



## Simulação do potencial de perda de solos em bacias hidrográficas agrícolas, considerando variabilidade nos padrões de chuva

### Simulation of potential of soil loss in agricultural watershed, considering variability in erosivity rainfall patterns

Luiz Henrique Pereira<sup>1(\*)</sup>

Eder Paulo Spatti Jr.<sup>2</sup>

Sergio dos Anjos Ferreira Pinto<sup>3</sup>

#### Resumo

Modelos espaciais dinâmicos configuram-se em importantes ferramentas para o planejamento territorial por viabilizar simulações numéricas dos processos naturais. A Equação Universal de Perdas de Solos - EUPS caracteriza-se em um modelo desenvolvido para estimar o potencial de perdas de solo de longo prazo, tendo a ação das chuvas como força motriz do processo erosivo. No entanto, deve-se considerar que a adoção de médias pluviométricas anuais pode atenuar significativamente as estimativas, sugerindo intervenções incompatíveis com os totais de perda de solo que ocorrem em épocas de máxima pluviosidade. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as variações do potencial de perda de solo por erosão lâmina hídrica, considerando simulações de distintos cenários em termos de valores de erosividade das chuvas. Os resultados obtidos indicam que há uma diferença de 4.000 MJ.mm/ha<sup>-1</sup>ano a mais do valor da erosividade do período chuvoso se comparado à média anual, representando uma diferença de mais de 2 toneladas de perda de solo por hectare por ano<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** modelagem geoespacial; EUPS; erosividade das chuvas.

1 MSc.; Geógrafo; Pesquisador na IDGeo, ESALQ/USP; Endereço: Parque Tecnológico da Esalq/USP – ESALQ/Tec. Avenida Limeira, 1131, Sala 4B - Piracicaba, São Paulo, Brasil; E-mail: [luiz.pereira@idgeo.com.br](mailto:luiz.pereira@idgeo.com.br) (\*) Autor para correspondência.

2 Dr.; Geógrafo e Pesquisador do Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Universidade Estadual Paulista (UNESP).

3 Professor titular do Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Universidade Estadual Paulista (UNESP).



## Abstract

Dynamic spatial models configured in important tools for the territorial planning by enabling numerical simulations of natural processes. The Universal Soil Loss Equation (USLE), it is characterized in a model developed to estimate the long term potential of soil losses, with the action of rain as the driving force of the erosive process. However, it should be considered that the adoption of annual average rainfall can significantly attenuate estimates, suggesting interventions incompatible with the total soil loss that occur in maximum rainfall seasons. Thus, this study aimed to evaluate the variations of the potential for soil loss by water erosion, considering different scenarios of simulations in terms of absolute values of rainfall erosivity. The results indicate that there is a difference of 4,000 MJ.mm/ha<sup>-1</sup>ano the more the value of the erosivity of the rainy season compared to the annual average, a difference of more than 2 tons of soil loss by hectare per year.

**Key words:** geospatial modeling; USLE; rainfall erosivity.

## Introdução

Considerando que a produção de alimentos está, em parte, vinculada às condições de fertilidade dos solos, deve haver uma atenção especial para os aspectos relacionados às técnicas de planejamento de uso da terra, a fim de diminuir os efeitos da erosão acelerada que, além do impacto significativo sobre o solo, atingem também os recursos hídricos, a vegetação natural e a biodiversidade.

Bertoni e Lombardi Neto (1993) enfatizam a importância do planejamento para a ocupação agrícola das terras, como um instrumento essencial, servindo de suporte para as atividades de produção de alimentos e de matérias-primas, devendo ser conduzido por meio de técnicas que proporcionem a sustentabilidade das atividades produtivas,

assegurando o equilíbrio ambiental.

Neste sentido, modelos dinâmicos espaciais configuram-se em importantes ferramentas ao planejamento territorial por viabilizar simulações numéricas dos processos naturais, sendo capaz de representar variações ocorridas em uma parcela da superfície terrestre sob diferentes condições ambientais.

Observa-se diversas áreas da Geociências que abordam a avaliação de riscos de erosão laminar hídrica dos solos adotam o modelo Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS (WISCHMEIER; SMITH, 1978) como ferramenta de análise. A EUPS caracteriza-se em um modelo determinístico, desenvolvido para estimar perdas de solo de longo prazo, em parcelas agrícolas, sob condições específicas de cultivos, práticas de manejo e características geomorfológicas da área, tendo a ação das



chuvas como força motriz do processo erosivo (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Nesta equação, as perdas de solo médias anuais, por área unitária, são dadas pelo seguinte produto (Equação 1).

$$A = R \cdot K \cdot (L \cdot S) \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Em que

A = Perda média de solo por ano ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ); R – Fator de Erosividade da chuva: é função do poder erosivo das chuvas ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ); K – Fator de Erodibilidade dos solos ( $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ); L - extensão de vertente (m) e S - declividade ( $\text{m/m} = \%$ ) as variáveis L e S; C - Fator de uso da terra e cobertura vegetal (adimensional); P - Fator de práticas conservacionistas e manejo (adimensional).

