

ANÁLISE ESPACIAL DE PERDA DE SOLO POR EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM - SP

Bruno Pereira Toniolo

Unesp Campus Sorocaba
São Paulo - SP - Brasil
E-mail: bruperton.cad@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6602-0181>

Bruna Martins da Paixão

Unesp Campus Sorocaba
Sorocaba - SP - Brasil
E-mail: bruna.paixao@unesp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0571-9455>

Darllan Collins da Cunha e Silva

Unesp Campus Sorocaba
Sorocaba - SP - Brasil
E-mail: darllan.collins@unesp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3280-0478>

Gerson Araújo de Medeiros

Unesp Campus Sorocaba
Sorocaba - SP - Brasil
E-mail: gerson.medeiros@unesp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9122-3909>

Afonso Pêche Filho

Instituto Agrônomo de Campinas
Jundiaí - SP - Brasil
E-mail: apeche@iac.sp.gov.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7060-5967>

Admilson Írio Ribeiro

Unesp Campus Sorocaba
Sorocaba - SP - Brasil
E-mail: admilson.irio@unesp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0655-6838>

Recebido em 28/09/2020. Aprovado em 08/09/2021.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/guaju.v7i2.76849>

Resumo

Os processos erosivos são um dos problemas mais atuantes da degradação do solo. A delimitação de regiões com problemas de erosão hídrica é necessária para implantar técnicas conservacionistas que reduzam tal ocorrência. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) se mostra eficiente para diagnosticar a erodibilidade do solo, uma vez que já foi aplicado em vários estudos. Diante do exposto, o objetivo deste artigo foi estimar a perda de solo por erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí-Mirim (BHJM) com auxílio de técnicas de geoprocessamento. Os resultados mostraram que, para o ano de 2015, a bacia perdeu em média $5,21 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de solo, apresentando uma predominância de classe do tipo “Nulo a Muito Baixo” com cerca de 80% em relação à área de estudo, sendo o K e o CP os que mais contribuíram para essa perda. A BHJM apresentou um Risco de Erosão Potencial (REP) do tipo Muito Alto, com cerca de 49% em relação à área total; já considerando o Risco de Erosão Emergente (REE), a bacia apresentou a classe mais frequente como Muito Baixo, com cerca de 70% em relação à área da bacia, devido à predominância do Latossolo Vermelho-Amarelo e sua baixa erodibilidade. Os resultados apontam que a ausência das práticas conservacionistas pode aumentar sensivelmente as perdas de solo em bacias hidrográficas. Nesse cenário, observou-se também que o uso de geotecnologias na integração de informações permitiu a quantificação e espacialização da perda do solo, uma importante informação para a elaboração de modelos de gestão.

Palavras-chave: EUPS. Geoprocessamento. Erosão hídrica. Análise espacial.

Spatial analysis of soil loss by erosion in Jundiaí-Mirim River basin - SP

Abstract

The erosive processes are one of the most active problems of soil degradation. The delimitation of regions with water erosion problems is necessary to implement conservation techniques that reduce such occurrence. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is efficient for diagnosing soil erosion, since it has already been applied in several studies. Given the above, the objective of this article was to estimate soil loss due to water erosion in the watershed of the Jundiaí-Mirim River (JMRB) with the help of geoprocessing techniques. The results showed that, for the year 2015, the basin lost an average of $5.21 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ of soil, presenting a predominance of the “Nil to Very Low” class type with about 80% in relation to the study area, being K and CP the ones that most contributed to this loss. The JMRB presented a Potential Erosion Risk (RPE) of the “Very High” type, with about 49% in relation to the total area; already considering the Risk of Emergent Erosion (REE), the basin presented the most frequent class as Very Low, with about 70% in relation to the basin area, due to the predominance of the Oxisol and its low erodibility. The results show that the absence of conservation practices can significantly increase soil loss in river basins. In this scenario, it was also observed that the use of geotechnologies in the integration of information allowed the quantification and spatialization of soil loss, an important information for the development of management models.

Keywords: USLE. Geoprocessing. Water erosion. Spatial analysis.

1 Introdução

O solo abriga toda a fauna e flora sob e acima de sua superfície, além de servir como fonte de recursos energéticos para o homem, demonstrando a importância de seu manejo e preservação, esse último podendo interferir de forma positiva ou negativa sobre as atividades antrópicas (OLIVEIRA et al. 2016). Todavia o uso e ocupação antrópica causa danos ambientais como, por exemplo, o aumento do escoamento superficial, o qual intensifica o processo erosivo, evoluindo da forma laminar para sulco, ravina ou voçoroca (SILVA et al., 2017; SIMONETTI et al., 2019; SILVA et al., 2020).

Segundo Silva et al. (2017) e Simonetti et al. (2019), os processos erosivos são um fenômeno recorrente em qualquer ecossistema, porém o risco de degradação do solo brasileiro é mais preocupante por causa das condições climáticas tropicais com chuvas intensas e duradouras, assim como a erodibilidade intrínseca de alguns tipos de solos. Portanto o conhecimento climático de uma determinada região possibilita melhorar a sua gestão, conforme é citado por Teramoto et al. (2019) em seus estudos.

A erosão ocorre quando as partículas do solo se desagregam e são arrastadas à jusante pelo escoamento superficial, sendo classificada em dois tipos: laminar e linear. A erosão laminar é caracterizada pela retirada de uma camada uniforme e fina do solo devido à pluviosidade, causando o empobrecimento do solo, o aumento das enchentes e o assoreamento dos cursos d'água (MEIRA et al., 2016; TAKIKAWA et al. 2021).

Para realizar diagnósticos e prognósticos de erosão do solo em abrangência nacional, atualmente são usadas ferramentas de geoprocessamento, que delimitam de forma precisa a localização de áreas com susceptibilidade erosiva, possibilitando um monitoramento contínuo das zonas de risco e favorecendo a tomada de decisões (ROSA, 2005). Nesse contexto, o geoprocessamento permite a aplicação de vários estimadores de perda de solo, dentre eles, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), muito difundida em bacias hidrográficas rurais e estudos ambientais (WISCHMEIR; SMITH, 1978).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi estimar a perda de solo por erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim no estado de São Paulo, com auxílio de técnicas de geoprocessamento.

2 Área de estudo

Segundo Silva e Medeiros (2020), a Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí-Mirim (BHJM) está localizada no estado de São Paulo, entre as latitudes 23° 00' e 23° 30' Sul e longitudes 46° 30' e 47° 15' Oeste, possuindo uma área de 117,5 km², sendo 55% de seu território no município de Jundiaí, 36,6% no município de Jarinu e 8,4% no município de Campo Limpo Paulista. Essa bacia é fortemente impactada nos meios físico e biótico refletindo-se na produção de água em quantidade e qualidade. A Figura 1 apresenta o mapa de localização da BHJM.

Os principais impactos observados nessa bacia são relacionados à transposição do rio Atibaia (MACHADO et al., 2018; BEGHELLI et al., 2015), ausência de práticas conservacionistas do solo (SILVA, MEDEIROS, 2020; DE CARLI et al., 2018; FENGLER et al., 2015) e urbanização (FENGLER et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2021), e supressão de Áreas de Preservação Permanente (APPs) (SILVA; MEDEIROS, 2017, ANDRADE et al., 2021). Esse panorama tem sido observado, apesar do arcabouço de leis e políticas ambientais que apoiam a gestão ambiental dessa bacia hidrográfica (MACHADO et al., 2019).

A BHJM está dividida em 17 áreas de contribuição com características socioambientais distintas: Caxambu, Córrego Albino, Córrego Ananas, Córrego Caxambuzinho, Córrego da Roseira, Córrego do Areião, Córrego do Perdão, Córrego Ponta Alta, Escada de Dissipação, Horto, Jundiaí-Mirim Calha, Parque Centenário, Pinheirinho, Represa Nova, Ribeirão da Toca, Ribeirão do Tanque, Ribeirão dos Soares e Tarumã (FENGLER et al., 2015).

FIGURA 1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: Os autores (2020).

3 Material e métodos

As variáveis da EUPS foram modeladas a partir de um banco de dados geográficos (*geodatabase*). O programa utilizado foi o ArcGIS 10.5. O datum horizontal adotado foi SIRGAS 2000 e na projeção cartográfica plana *Universal Transversa Mercator* (UTM) na quadricula 23K. Para o cálculo da EUPS, foi utilizada a Equação 1, por meio de álgebra de mapas na Calculadora Raster do software ArcGIS 10.5.

$$A = R \times K \times LS \times CP \text{ (Equação 1)}$$

Em que:

A = perda de solo por unidade de área ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$);

R = erosividade da chuva ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$);

K = erodibilidade do solo ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$);

LS = fator topográfico (adimensional);
C = uso e manejo do solo (adimensional)
P = práticas conservacionistas (adimensional).

Para calcular a erosividade da chuva (R), foi usado o programa NetErosividadeSP que fornece o valor de R para qualquer localidade do estado de São Paulo. Esse *software* foi desenvolvido por Moreira et al. (2005) e utiliza de rede neural artificial (RNA), de forma que foram plotados 20 pontos aleatórios, dentro e fora da BHJM. A partir desses pontos, foi aplicada a interpolação *Topo to Raster* que, segundo Hutchinson (2009), pondera os quadrados dos resíduos em função da cota da superfície simbolizada em grades amostrais, a gerar uma imagem matricial.

As classes pedológicas da BHJM foram obtidas a partir de Rossi (2017), sendo que os valores erodibilidade (fator K) foram determinados conforme Fiorio (1998): Latossolo Vermelho-Amarelo K = 0,018383; Argissolo Vermelho-Amarelo K = 0,069725; Cambissolo Háplico K = 0,0555 e Gleissolo Melânico K = 0,0605. Para isso, foi criado um campo de atributo no arquivo vetorial da camada pedológica e esta convertida em *raster*.

