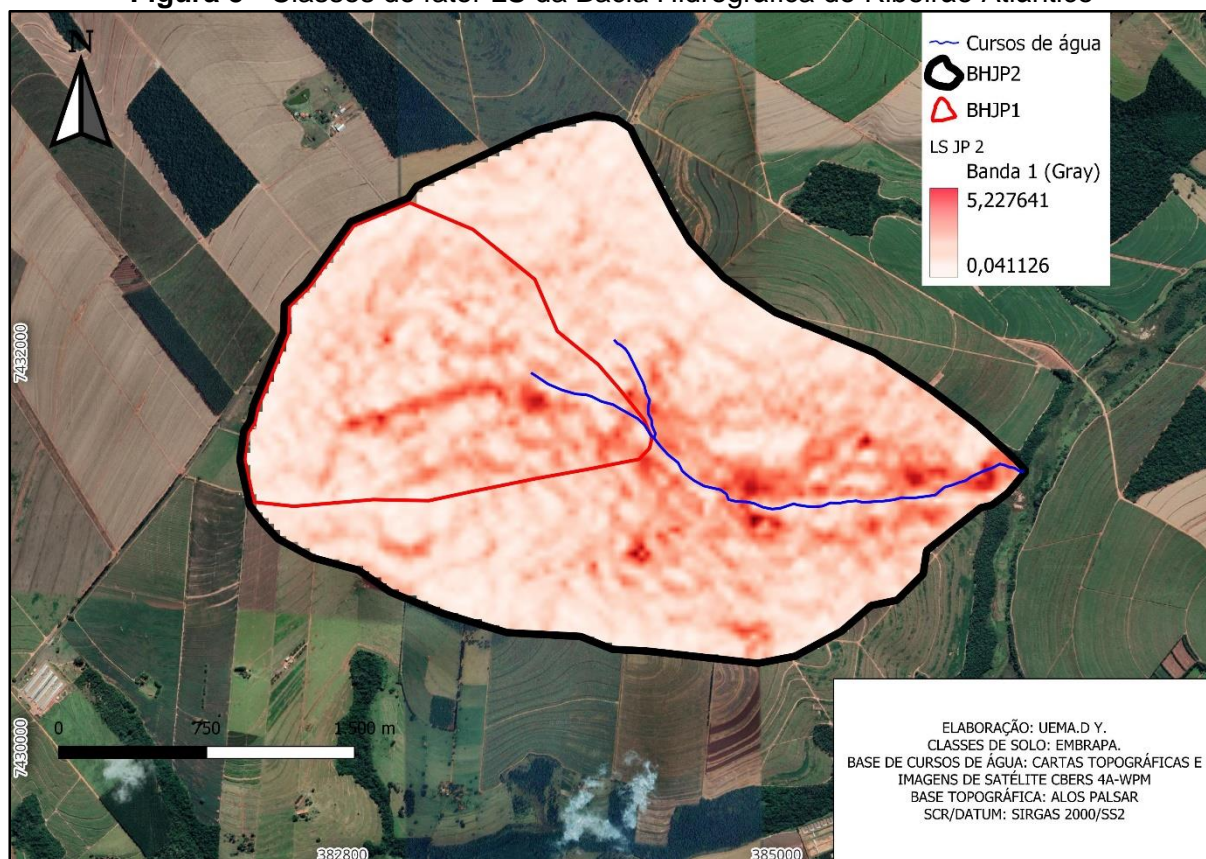
Fonte: Os autores.

FATOR LS

Para calcular o fator topográfico são necessários a declividade e o comprimento de rampa das bacias. A declividade (Figura 5) apresentou classes maiores nas partes centrais, próximas ao declive para o curso do ribeirão, e as menores nas partes extremas da bacia hidrográfica, sendo áreas mais planas. Como resultado, o fator LS possui seus maiores valores nas áreas próximas ao curso de água, semelhante às mesmas áreas de alta classe de declividade.