Com a vantagem de ser composta por poucas variáveis e baixa complexidade na combinação de seus termos componentes, a EUPS é indicada em função de sua robustez (capacidade de generalização), com estimativas quantitativas passíveis de relativização com dados observados em campo e comparação com outras áreas geográficas (desde que se considerem os mesmos procedimentos metodológicos de extração e obtenção dos dados dos parâmetros envolvidos).

No entanto, deve-se considerar que a adoção de médias pluviométricas anuais pode atenuar significativamente

as estimativas, sugerindo intervenções antrópicas incompatíveis com os totais de perda de solo que ocorrem em épocas de máxima pluviosidade, uma vez que os padrões de distribuição das chuvas podem concentrar o potencial erosivo em curtos períodos ao longo do ano hidrológico. Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar as variações do potencial de perda de solo por erosão laminar hídrica, considerando simulações de distintos cenários em termos de valores de erosividade das chuvas. Serão simulados também as alterações da dinâmica dos processos erosivos na bacia hidrográfica considerando as atuais condições de uso e cobertura da terra (2016) em um cenário com o mínimo de intervenção antrópica na área (1960).

## Material e Métodos

A área de estudo, conforme indicado na figura 1, localiza-se no município de Ipeúna, centro-leste do estado de São Paulo, e compreende área aproximada de 30.000 ha ( $30 \text{ km}^2$ ).

Em termos geomorfológicos, a bacia hidrográfica insere-se na Depressão Periférica Paulista, com litologias predominantemente arenosas e presença de maciços residuais das cuestas arenito-basálticas em seu alto curso, com cotas altimétricas máximas de 1000 m. A síntese descritiva dos principais elementos físicos e biológicos atuantes no processo erosivo está indicada na tabela 1.



Figura 1 - Localização da área de Estudo. Bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande-SP. Situada na porção Centro-leste do estado de São Paulo, inserida na Depressão Periférica Paulista, com médias anuais de chuva de 1.250 mm.