Os dados usados para a criação dos parâmetros da EUPS, fator topográfico (LS), advêm do modelo digital de elevação (MDE) *Alos Palsar*, o qual possui resolução espacial de 12,5 metros. Por esse MDE possuir algumas anomalias altimétricas, foi necessário aplicar o comando *Sink* para eliminar as depressões espúrias, de modo a aplicar corretamente o fluxo do escoamento superficial (TONIOLO et al., 2021). O comprimento da vertente (fator L) e o fator topográfico (LS) foram obtidos a partir da proposta de Bertoni e Lombardi Neto (2005), de acordo com as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$L = \sqrt{\{P^2 + [(D/100) \times P]^2\}} \text{ (Equação 2)}$$

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times D^{1,18} \text{ (Equação 3)}$$

Em que:

L = comprimento da rampa (adimensional);

P = tamanho do pixel adotado (12,5 m);

D = declividade em porcentagem;

LS = fator topográfico (adimensional);

L = comprimento da rampa (adimensional);

D = declividade em porcentagem.

O fator de uso, manejo e práticas conservacionistas do solo (CP) foi determinado a partir de visitas de campo, realizadas entre julho e agosto de 2019, e pelo mapeamento de uso e ocupação da terra, desenvolvido por Fengler et al. (2015) e de acordo com os valores estipulados por Bertoni e Lombardi Neto (2005) e Wischmeir e Smith (1978), sendo: 0,0004 para mata; 0,0075 para pastagem; 0,001 para chácara; 0,047 para reflorestamento; 0,042 para campo; 0,28 para agricultura; 0,002 para área urbana; 0,002 para outros usos; e 1 para mineração. A camada vetorial CP também foi rasterizada.

De acordo com Stein et al. (1987), somente é preciso determinar de maneira independente os fatores C e P quando se for definir formas mais adequadas de produção agrícola. Contudo, se o intuito é a perda de solo por erosão, essas variáveis estão associadas entre si e podem ser verificadas em grupo com o valor de P igual a um, conforme elucidado por Silva et al. (2017) em seus estudos.

Após a rasterização dos fatores R, K, LS, CP padronizados com uma resolução espacial de 10 metros, foi elaborado o mapa de erosão laminar da área de estudo (A), adaptado a partir da classificação de Borges (2009): Nulo a Muito Baixo ($0 - 10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), Baixo ($10 - 15 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), Médio ($15 - 50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), Alto ($50 - 200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) e Muito Alto ($> 200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$).

Assim como o Fator K, a tolerância de perda de solo (Fator T) foi baseada nas classes pedológicas, conforme apresentado na Tabela 1, para se calcular o Risco de Erosão Emergente (REE) que é a relação de A por T (Equação 4). A classificação do mapa de REE foi adaptada de Lagrotti (2000) da seguinte forma: Nulo a Muito Baixo (< 1); Baixo ($1 - 2$); Médio ($2 - 5$); Alto ($5 - 10$) e Muito Alto (> 10).

$$\text{REE} = A / T \text{ (Equação 4)}$$

Em que:

REE = Risco de Erosão Emergente (adimensional);

A = Perda de Solo por Erosão Laminar ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$);

T = Tolerância de Perda de Solo ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$).

TABELA 1 – TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO (T)

Tipo de solo	T (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Fonte
Latossolo Vermelho-Amarelo	11,53	Mannigel et al. (2002)
Argissolo Vermelho-Amarelo	9,06	Mannigel et al. (2002)
Cambissolo Háplico	4,34	Corrêa; Moraes; Pinto (2015)
Gleissolo Melânico	5,50	Bertoni; Lombardi Neto (2005)

FONTE: Os autores (2020).

Ressalta-se que a REE leva em consideração a susceptibilidade erosiva tanto do meio físico (Fatores R, K, LS) como do meio antrópico (Fator CP). Batalha (2006) aplicou a EUPS de forma simplificada à BHJM considerando somente os fatores do meio físico (A'), conforme Equação 5, e dividiu A' por T, computando o Risco de Erosão Potencial (REP) (Equação 6). Esse autor classificou o REP da seguinte forma: Muito Baixo (< 2); Baixo (2 – 4); Médio (4 – 6); Médio Alto (6 – 10); Alto (10 – 20); Muito Alto (> 20).

$$A' = R \cdot K \cdot LS \text{ (Equação 5)}$$

$$REP = A' / T \text{ (Equação 6)}$$

Em que:

A' = perda de solo por unidade de área do meio físico (t.ha⁻¹.ano⁻¹);

REP = Risco de Erosão Potencial (adimensional).

Dessa forma, os mapas das variáveis A' e REP foram replicados neste trabalho para fins comparativos. Para a comparação entre o REP obtido por Batalha (2006) e o REP replicado, foi verificada a concordância temática pelo Índice de Kappa a partir da geração de 75 pontos aleatórios dentro da BHJM, conforme a operacionalização proposta por Prina e Trentin (2015).

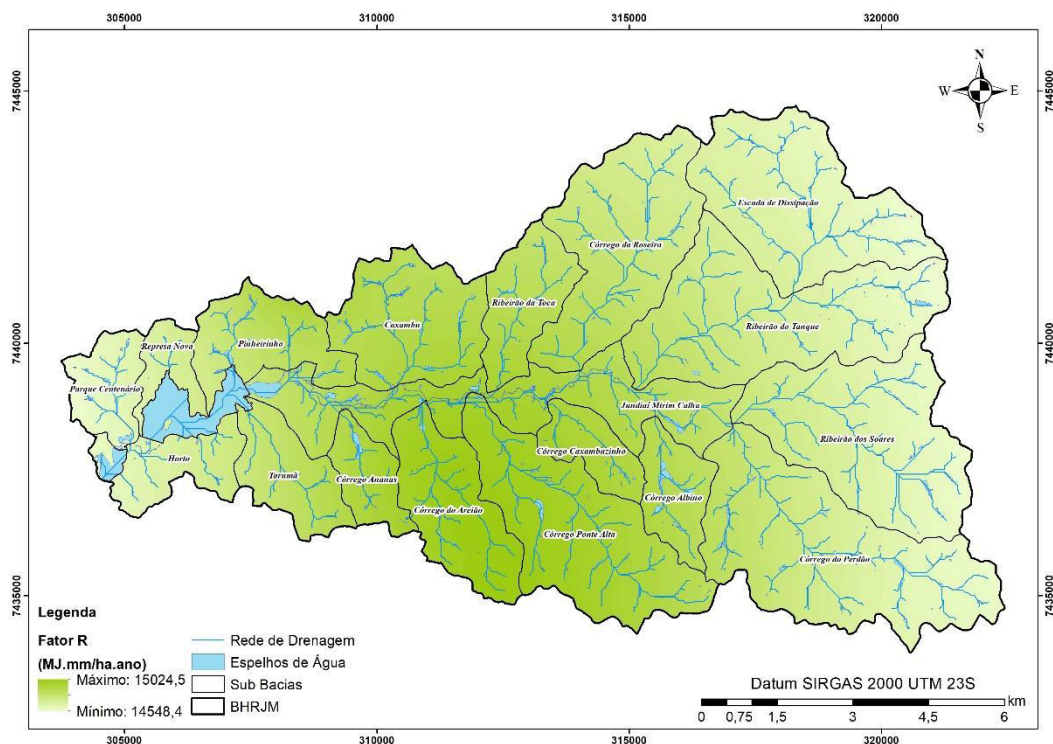
A partir do MDE *Alos-Palsar*, também foram determinadas as classes de declividade para a bacia, conforme classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979), assim como foi extraída a rede de drenagem da bacia, conforme metodologia de Oliveira et al. (2007) para se calcular a média aritmética da perda de solo (A e A'), baseando-se na ordem hídrica dos cursos d'água e nas áreas de contribuição (FENGLER et al., 2015).

4 Resultados

A dinâmica entre os elementos naturais – pedologia, topografia, hidrografia, vegetação e precipitação – e os padrões benéficos de ocupação da paisagem – como reflorestamento e recuperação de áreas degradadas por exemplo – favorecem a ocorrência de uma estabilização do meio ambiente. Contudo a implantação de classes de uso de solo mais severas, como núcleos urbanos, mineração e solo exposto, de origem antrópica, tende a gerar um desequilíbrio de forma que o ecossistema segue o princípio Le Chatelier-Braun, no qual busca adquirir um novo estado de equilíbrio, conforme Santos (2015). Essa interação inevitavelmente gera impactos ambientais como a erosão (CREPANI et al., 2001; LOURENÇO et al. 2015), a qual pode ser corroborada pela espacialização de suas variáveis nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

A Figura 2 apresenta o mapa de erodibilidade (fator K), verificando-se que os maiores valores de precipitação correspondem às regiões de maior altitude, inclusive nas cabeceiras dos cursos de água. Nota-se também o que o valor mínimo de erosividade, por volta de 15.000 MJ.mm/ha.ano, situa-se no exutório da BHJM.