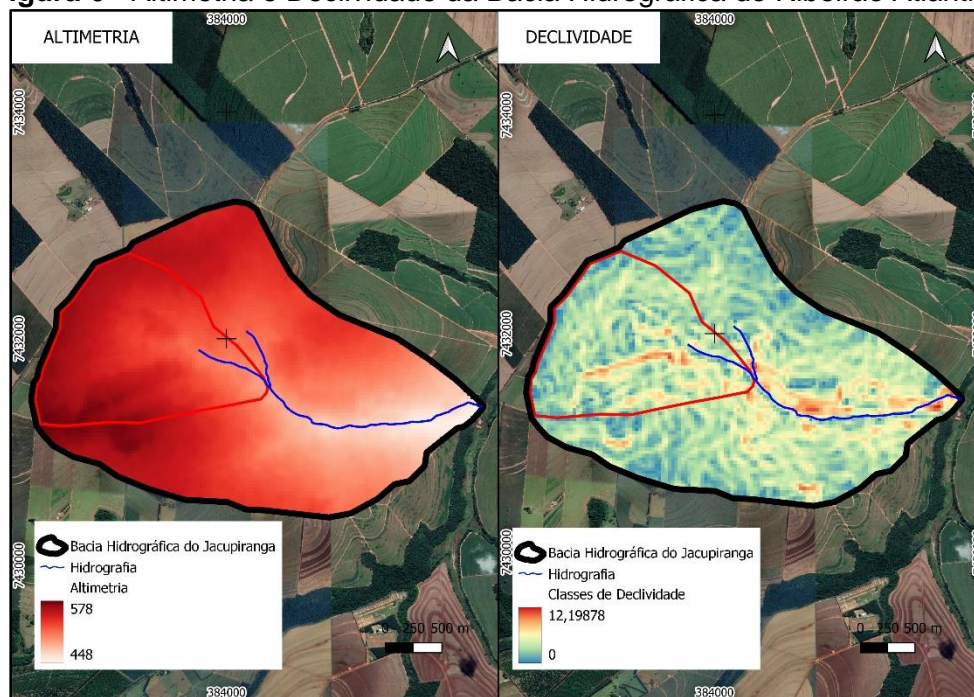
A altimetria e declividade estão representadas na Figura 6. Na questão da altimetria, as maiores cotas se encontram nas divisas da bacia hidrográfica, e as menores na parte do curso de água. A declividade também se encontra com os maiores valores próximos ao curso de água, em ambas as vertentes do ribeirão.

Figura 5 - Classes do fator LS da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Atlântico



Fonte: Os autores.

Figura 6 - Altimetria e Declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Atlântico