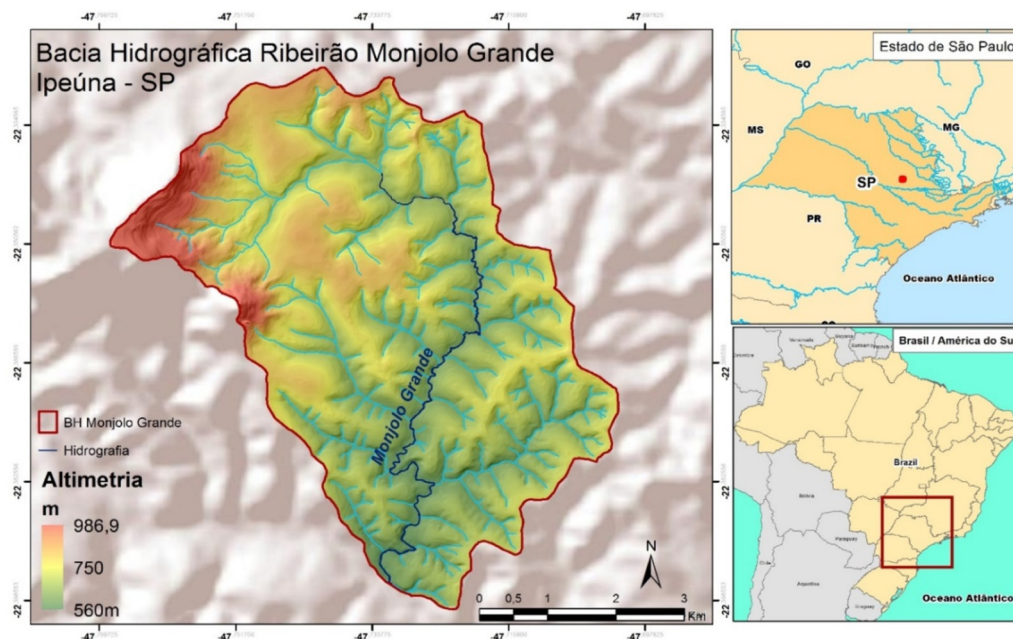


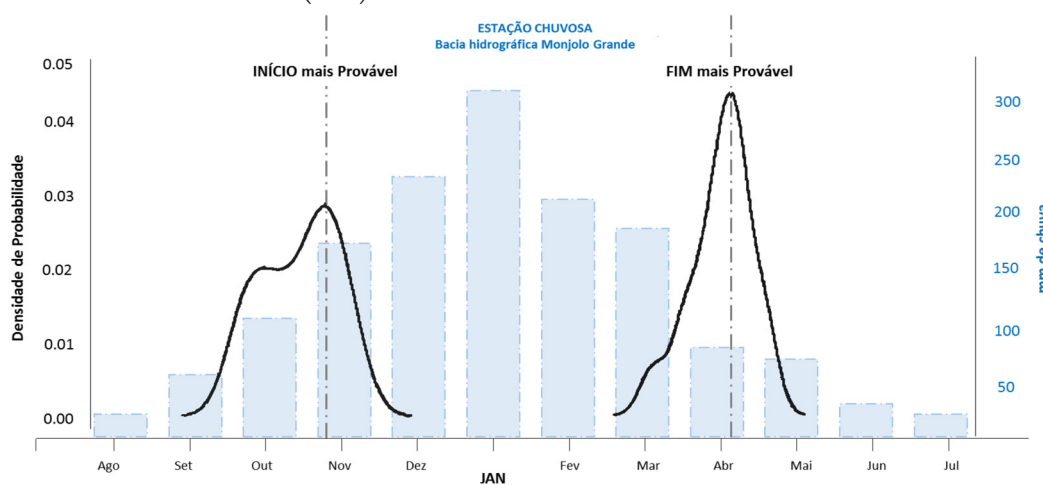
Tabela 1 - Caracterização dos principais elementos físicos, geomorfométricos e antrópicos presentes na bacia hidrográfica em análise

Elementos predominantes	Bacia Hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande-SP
Geologia	Fm. Piramboia (Arenito)
Solos	Neossolo Quartzarênico (Rq) e Latossolo Vermelho Amarelo (LA)
Textura (Predominância)	Arenosa
Porosidade	Alta - (>30%)
Densidade de drenagem	Média
Uso e cobertura da terra	Áreas de Pastagem e talhões de cana-de-açúcar
Geometria da bacia	Arredondada



A distribuição das chuvas e as variações de temperatura ao longo do ano enquadram-se no tipo CWa, com precipitação média anual de 1.250 mm. Destaca-se o fato de que 80% das chuvas anuais concentram-se em 4 meses, no período de novembro a março (Figura 2).

Figura 2 - Curva Densidade Probabilidade (CDP): determinação estatísticas do Início, duração e fim do período chuvoso (distribuição, linha contínua). Precipitação média mensal (mm)



Fonte: Modificado de CPTEC/INPE (2016)..

Conforme indicado, adotou-se neste trabalho a Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS, descrita por Wischmeier e Smith (1978), com adequações de valores de referência (Fatores K, C e P) e procedimentos para extração dos fatores L e S, conforme em Pereira (2010). Desta forma, a operacionalização do modelo EUPS foi realizada com o suporte do Sistema de Informações Geográficas (SIG) em dois segmentos distintos, sendo um analítico, em que cada um dos termos componentes foi extraído e avaliado individualmente, e um segundo de integração, em que toda base de dados foi convertida em uma matriz regular

de valores, com posterior síntese de dados baseado em algoritmos de álgebra de mapas segundo a lógica de integração do modelo.

Para avaliar a influência da variabilidade das chuvas nas estimativas do potencial de erosão laminar na bacia hidrográfica, as análises foram segmentadas em três períodos distintos, conforme o padrão sazonal de distribuição das chuvas na área de estudo. Desta forma, os cenários foram agrupados com base nos seguintes critérios:

$R_{\text{anual}}$  – Corresponde ao valor de erosividade média anual histórica, calculada com base nos registros de 1998 a 2015.

$R_{\text{seca}}$  – Corresponde ao valor de





erosividade obtido a partir dos dados de chuva para o período de estiagem, caracterizado entre os meses de abril e agosto.

$R_{\text{chuva}}$  – Corresponde ao valor de erosividade obtido a partir dos dados de chuva no intervalo de maior índice pluviométrico, caracterizado pelo período entre novembro e março.

Já os valores de erosividade foram determinados conforme proposta de Wischmeier (1959) e demonstrados nas equações 3 e 4.

$$R = \sum EI \text{ mensais} \quad (4)$$

$$EI_{\text{mensal}} = 67.355 * (r^2/P)^{0.85} \quad (3)$$

Em que:  $EI_{\text{mensal}}$  = é a erosividade média mensal obtida para cada mês (MJ.mm/ha<sup>-1</sup>h ano); r = precipitação média mensal (mm); P = precipitação média acumulada anual (mm).

Os dados de uso e cobertura da terra para o cenário de 1960 foram extraídos de fotografias aéreas verticais pancromáticas, em escala aproximada de 1:25.000, compatível com a escala de mapeamento adotada neste trabalho. Os dados para o cenário de 2016 foram extraídos de imagens orbitais de sensoriamento remoto (Landsat 8/OLI), com posterior aferição das classes de mapeamento em campo. Para ambos os cenários, adotou-se a interpretação visual das classes temáticas por meio de métodos convencionais de fotointerpretação e, posteriormente inseridos no banco de dados geográficos em ambiente SIG.