FIGURA 2 – MAPA DE EROSIVIDADE (FATOR R) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM



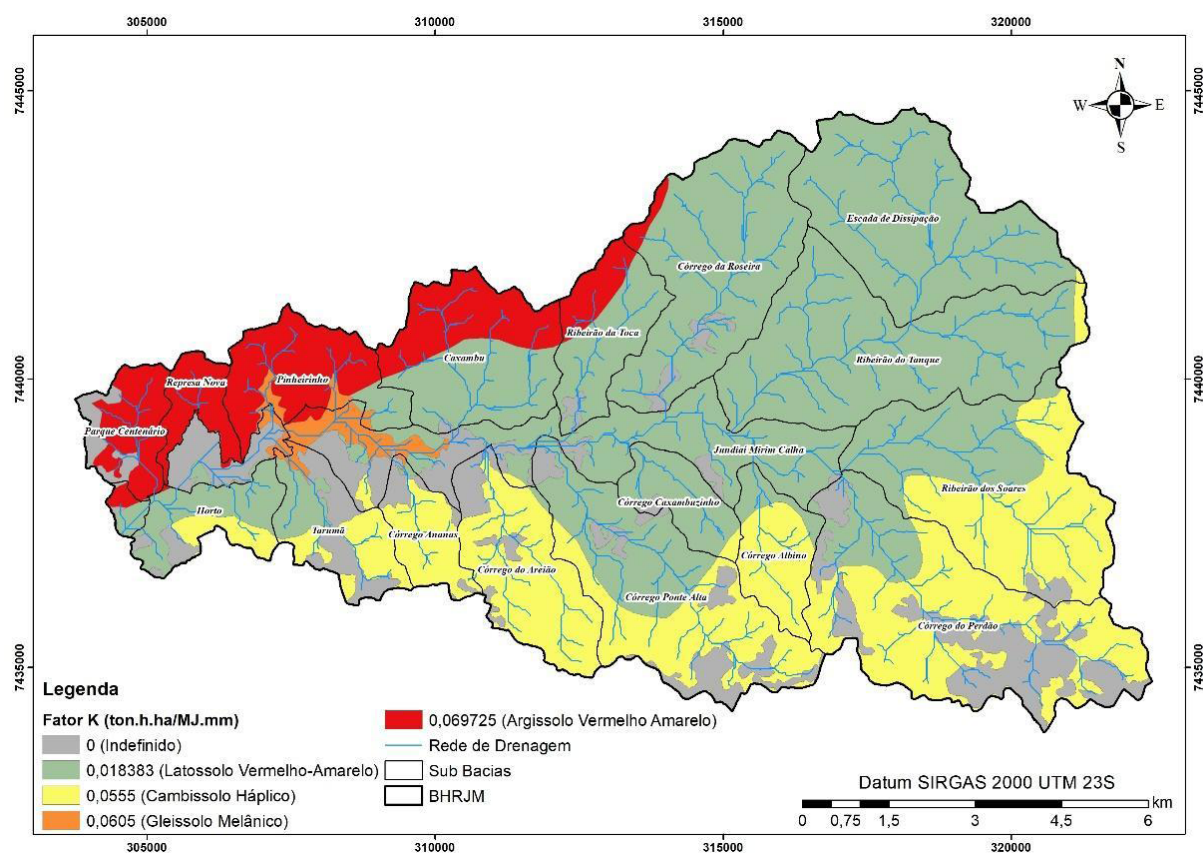
FONTE: Os autores (2020).

Analisando a Figura 2, as sub-bacias que apresentam maior erosividade são Escada de Dissipação, Ribeirão do Tanque e Ribeirão dos Soares com um fator R igual a 6.868, 6.860 e 6.836 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, respectivamente. Já as sub-bacias que mostraram os menores valores foram Horto, com 6.667 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, e Córrego Ponte Alta, com 6.697 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. A erosividade média da BHJM é 6.779,20 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ e com um desvio padrão de 39,35 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹.

Embora a BHJM apresente uma erosividade relativamente homogênea, com uma amplitude de 476,10 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, salienta-se que o fator R não é necessariamente proporcional à precipitação, ou seja, a erosividade não será mais alta numa área com maior pluviosidade média anual, mas, sim, dependerá de como a chuva se distribui ao longo do período analisado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005), fato também foi constatado por Batista et al. (2021) em seus estudos na região do Vale do Ribeira em São Paulo.

A Figura 3 apresenta o mapa de erodibilidade (fator K) da BHJM, distribuindo as classes de solo na seguinte frequência em relação à área total da bacia: Latossolo Vermelho-Amarelo com 51,68% (6.609,77 ha), Cambissolo Háplico com 24,99% (2.935,47 ha), Argissolo Vermelho-Amarelo com 10,05% (1.180,40 ha) e Gleissolo Melânico com 1,46% (172,05 ha). Ressalta-se que as áreas de cor cinza classificadas como "Indefinido" correspondem às classes de uso de solo antropizadas e à hidrografia com 11,82% (1.387,12 ha).

FIGURA 3 – MAPA DE ERODIBILIDADE (FATOR K) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM



FONTE: Os autores (2020).

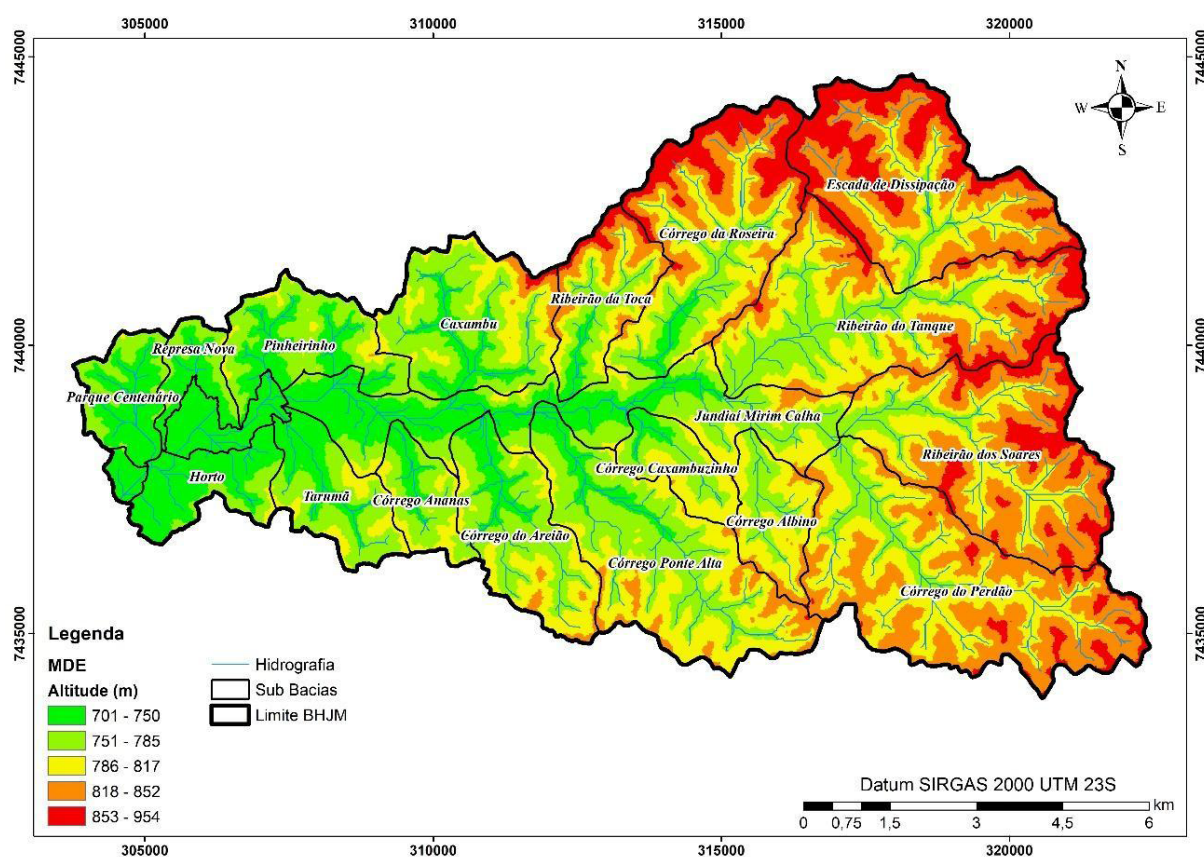
Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005), a erodibilidade do solo está fortemente associada à sua gênese e às suas propriedades como densidade, permeabilidade, estrutura e textura. Assim, o tamanho da partícula do solo (granulometria) afeta diretamente seu deslocamento, de forma que os solos argilosos, por possuírem alta coesão entre suas partículas, apresentam maior escoamento superficial e volume de material transportado do que os solos arenosos, já que estes possuem maior espaço entre suas partículas, permitindo maior infiltração de água e reduzindo a importância relativa do escoamento superficial no balanço hídrico da bacia (SIMONETTI et al., 2019).

O Latossolo Vermelho-Amarelo é caracterizado como bem drenado, sendo que a água subterrânea dele é expurgada facilmente, apresentando uma textura argilosa ou média. O Cambissolo Háplico caracteriza-se como imperfeitamente drenado: sua água é retirada lentamente do solo, porém não fica úmido a maior parte do ano e possui também um nível alto de água subterrânea. O Argissolo Vermelho-Amarelo é caracterizado como

moderadamente drenado e sua água é retirada lentamente no *solum*, mantendo sua umidade na maior parte do ano. Por fim, o Gleissolo Melânico possui uma drenagem muito lenta, conservando seu lençol freático próximo da superfície (IBGE, 2007; NERY et al., 2020).

A BHJM possui uma altitude que varia de 701 m no seu exutório até 954 m onde estão os divisores topográficos correspondentes às sub-bacias Escada de Dissipação e Córrego da Roseira. Aplicando-se as quebras naturais (ou *jenks*) ao MDE, conforme proposto por Toniolo et al. (2021), a bacia passa a ter a seguinte classificação hipsométrica: Curso Baixo (altitude de 701 a 750 m); Curso Baixo-Médio (751 a 785 m); Curso Médio (786 a 817 m); Curso Médio-Alto (818 a 852m) e Curso Alto (853 a 954 m). O rio principal está no Curso Baixo, enquanto a maioria dos seus afluentes encontram-se também entre o Curso Baixo e Curso Baixo-Médio. A Figura 4 apresenta a hipsometria da BHJM.

FIGURA 4 – MAPA HIPSONÉTRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM



FONTE: Os autores (2020).

A declividade da BHJM varia de 0% até 115%, sendo que sua inclinação média é de 16,86% com um desvio padrão de 11,04%, e classificada como de relevo ondulado, conforme EMBRAPA (1979) (Tabela 2).