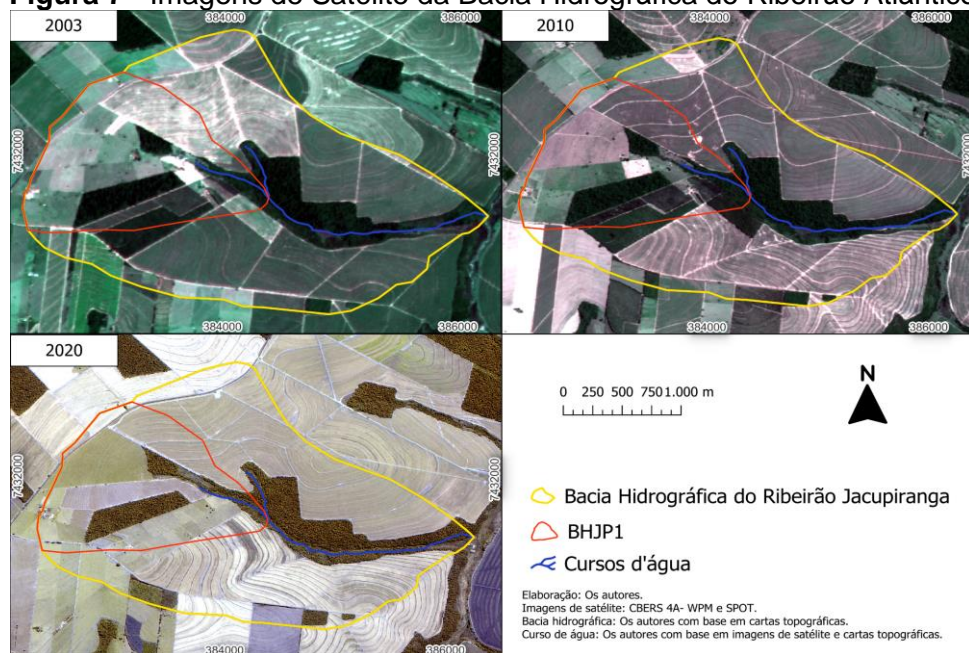


Fonte: Os autores.

Fator C e P

O uso da terra e práticas conservacionistas foram classificados nas classes de vegetação primária, culturas temporárias e solo exposto, de acordo com o identificado e vetorizado diretamente de imagens de satélite já especificadas nos métodos (Figura 7).

Figura 7 - Imagens de Satélite da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Atlântico



Fonte: Os autores.

Os valores da abrangência das classes de uso da terra podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 - Área de Uso da terra

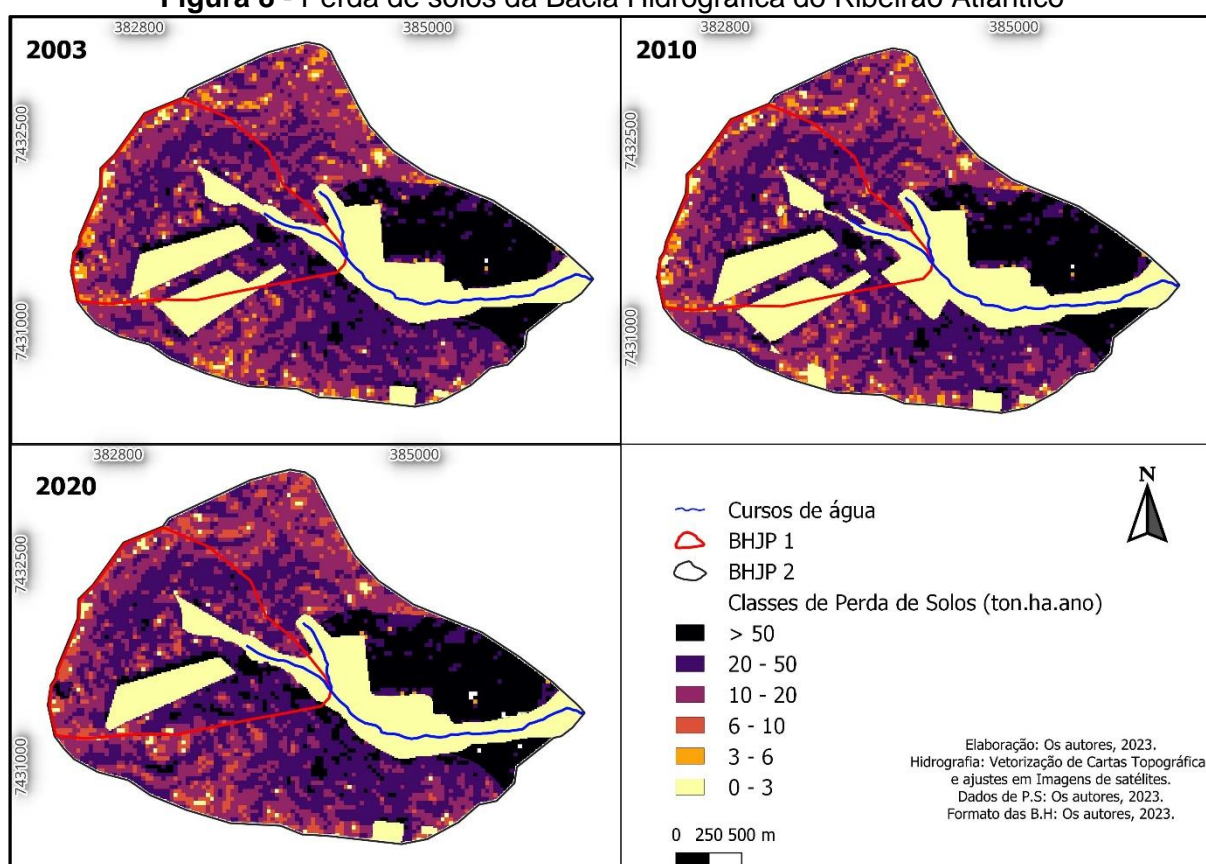
| | 2003 | 2010 | 2020 |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Vegetação Primária (APP, RL) | 1,289 km ² | 1,429 km ² | 1,117 km ² |
| Culturas Temporárias | 5,382 km ² | 5,238 km ² | 5,546 km ² |
| Solo Exposto (Vilas, Fazendas) | 0,014 km ² | 0,012 km ² | 0,017 km ² |

Fonte: Os autores.

Perda de solos

As simulações do potencial de perda de solos via erosão laminar na BHAT apresentaram resultados semelhantes durante o período estudado. Na Figura 8 destacam-se as classes de perda de solos e observa-se que a classe entre 0 a 3 se encontra principalmente no centro da bacia hidrográfica, em áreas de APP e reservas legais e as classes entre 3 a 50 estão bem distribuídas em toda a área. Destaca-se que a classe maior que 50 apresentou concentração principalmente na área de Argissolo textura média/arenosa somado às altas classes do fator LS.

Figura 8 - Perda de solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Atlântico



Fonte: Os autores.

Conforme a Tabela 7, dentre as classes identificadas percebe-se que a classe de 0 a 3 obteve uma dinâmica de pêndulo, por exemplo, o ano de 2010 obteve maior valor, com 22,7%. Já a classe de 3 a 6 apresentou diminuição ao passar dos 17 anos. A classe de 6 a 10 obteve aumento em 2020, com aproximadamente 4% a mais que 2003. Uma diminuição foi apontada na classe de 10 a 20, de 29,11% para 25,71%. As classes mais erosivas, de 20 a 50 e maior que 50 apresentaram aumentos ao passar dos anos.

Tabela 7 - Perda de solos da BHJP²

| BHJP ² CLASSES P.S (ton.ha.ano) | Área (km ²) | | | | | |
|--|-------------------------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | 2003 | % | 2010 | % | 2020 | % |
| 0 - 3 | 1,350206 | 20,31% | 1,509017 | 22,70% | 1,191938 | 17,93% |
| 3 - 6 | 0,177788 | 2,67% | 0,140427 | 2,11% | 0,0061 | 0,09% |
| 6 - 10 | 0,298215 | 4,49% | 0,324639 | 4,88% | 0,489215 | 7,36% |
| 10 - 20 | 1,935319 | 29,11% | 1,793864 | 26,98% | 1,709202 | 25,71% |
| 20 - 50 | 1,941159 | 29,19% | 1,948383 | 29,30% | 2,215273 | 33,32% |
| >50 | 0,961413 | 14,46% | 0,947845 | 14,26% | 1,046675 | 15,74% |
| Total | 6,64 | | | | | |

Fonte: Os autores.

Para representar a perda de solos, nos três anos da BHJP¹, representada na Figura 8, observa-se uma concentração da classe maior que 50, na parte centro-sul e uma distribuição das outras.

Os valores (Tabela 8), proporcionais às classes da BHJP² apresentaram valores em pêndulo também na classe de 0 a 3, com o ano de 2010 podendo ser considerado como o de menor potencial erodível, já as classes entre 20 a 50 e maior que 50 também sofreram aumento nos 17 anos.