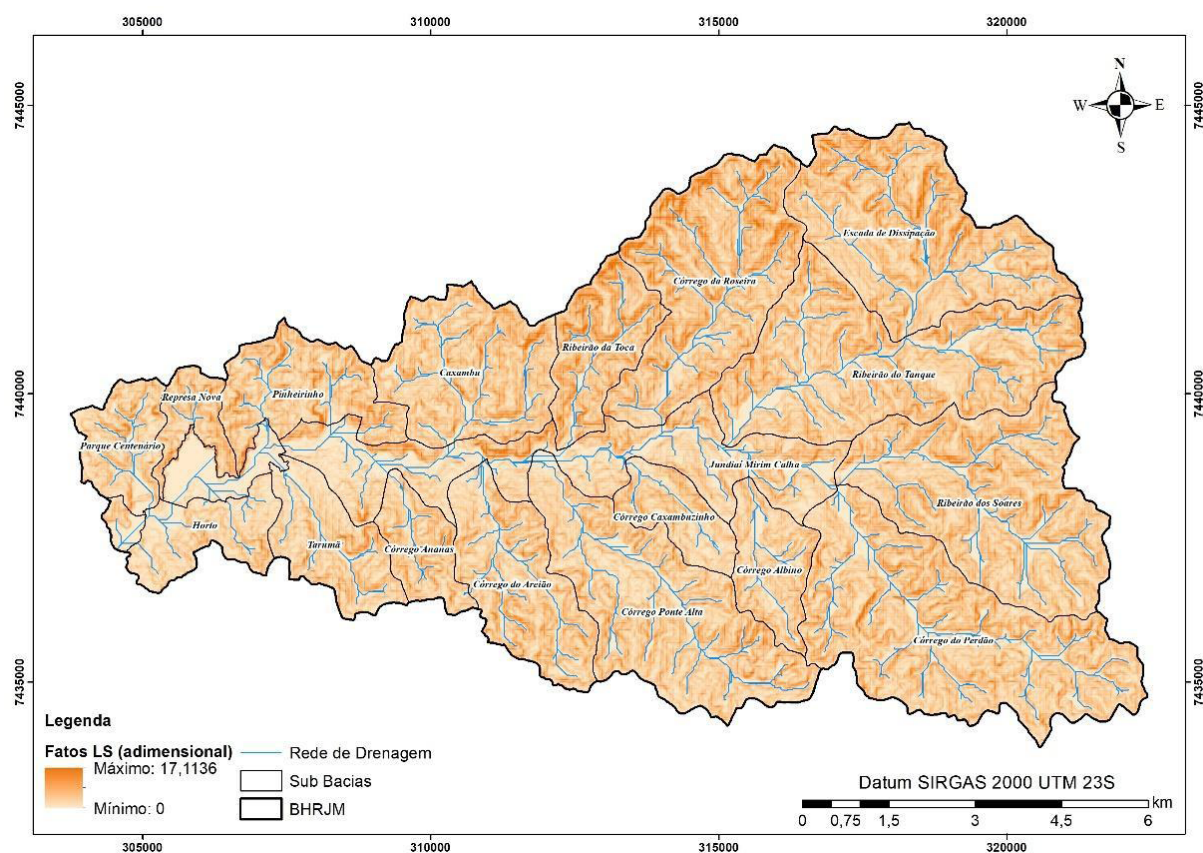
TABELA 2 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CLASSES DE DECLIVIDADE EM RELAÇÃO À ÁREA DE ESTUDO

Classe de declividade (%)	Área (ha)	Frequência (%)
Plano (0 a 3)	1.126,87	9,59
Suavemente Ondulado (3 a 8)	1.909,42	16,26
Ondulado (8 a 20)	4.888,68	41,62
Fortemente Ondulado (20 a 45)	3.644,34	31,03
Montanhoso (45 a 75)	173,71	1,48
Fortemente Montanhoso (> 75)	1,89	0,02
Total	11.744,91	100,00

FONTE: Os autores (2020).

O mapa do fator topográfico (LS) (Figura 5) aponta que a BHJM possui uma variabilidade espacial relativamente expressiva com valores variando de 0 até 17,11, confirmando a rugosidade do relevo e inclinações acentuadas. Os menores valores correspondem à área inundável do rio principal da bacia, isto é, a sub-bacia Jundiá-Mirim Calha e as áreas à jusante das demais áreas de contribuições, correspondendo aos tributários imediatos do Rio Jundiá-Mirim com ordem hídrica Strahler igual a 5. Os maiores valores de LS correspondem aos interflúvios das sub-bacias Ribeirão da Toca, Córrego da Roseira e Escada de Dissipação.

FIGURA 5 – MAPA DE FATOR TOPOGRÁFICO (LS) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM



FONTE: Os autores (2020).

De acordo com Moraes et al. (2003), o relevo da bacia é composto por colinas dissecadas e morros baixos, de topos do tipo convexo com vales de entalhamento mediano, de 30 a 80 metros, e dimensão interfluvial média, entre 750 e 1750 metros, situada na unidade geomorfológica Varginha-Guaxupé, cujo domínio geológico é granito e granulitos.

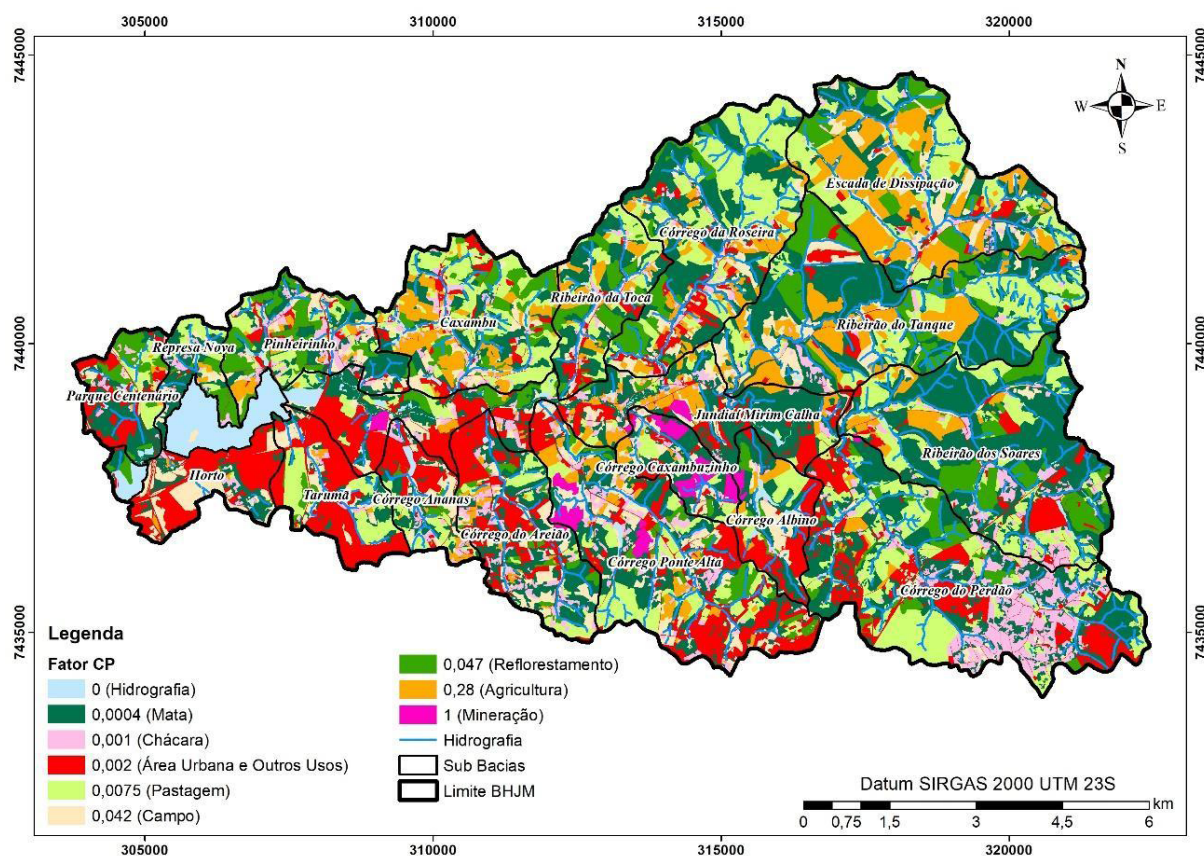
Segundo Stein et al. (1987) e Sales et al. (2021), as nascentes dos cursos d'água mais vulneráveis aos processos erosivos são aquelas localizadas em regiões de elevada altitude e vertentes longas e íngremes, uma vez que estão normalmente condicionadas a maiores velocidades de escoamento superficial, especialmente quando desprovidas de cobertura vegetal. Essas condições facilitam a formação de erosão laminar até voçorocas, pois a direção do fluxo da água tende a ser mais concentrada nas redes de drenagem, carreando assim maiores quantidades de sedimentos.

A Figura 6 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2015 associado ao fator CP dentro da BHRJM, sendo que as áreas antropizadas correspondem

a 31,91% da área total da bacia (3.748,16 ha) e as áreas naturais correspondem a 68,09% (7.996,63 ha). De acordo com Stein et al. (1987) e Silva et al. (2017), na área em estudo, as práticas conservacionistas são inexistentes ou executadas de forma precária, a admitir que o fator P possa ser considerado com um valor comum para o conjunto da área.

Embora as áreas naturais ainda sejam predominantes na BHJM, é evidente que essa situação é transitória devido à alta especulação imobiliária na região que suprime a cobertura vegetal e impermeabiliza-a, dando espaço para a construção de novos empreendimentos residenciais. Na Figura 6, a categoria “Área Urbana e Outros Usos” (cor vermelha) inclui, além de edifícios, os equipamentos públicos, rodovias e áreas de solo exposto.