Tabela 8 - Perda de solos da BHJP¹

| BHJP ¹ CLASSES P.S (ton.ha.ano) | Área (km ²) | | | | | |
|---|-------------------------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | 2003 | % | 2010 | % | 2020 | % |
| 0 - 3 | 0,495531 | 23,22% | 0,546028 | 25,58% | 0,424069 | 19,87% |
| 3 - 6 | 0,061617 | 2,89% | 0,054297 | 2,54% | 0,00026 | 0,01% |
| 6 - 10 | 0,100594 | 4,71% | 0,106378 | 4,98% | 0,159612 | 7,48% |
| 10 - 20 | 0,618506 | 28,98% | 0,580405 | 27,19% | 0,543608 | 25,47% |
| 20 - 50 | 0,759013 | 35,56% | 0,759589 | 35,59% | 0,869027 | 40,71% |
| >50 | 0,099206 | 4,65% | 0,08777 | 4,11% | 0,137891 | 6,46% |
| Total | 2,13 | | | | | |

Fonte: Os autores.

O que se pode identificar é que a classe de 0 a 3 possui média em torno de 36% da BHJP², o mesmo se repete para as outras classes, com exceções da classe de 3 a 6 no ano de 2020 e da classe maior que 50 em todos os anos. Considerando que a BHJP¹ é proporcional à 32,10% da BHJP² pode-se considerar que apenas a classe de 6 a 10 e 10 a 20 apresenta a mesma proporção (tabelas 9 e 10).

Tabela 9 - Proporções de erosão

| BHJP ¹ x BHJP ² | PROPORÇÃO DA 1ª NA 2ª | | |
|--|-----------------------|--------|--------|
| | 2003 | 2010 | 2020 |
| 0 - 3 | 36,70% | 36,18% | 35,58% |
| 3 - 6 | 34,66% | 38,67% | 4,26% |
| 6 - 10 | 33,73% | 32,77% | 32,63% |
| 10 - 20 | 31,96% | 32,36% | 31,80% |
| 20 - 50 | 39,10% | 38,99% | 39,23% |
| >50 | 10,32% | 9,26% | 13,17% |