FIGURA 6 – MAPA DE USO E MANEJO DO SOLO (FATOR CP) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM



FONTE: Os autores (2020).

Analisando a Figura 6, percebe-se que as sub-bacias Horto, Tarumã e Córrego Caxambuzinho apresentam as maiores médias para o fator de uso e manejo do solo – 0,432,

0,376 e 0,319 respectivamente –, pois são áreas com grande concentração urbana e solo exposto, especialmente a Caxambuzinho que possui atividade mineradora cujo CP é o mais alto da BHJM (igual a 1).

Por outro lado, as áreas de contribuição Represa Nova, Ribeirão do Tanque e Escada de Dissipação são as áreas de contribuição que exibem as menores médias do fator CP devido à alta incidência de áreas vegetais e baixa ocupação antrópica: 0,035, 0,062 e 0,071, respectivamente. Durante as visitas de campo, não foram observadas práticas conservacionistas nas áreas de agricultura, isto é, hortaliças e vinhedo. A Tabela 3 apresenta a distribuição das classes de uso e ocupação do solo.

TABELA 3 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (FATOR CP) EM RELAÇÃO À ÁREA DE ESTUDO

Classe de Uso do Solo (Fator CP)	Área (ha)	Frequência (%)
Hidrografia (0)	295,60	2,51
Mata (0,0004)	3.483,64	29,66
Pastagem (0,0075)	2.091,58	17,81
Chácara (0,001)	752,15	6,40
Reflorestamento (0,047)	1.090,51	9,29
Campo (0,042)	1.035,30	8,81
Agricultura (0,28)	1.084,77	9,24
Área Urbana (0,002)	1.125,25	9,58
Outros Usos (0,002)	667,90	5,69
Mineração (1,00)	118,09	1,01
Total	11744,79	100,00

FONTE: Os autores (2020).

A Tabela 4 apresenta a frequência e tamanho das classes da Perda de Solo (A). Conforme representado nessa tabela, e complementada sob a forma cartográfica pela Figura 6, torna-se evidente que a classe de risco Nulo a Muito Baixo é majoritária, correspondendo a mais de 80% da área de estudo. Essa classe está presente em todas as áreas de contribuição, principalmente nas áreas naturais como mata e campo sobre Latossolo Vermelho-Amarelo e em relevo com declividade de até 8%, isto é, suavemente ondulado, além de concentrar a maior parte das águas superficiais e açudes da BHJM. Nessa classe, observam-se áreas urbanas e de mata, indicando que a expansão dos loteamentos se dá nas áreas mais planas e agriculturáveis da bacia.

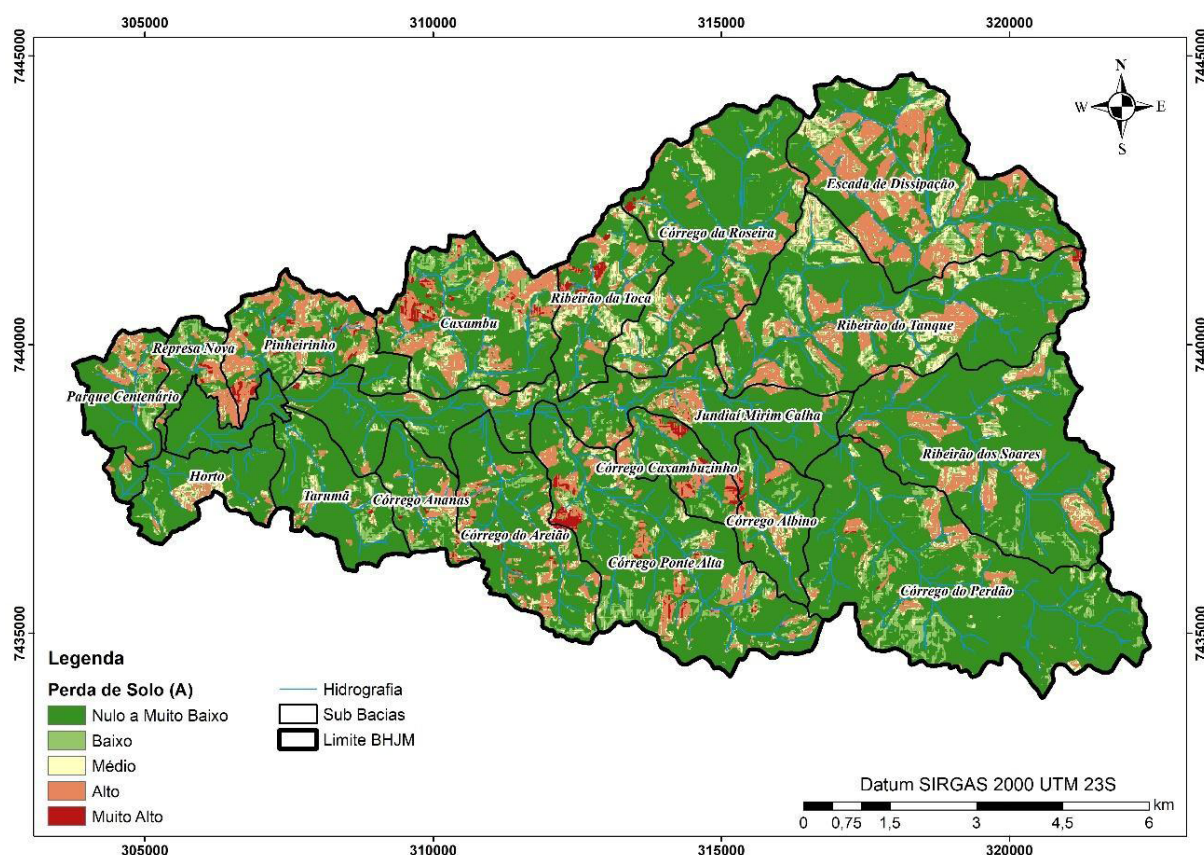
TABELA 4 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CLASSES DA PERDA DE SOLO (A) EM RELAÇÃO À ÁREA DE ESTUDO

Classe de Risco (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Área (ha)	Frequência (%)
Nulo a Muito Baixo (0 a 10)	9.457,89	80,68
Baixo (10 a 15)	357,89	3,05
Médio (15 a 50)	1.170,84	9,99
Alto (50 a 200)	633,46	5,40
Muito Alto (> 200)	102,39	0,88
Total	11.722,28	100,00

FONTE: Os autores (2020).

A classe de perda de solo categorizada como de risco Baixo está presente em todas as áreas de contribuição, mas de forma espalhada, destacando-se nas sub-bacias Ribeirão do Tanque e Escada do Dissipação (Figura 7).

FIGURA 7 – MAPA DE PERDA DE SOLO (A) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM



FONTE: Os autores (2020).

A classe de risco Médio (perda de solo de 15 a 20 t.ha⁻¹.ano⁻¹) corresponde a 10% da área da BHJM, estando mais presente em regiões de Latossolo Vermelho-Amarelo e em classes de campo e reflorestamento. Nessa classe, mais frequente nas sub-bacias Ribeirão dos Soares e Pinheirinho, destaca-se a presença de pastagem e chácaras.

As categorias de risco de perda de solos Alto até Muito Alto, somadas, correspondem a 6,28% da área de estudo, conforme a Tabela 4. Essas classes se situam nas regiões de solos mais erodíveis, como Gleissolo Melânico e Argissolo Vermelho-Amarelo, nos quais predominam atividades de agricultura e mineração.

Na Tabela 5, representada cartograficamente pela Figura 7, pode-se observar a frequência, tamanho das classes e distribuição espacial do Risco de Erosão Emergente (REE), destacando-se a classe de risco Nulo a Muito Baixo, presente em aproximadamente 80% da área de estudo.

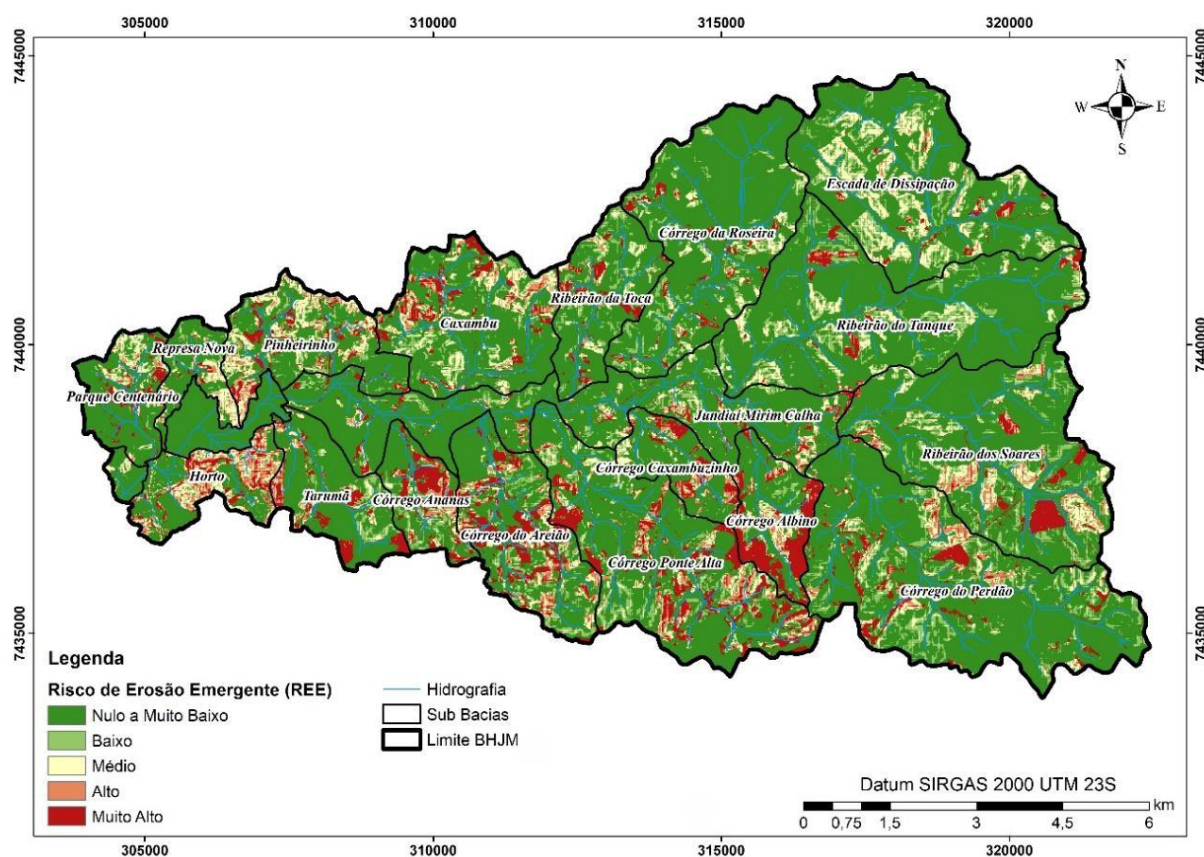
TABELA 5 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CLASSES DE RISCO DE EROÇÃO EMERGENTE EM RELAÇÃO À ÁREA DE ESTUDO