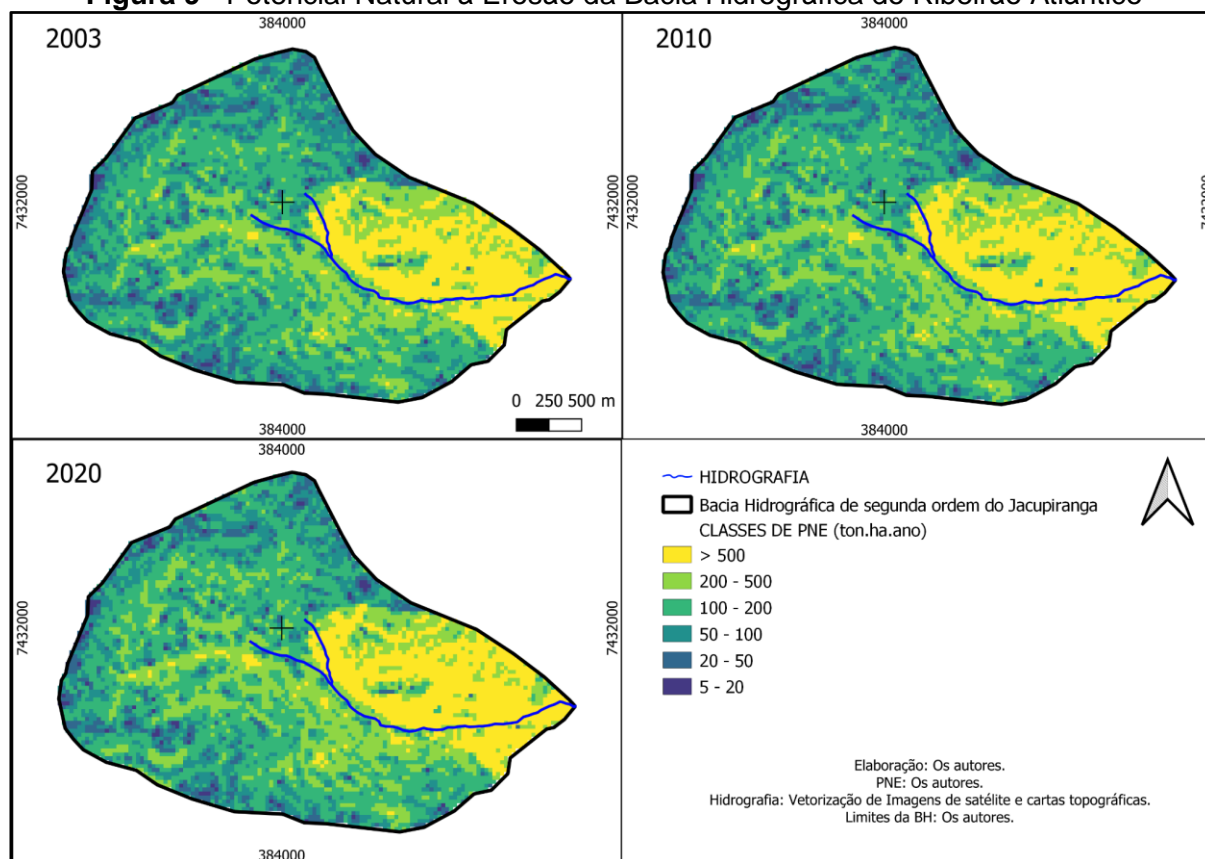
Fonte: Os autores.

Tabela 10 - Proporção de erosão por anos

| BHJP | DIFERENÇA ENTRE ANOS (%) | | |
|---------|--------------------------|-----------|-----------|
| | 2003-2010 | 2010-2020 | 2003-2020 |
| 0 - 3 | 2,39% | -4,77% | -2,38% |
| 3 - 6 | -0,56% | -2,02% | -2,58% |
| 6 - 10 | 0,40% | 2,48% | 2,87% |
| 10 - 20 | -2,13% | -1,27% | -3,40% |
| 20 - 50 | 0,11% | 4,01% | 4,12% |
| >50 | -0,20% | 1,49% | 1,28% |

Fonte: Os autores.

O PNE apresentou valores entre 5 a mais de 500 ton.ha.ano de perda de solos utilizando apenas os fatores naturais, porém, assim como a EUPS, os valores se alteraram pouco ao longo da década na bacia hidrográfica. Pode -se dizer ainda que o que causou a mudança na perda de solos na EUPS foram os fatores antrópicos, assim, a diferença é ainda menor na PNE (Figura 9).

Figura 9 - Potencial Natural à Erosão da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Atlântico

Fonte: Os autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A RPS apresentou valores próximos aos $\frac{1}{3}$ de sedimentos transportados além do exutório. Para a bacia hidrográfica de primeira ordem, apresentou-se em 37,3% dos sedimentos que encontram o curso principal da BHJP². Já a bacia hidrográfica de segunda ordem apontou 38,7% de sedimentos transportados, que desaguam no rio Pirapó.

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a bacia hidrográfica do Jacupiranga foi pouco alterada ao passar os 17 anos estudados. Entre os fatores naturais, a erosividade é a única que se altera em curto tempo e condições naturais, porém seus valores não foram suficientes para sobrepor outros fatores e aumentar consideravelmente a perda de solo. O fato de pouca alteração pode-se justificar pelo uso da terra já extremamente mecanizada em 2003, não possuindo mais espaço para avanços.

Considera-se que os fatores antrópicos, principalmente o uso da terra, pode ser considerado o fator que mais influenciou na diferença das perdas de solo, evidenciando que a urbanização nas bacias hidrográficas pode alterar a velocidade dos processos naturais, sendo assim o principal agente de erosão. O método da EUPS pode ser utilizado em bacias hidrográficas de pequena extensão, desde que a escala dos materiais seja adequada. Para

futuros trabalhos, o estudo do fator LS em escala de detalhe, identificando microtopografias, pode auxiliar no avanço dos estudos da perda de solos nessas áreas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Gustavo; ALMEIDA, Josimar; GUERRA, Antônio. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.
- ASCE - AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Task committee on preparation of sedimentation manual. Committee on Sedimentation of the Hydraulics Division. Chapter IV: Sediment sources and sediment yields. **Journal of The Hydraulics Division**, New York, v. 98, n. 5, p. 938-948, May 1972. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JYCEAJ.0003313>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livro Ceres, 1985.
- BESSER, Marcell Leonard; BRUMATTI, Mariane; SPISILA, André Luis. **Mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Paraná**. Curitiba: SGB-CPRM, 2021.
- BONIFÁCIO, Cássia Maria. **Fragilidade ambiental e qualidade da água na Unidade Hidrográfica do Pirapó, Paranapanema III e IV**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019.
- DESMET, Philippe J. J.; GOVERS, Gerard. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil And Water Conservation**, Ankeny, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.
- ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcMap Software** (versão 10.2). Califórnia: Redlands, 2016. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>.
- GUEDES, Jucimar. **Avaliação das perdas mensais de solo no alto curso da bacia do rio Aquidauana - MS**. 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001. Acesso em: 10 abr. 2022.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo de imagens, a partir de 2016**. Brasília, DF: INPE, [2022]. Imagens do Satélite CBERS 4ª WPM. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- MANER, Sam B. Factors affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, Washington, v. 39, n. 4, p. 669-675, aug. 1958.
- MANNIGEL, Anny Rosi; CARVALHO, Morel; MORETI, Dolorice; MEDEIROS, Luciano. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.
- MARCATTO, Francieli. **Os Principais sistemas pedológicos derivados das formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina na Bacia Hidrográfica Do Pirapó-Pr: os efeitos do uso e manejo do cultivo da cana-de-açúcar**. 2020. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020.
- MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ S/A. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2001. v. 1.
- RUFINO, Ronaldo; BISCAIA, Rubia C.; MERTEN, Gustavo. Determinação do potencial erosivo da chuva no estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 439-444, 1993.

SCOPEL, Iraci. **Avaliação do risco de erosão através de técnicas de sensoriamento remoto e da equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procópio (PR)**. 1988. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

SOUZA, Vladimir de. **Análise multitemporal das perdas de solo por erosão laminar e do regime de vazão fluvial na bacia do rio Jacaré-Guaçu (SP)**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

STEIN, Dirceu Pagoto; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe - Parapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3., 1987, Marília. **Anais** [...]. Marília: ABGE/DAEE, 1987. v.1, p.105-135.

TERASSI, Paulo Miguel de Bodas. **Variabilidade pluviométrica e a erosividade na unidade hidrográfica Pirapó, Parapanema III e IV, Paraná**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

TERASSI, Paulo Miguel; BIFFI, Vitor Hugo; GALVANI, Emerson; OLIVEIRA JÚNIOR, José. Estimativas de erosividade e as precipitações diárias extremas na bacia hidrográfica do rio Alto Iguaçu - Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 25, p. 241-265, 2021.

UEMA, Diogo Yukio. **Quantificação de perda de solos em bacia hidrográfica de primeira ordem: córrego Zauna, Maringá – Pr**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

VANONI, Vito A. **Sedimentation engineering**. New York: American Society of Civil Engineers, 1975. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice n. 54.

WISCHMEIER, Walter H.; SMITH, Dwight David. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: Purdue University, 1978.

Recebido: junho de 2023.

Aceito: outubro de 2023.