Classe de Risco	Área (ha)	Frequência (%)
Nulo a Muito Baixo (0 a 1)	8.365,08	71,22
Baixo (1 a 2)	1.049,77	8,94
Médio (2 a 5)	950,42	8,09
Alto (5 a 10)	471,58	4,02
Muito Alto (> 10)	907,31	7,73
Total	11.744,17	100,00

FONTE: Os autores (2020).

A BHJM exibiu uma variação espacial bem destacada, com valores menores que 1 (classe Muito Baixo) e maiores que 10,0 (classe Muito Alto), de maneira que em algumas situações a erosão supera em mais de dez vezes a formação pedológica (Figura 8). As zonas de maior Risco de Erosão Emergente (REE) estão localizadas nas sub-bacias Córrego Ananas, Córrego do Areião e Córrego Albino, situadas sobre o Cambissolo Háplico.

FIGURA 8 – MAPA DE RISCO DE EROSÃO EMERGENTE (REE) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM



FONTE: Os autores (2020).

O entorno da foz do Rio Jundiá-Mirim e de seus principais afluentes situa-se em relevo do tipo plano, isto é, declividade de até 3%, com predominância de vegetação secundária e sobre Argissolo Vermelho-Amarelo (BATALHA, 2006; ROSSI, 2017).

Segundo metodologia descrita por Horton (1945), a hierarquia fluvial da BHJM é de sexta ordem, sendo esta correspondente ao seu curso d'água principal, o Rio Jundiá-Mirim com um comprimento de 12,81 km. Existem duas redes de drenagem de quinta ordem, sendo que uma é o Ribeirão do Tanque com extensão aproximada de 4 km.

As redes de drenagem principais de quarta ordem são o Ribeirão dos Soares, com uma extensão de 3,36 km, e o Córrego do Perdão, com 3,31 km. Já a rede de drenagem de terceira ordem contempla mais cursos d'água, como o Córrego Ananás, o Córrego do Areião, o Ribeirão da Toca e o Córrego da Roseira, por exemplo, totalizando uma extensão de 39,77 km. A rede de drenagem de segunda ordem possui um comprimento total de 66,06 km, e, finalmente, aquela de primeira ordem atinge um comprimento total de 130,19 km.

Ressalta-se que as extensões supracitadas são válidas para um limiar de fluxo acumulado do escoamento superficial maior ou igual a 500 pixels, pois segundo Oliveira et al. (2007), quanto menor o limite do fluxo acumulado, mais densa a rede de drenagem tende a ser. Dessa forma, para esse limiar de 500 células, a BHJM possui 408 nascentes e/ou olhos d'água inferidos. Nota-se também que a maioria dos cursos d'água estão localizados em regiões de perda de solo da classe Muito Fraca.

A Tabela 6, expressa cartograficamente pela Figura 8, apresenta a frequência de distribuição e espacialização das classes de Risco de Erosão Potencial (REP). Na BHJM predominou a categoria de risco Muito Alto. Esse resultado é corroborado por estudo prévio de Batalha (2006), no qual predominou a classe de risco Muito Alto, atingindo 45,4% da BHJM. Já para este estudo, a segunda classe mais frequente foi a do tipo Muito Baixo, enquanto, para Batalha (2006), a segunda classe mais frequente foi a do tipo Alto.

Ressalta-se que a diferença a mais da área total da BHJM, para Batalha (2006), ocorre por causa da resolução espacial da imagem matricial quando recortada. Todavia esse autor simplificou a erosividade, pois adotou como uma só para toda BHJM, além de usar uma quantidade maior de classes pedológicas, destacando-se o Neossolo Litólico, Gleissolo Háplico e Neossolo Flúvico. Essa mudança metodológica potencializou as classes Alto e Muito Alto, as quais, somadas, corresponderam a 98,1% da BHJM.

As classes intermediárias abaixo da categoria Muito Alto se dispõem de forma dispersa ao longo das áreas de contribuição. Observa-se que as sub-bacias Tarumã, Jundiá-Mirim Calha e Córrego do Perdão são as que possuem as maiores áreas de categorias de risco Baixo (Figura 9).

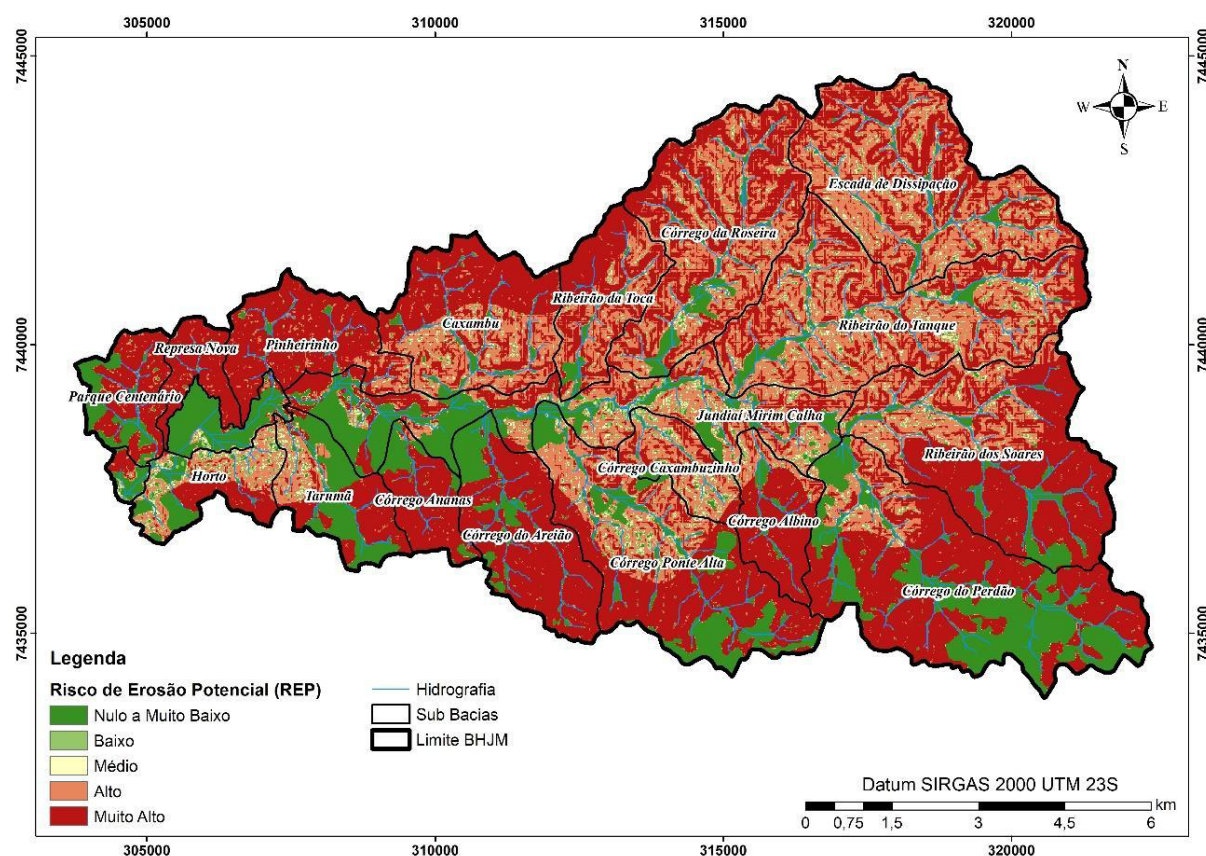
Comparando-se as Figuras 8 e 9, fica evidente que o Fator CP atua como um elemento mitigador dos processos erosivos, uma vez que o cenário do Risco de Erosão Potencial (REP) (Equação 6) apresenta maior criticidade em relação ao cenário de Risco de Erosão Emergente (REE) (Equação 4). Considerando a classe de risco Muito Alto, a fragilidade no meio físico é mais de seis vezes maior que no meio antrópico. Isto pode ser justificado pelos baixos valores do fator CP atribuídos às áreas antropizadas, uma vez que a impermeabilização do solo tende a gerar baixa produção de sedimentos em áreas planas, quando associada à intensa ocorrência pluviométrica e declividade acentuada (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005; BORGES, 2009).

TABELA 6 – DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CLASSES DO REP EM RELAÇÃO À ÁREA DE ESTUDO PARA OS AUTORES

Classe de Risco	Batalha (2006)		Dados deste estudo	
	Área (ha)	Frequência (%)	Área (ha)	Frequência (%)
Nulo a Muito Baixo (0 a 2)	218,63	1,86	2.094,41	17,83
Baixo (2 a 4)	7,26	0,06	342,56	2,92
Médio (4 a 6)	3,05	0,03	376,38	3,21
Alto (6 a 20)	6183,17	52,63	3125,7	26,61
Muito Alto (> 20)	5.337,23	45,42	5.804,34	49,43
Total	11.746,29	100,00	11.743,39	100,00

FONTE: Os autores (2020).

FIGURA 8 – MAPA DE RISCO DE EROÇÃO POTENCIAL



FONTE: Os autores (2020)

Com base nos resultados obtidos pela EUPS (Equação 1), na BHJM, perde-se em média 29,46 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de solo se considerarmos o risco emergente (A), ou 311,62 t.ha⁻¹.ano⁻¹ se considerarmos o risco potencial (A'). Ainda, o valor máximo de perda de solo para A

pode atingir 2.788,86 t.ha⁻¹.ano⁻¹, e 8.115,32 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para A', em áreas que compartilham altos valores de inclinação, situadas em Argissolo Vermelho-Amarelo.

A Tabela 7 apresenta as perdas de solo estimadas (A e A') para cada sub-bacia da BHJM. Verifica-se que a perda total de solo na área de estudo para o aspecto potencial (A') é quase que 15 vezes maior que o aspecto emergente – isso ratifica a necessidade de implantação de práticas conservacionistas ou a melhora das existentes para que se mitigue a degradação ambiental nas áreas agrárias e urbanas.

TABELA 7 – PERDAS DE SOLOS (A E A') ESTIMADAS PARA AS SUB-BACIAS DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM

Sub-Bacia	Perda de Solo (A) (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)			Perda de Solo (A') (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)		
	Máx.	Média	Total	Máx.	Média	Total
Caxambu	237,42	3,84	162.146	509,23	46,21	3.043.796
Córrego Albino	430,02	27,53	508.603	573,12	86,59	2.498.922
Córrego Ananas	363,12	19,70	288.216	613,45	105,07	2.399.381
Córrego Caxambuzinho	278,25	3,98	58.186	298,78	16,31	371.976
Córrego da Roseira	242,29	0,83	51.416	602,01	23,09	2.223.019
Córrego do Areião	533,11	15,45	550.528	711,41	107,30	5.976.061
Córrego do Perdão	555,48	5,83	51.544	944,23	76,34	10.546.526
Córrego Ponte Alta	642,60	9,61	621.757	704,00	59,65	6.027.098
Escada de Dissipação	56,65	0,877	58.288	357,89	18,39	1.906.906
Horto	261,87	4,47	84.612	588,35	32,05	947.211
Jundiaí-Mirim Calha	350,99	1,32	79.789	866,13	16,98	1.598.736
Parque Centenário	244,48	5,27	89.331	488,24	51,89	1.373.033
Pinheirinho	250,75	5,30	150.702	480,50	75,47	3.350.790
Represa Nova	174,13	2,17	21.952	487,41	87,41	1.379.131
Ribeirão da Toca	165,45	2,08	51.068	895,61	50,66	1.939.686
Ribeirão do Tanque	74,03	0,82	64.382	611,89	19,10	2.341.360
Ribeirão dos Soares	397,08	4,82	345.661	839,70	78,27	8.763.031
Tarumã	490,12	8,95	207.944	646,58	50,64	1.829.555
BHJM	642,15	5,21	3.910.025	944,23	49,98	58.516.218

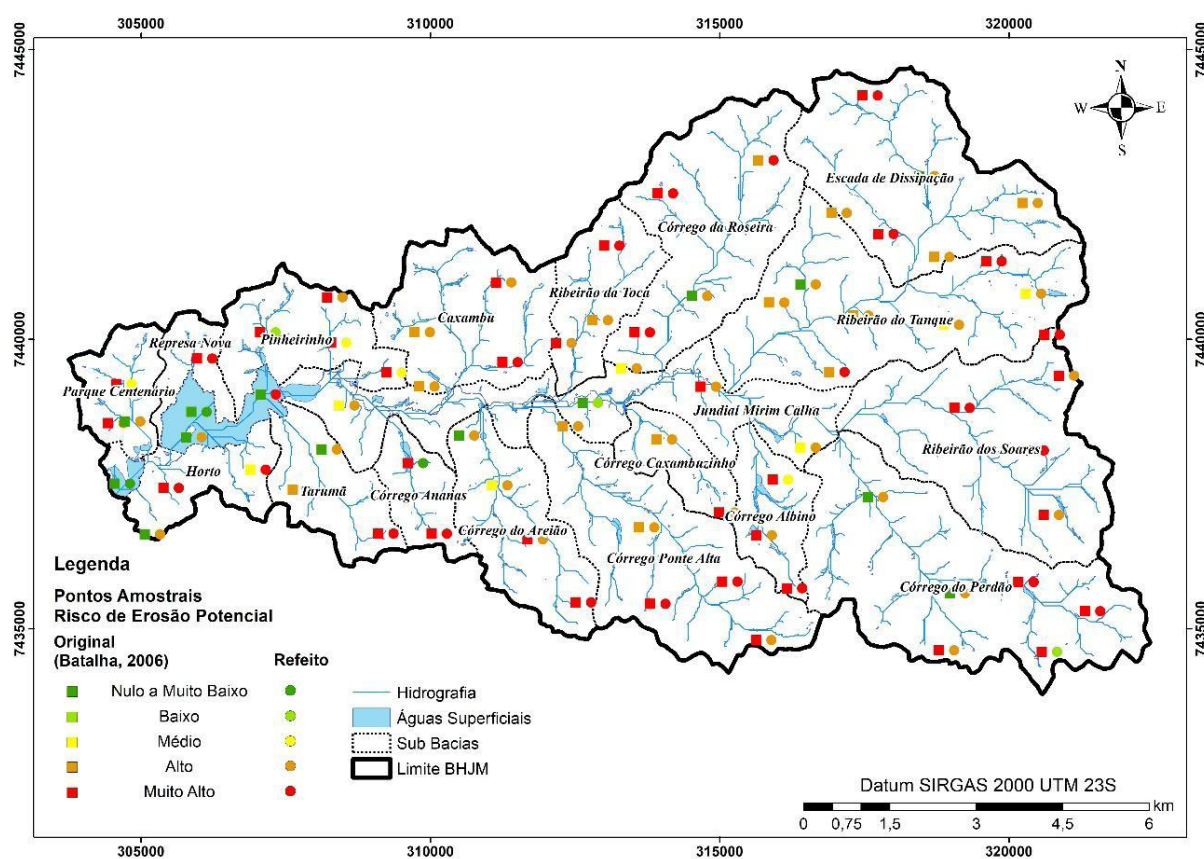
FONTE: Os autores (2020)

Analisando a Tabela 7, nota-se que a perda de solo emergente média (A) para a BHJM é 5,21 t.ha⁻¹.ano⁻¹, a ser classificada com uma capacidade de Nulo para Muito Baixo de desagregação das partículas da superfície. Já a perda de solo potencial média (A') é quase 50 t.ha⁻¹.ano⁻¹, classificada como Médio. A sub-bacia que apresenta maior perda de solo

potencial é a Córrego Ponte Alta; já para o aspecto emergente (A), a área de contribuição que mais produz perda de solo é a Córrego do Perdão.

A Figura 9 apresenta o mapa que compara os valores do REP de Batalha (2006), simbolizados pelo formato circular, e os valores do REP reproduzidos (formato quadrático). Nota-se uma baixa concordância de risco, sendo a classe que se apresentou como mais concordante a de Muito Alto, com 20 acertos, seguida da classe Alto com 12 acertos, seguida pela Muito Baixo com somente dois acertos, e, por fim, as classes Baixo e Médio com nenhuma coincidência.

FIGURA 9 – MAPA COMPARATIVO DOS VALORES DO REP



FONTE: Os autores (2020).

Segundo Gaboardi (2003), o índice de Kappa é usado frequentemente para analisar a concordância de mapas de uso e ocupação do solo, os quais são uma variável importante para se determinar o risco de erosão. Contudo não há um embasamento teórico que indique parâmetros mínimos de aceitação, dificultando a qualidade da validação.

Assim, o índice de Kappa obtido foi de 0,178, que é classificado segundo Prina e Trentin (2015) como ruim. Esse valor de baixa acurácia entre os valores de risco de erosão potencial pode ser explicado pelo fato que Batalha (2006) usou dados com propriedades físicas distintas na composição da EUPS simplificada (A'), conforme sintetiza a Tabela 8.

TABELA 8 – COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS NA COMPOSIÇÃO DE A' ENTRE OS AUTORES

Parâmetro	Batalha (2006)	Dados deste estudo
Fator LS	Convergente: mesma fórmula utilizada de Bertoni; Lombardi Neto (2005), porém com valores variando de 0 até 50.	Convergente: mesma fórmula utilizada de Bertoni; Lombardi Neto (2005), porém com valores variando de 0 até 17.
Fator R	Divergente: valor único de $R = 6757 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$.	Divergente: valores variáveis de R, de 14.548 até $15.025 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$.
Fator K	Divergente: valor de K variando de 0,0073 até $0,0362 \text{ ton.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.	Divergente: valor de K variando de 0 até $0,069725 \text{ ton.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.
Fator T	Divergente: valor de T variando de 4,20 até $14,20 \text{ ton.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.	Divergente: valor de T variando de 0 até $11,53 \text{ ton.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.

FONTE: Os autores (2020).

Segundo Mannigel et al. (2002), o Neossolo Flúvico apresenta uma variação grande em suas características físicas e morfológicas, possuindo baixo nível de desenvolvimento pedogenético. Esse solo muitas vezes precisa ser drenado e adubado para oferecer boa produção agrícola. Também apresenta risco de inundação e baixa fertilidade, devido ao excesso de umidade pela proximidade do lençol freático com a superfície. Batalha (2006) atribuiu a esse solo um valor de erodibilidade (fator K) igual a $0,0249 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ e uma tolerância a perda de solo (T) igual a $6,70 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

5 Conclusão

O uso da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) espacializada na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim mostrou ser de grande valia em estudos que envolvam análise ambiental, já que possibilita mensurar a quantidade de solo erodido e confeccionar mapas temáticos que indiquem as regiões mais suscetíveis aos processos erosivos, seja por indução natural (REP) ou pela ação antrópica (REE).

A análise mostrou que o avanço da mancha urbana associada à ausência de práticas conservacionistas nas áreas agropastoris não mitiga o processo degradante da erosão hídrica e do transporte de sedimentos às áreas naturais. As áreas de solo exposto, agricultura

e mineração podem intensificar em até 13 vezes a perda de solo (fator CP), prejudicando o escoamento superficial e, conseqüentemente, a retenção e produção de água.

É notável a influência da declividade do terreno associada aos aspectos geológicos e antrópicos nos processos erosivos da BHJM, uma vez que o fator LS contribui no processo de infiltração da água ao solo, tanto na velocidade como no volume, de forma que regiões com relevo acidentado e elevada erodibilidade tem seu risco de erosão aumentado. Cerca de 80% da área total da bacia se encontra como risco muito baixo de erosão potencial (REP) e aproximadamente 48% é classificada como risco muito alto de erosão emergente (REE).

Dada a importância da BHJM como uma bacia produtora de água, a abastecer 95% da demanda do município de Jundiaí, a sua vulnerabilidade à escassez hídrica tem sido cada vez mais evidente. Um programa conservacionista associado à recuperação de remanescentes florestais e APPs, notadamente na área rural, torna-se imprescindível para mitigar os impactos ambientais negativos dos processos erosivos, de maneira a recuperar os mananciais e proteger a qualidade da água de corpos hídricos dessa bacia, beneficiando a população.

Referências

ANDRADE, E. L.; FARIA, C. C.; MAIA JUNIOR, L. P.; TAKIKAWA, B. Y.; MANOEL, M. P. S.; RIBEIRO, A. I.; MEDEIROS, G. A. Impacto dos fatores topográficos e do uso e cobertura da terra na qualidade das águas da bacia do córrego da Roseira, Jundiaí, São Paulo – Brasil. **Raega**, v. 51, p. 58-80, 2021.

BATALHA R. M. P. **Expectativa de risco de degradação dos recursos hídricos na Bacia do Rio Jundiaí Mirim**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

BATISTA, R. A. W.; NERY, L. M.; MATUS, G. N.; SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Estimativa do fator de erosividade do solo da região do Vale do Ribeira Paulista, Brasil. **Formação**, v. 28, p. 441-460, 2021.

BEGHELLI, F. G. S.; CARVALHO, M. E.; PECHE FILHO, A.; MACHADO, F. H.; CARLOS, V. M.; POMPÊO, M.; RIBEIRO, A. I.; MEDEIROS, G. A. Uso do índice de estado trófico e análise rápida da comunidade de macro invertebrados como indicadores da qualidade ambiental das águas na Bacia do Rio Jundiaí-Mirim-SP-BR. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 1, n. 1, p. 13-22, 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.

CORRÊA, E. A.; MORAES, I. C.; PINTO, S. A. F. Estimativa da erodibilidade tolerância de perdas de solo na região do centro leste paulista. **Geociências**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 848-860, 2015.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

DE CARLI, B. P.; SOUZA, J. C.; SOUSA, J. A. P.; SHOEGIMA, T. F.; ROMERO BARREIRO, M. P.; DUTRA, A. C.; MEDEIROS, G. A.; RIBEIRO, A. I.; BRESSANE, A. Relationship between land use and water quality in a subtropical river basin. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 7, n. 3, p. 245-261, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979.

FENGLER, F. H.; MORAES, J. F. L.; RIBEIRO, A. I.; PECHE FILHO, A.; STORINO, M.; MEDEIROS, G. A. Qualidade ambiental dos fragmentos florestais na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim entre 1972 e 2013. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 402-408, 2015.

FIORIO, P. R. **Avaliação cronológica do uso da terra e seu impacto no ambiente da microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro da região de Piracicaba, SP**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

GABOARDI, C. **Utilização de imagens de coerência SAR para classificação do uso da terra: Floresta Nacional de Tapajós**. 139 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**, v. 56, p. 275-370, 1945.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 4).

LAGROTTI, Carlos Alberto Arantes. **Planejamento agroambiental do município de Santo Antonio do Jardim - SP: estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego do jardim**. 124 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2000.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; MARTINS, A. C. G.; SALES, J. C. A.; ROVEDA, S. R. M. M.; ROVEDA, J. A. F. Use of fuzzy systems in the elaboration of an anthropic pressure indicator to evaluate the remaining forest fragments. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, p. 1-8, 2015.

MACHADO, F. H.; FENGLER, F. H.; MEDEIROS, G. A. Políticas públicas e proteção ambiental: análise das medidas legais aplicáveis a uma bacia hidrográfica paulista. **Veredas do Direito**, v. 16, n. 35, p. 367-402, 2019.

MACHADO, F. H.; GONTIJO, E. S.; BEGHELLI, F. G.; FENGLER, F. H.; MEDEIROS, G. A.; PECHE FILHO, A.; MORAES, J. F.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I. Environmental impacts of inter-basin water transfer on water quality in the Jundiá-Mirim river, South-east Brazil. **International Journal of Environmental Impacts**, v. 1, n. 1, p. 80-91, 2018.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MEIRA, R. T.; SABONARO, D. Z.; SILVA, D. C. C. Elaboração de Carta de Adequabilidade Ambiental de uma pequena propriedade rural no município de São Miguel Arcanjo, São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 77-84, 2016.

MORAES, J. F. L.; CARVALHO, Y. M. C.; PECHE FILHO, A. Diagnóstico agroambiental para a gestão e monitoramento da Bacia do Rio Jundiá-Mirim. In: HAMADA, E. (Ed.). *Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. cap. III. CD-ROM.

MOREIRA, M. C.; PRUSKI, F. F.; OLIVEIRA, T. E. C.; PINTO, F. A. C.; SILVA, D. D. NetErosividade MG: Erosividade da chuva em Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1349-1353, 2008.

NERY, L. M.; SIMONETTI, V. C.; MACHADO, L. P.; SILVA, D. C. C. Geotecnologias aplicadas na análise do risco de contaminação de poços de água no município de Sorocaba, SP. **Holos Environment**, v. 20, p. 214-230, 2020.

OLIVEIRA, B. O. S.; PEREIRA, N. X.; BARBOSA, T. C. C.; NOGUEIRA, L. R. S.; MEDEIROS, G. A.; RIBEIRO, A. I. Avaliação da disposição de resíduos sólidos na paisagem da bacia hidrográfica do rio Jundiá Mirim, Jundiá – SP. **Revista Valore**, v. 6, e-6014, 2021.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, D. C. C.; SIMONETTI, V. C.; STROKA, E. A. B.; SABONARO, D. Z. Proposição de Corredor Ecológico entre duas Unidades de Conservação na Região Metropolitana de Sorocaba. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 32, p. 61-71, 2016.

OLIVEIRA, S. N.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SILVA, T. M.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F.; SILVA, N. C. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 8, n. 1, p. 11, 2007.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. GMC: geração de matriz de confusão a partir de uma classificação digital de imagem do ArcGIS. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2015. p. 131-139.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paul, USP, v. 16, n. 1, p. 81- 90, 2005.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. v. 1.

SALES, J. C. A.; SILVA, D. C. C.; SIMONETTI, V. C.; NERY, L. M.; LOURENÇO, R. W. Relação entre a integridade da mata ciliar e a distribuição de renda na Bacia Hidrográfica do Rio Una. **Scientia Plena**, v. 17, p. 075301, 2021.

SANTOS, J. G. GIS-based hazard and risk maps of the Douro river basin (north-eastern Portugal). **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 6, n. 2, p. 90-114, 2015.

SIMONETTI, V. C.; SABONARO, D. Z.; LOURENÇO, R. W.; ROSA, A. H.; SILVA, D. C. C. Análise da variabilidade espacial horizontal e vertical dos atributos do solo e sua relevância para o Parque Natural Chico Mendes, SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 2537-2550, 2019.

SILVA, C. O. F.; MEDEIROS, G. A. Cálculo da compensação ambiental de transposição fluvial entre bacias utilizando análise de paisagem: estudo de caso na Bacia do Rio Jundiá Mirim. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60848-868, 2020.

SILVA, C. O. F.; MEDEIROS, G. A. Avaliação ambiental e morfométrica da bacia do rio Jundiá-Mirim: diagnósticos e subsídios para gestão ambiental. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 7, n. 2, p. 441-454, 2017.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. **Revista Ra'e Ga - Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 72-85, 2017.

SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A.; SIMONETTI, V. C.; LOURENÇO, R. W. Análise espacial do custo de reposição de nutrientes do solo em uma bacia hidrográfica. **RAMA - Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, p. 189-212, 2020.

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

TAKIKAWA, B. Y.; SILVA, D. C. C.; LOURENÇO, R. W. Proposta metodológica para elaboração de um indicador de fragilidade ambiental para fragmentos florestais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, p. e170587, 2021.

TERAMOTO, E. T.; SILVA, D. C. C.; SANTOS, C. M.; MACHADO, L. P.; ESCOBEDO, J. F. Estimativa da radiação global diária a partir de variáveis meteorológicas comuns em ambiente subtropical úmido. **Nativa**, v. 7, p. 693-701, 2019.

TONIOLO, B. P.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, D. C. C.; LOURENÇO, R. W. Indicadores morfométricos como instrumento de gestão da bacia hidrográfica do Rio Cotia (SP). **Holos Environment**, v. 21, p. 282-302, 2021.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington: USDA/ARS, 1978.