## Resultados e Discussão

Conforme objetivos propostos neste trabalho, apresenta-se a seguir as variações das estimativas de perda de solo para a área total da bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande, em função das alterações dos valores de erosividade das chuvas, e posteriormente, uma análise comparativa entre a dinâmica erosiva para o cenário de 1960 e atual (2016).

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos para a precipitação média mensal (r) e acumulada anual (p) que determinam os valores de erosividade, conforme método apresentado na equação 2 e 3. Os resultados indicam que há diferença na ordem de 4.000 MJ.mm/ha<sup>-1</sup>ano entre a erosividade média anual ( $R_{\text{anual}}$ ), com a erosividade média obtida para o período chuvoso ( $R_{\text{chuva}}$ ).

Tabela 2 - Parâmetros da erosividade determinados em função da sazonalidade das chuvas. Dados históricos 1998 - 2015.

Valores obtidos para dados históricos de 1998 - 2015			
Período	precipitação média mensal (mm)	precipitação média acumulada anual (mm)	Fator R MJ.mm/ha <sup>-1</sup> ano
	<b>r</b>	<b>p</b>	
$R_{\text{anual}}$	106,87	3,56	6.433,74
$R_{\text{seca}}$	26,85	0,90	1.988,5
$R_{\text{chuva}}$	186,88	6,23	10.345,5



A tabela 3 apresenta os valores de área (ha) para cada classe temática de uso da terra e cobertura vegetal, elementos determinantes para compreensão da distribuição dos potenciais erosivos na área da bacia.

Atualmente, em termos de representatividade, as áreas de pastagem são seguidas por lavouras de cana-de-açúcar (12%) e silvicultura 1%. Em função das características pedológicas, que apresentam

Tabela 3 - Quantificação das áreas referente às classes de uso da terra e cobertura vegetal para os cenários selecionados.

Classes de Uso da terra	Bacia hidrográfica do ribeirão Monjolo Grande			
	Cenário Atual (2016)		1960	
	ha	%	ha	%
Cana-de-açúcar	341,63	11,83	-	-
Mata	986,06	34,15	1216,79	42,14
Pastagem	1376,37	47,67	-	-
Silvicultura	31,49	1,09	-	-
Solo Exposto	151,63	5,25	-	-
Cerrado	-	-	397,63	13,77
Campo cerrado	-	-	1272,76	44,08

Fonte: Autores (2015).

solos predominantemente arenosos, com pouca agregação de seus constituintes mineralógicos e baixo teor de matéria orgânica, observa 5% de áreas com solo exposto. Importante ressaltar que foram classificadas como solo exposto apenas as áreas que permaneceram expostas em diferentes períodos do ano.

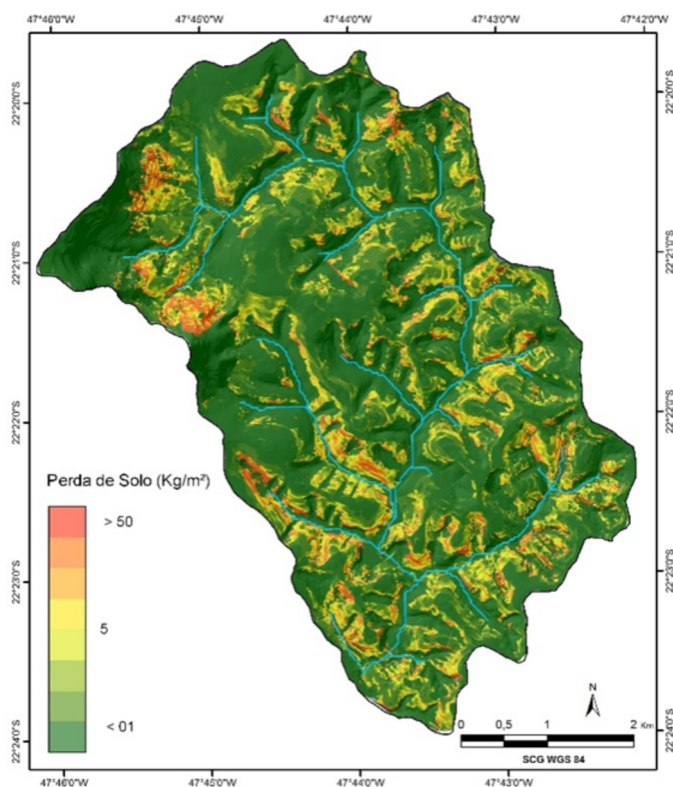
Do contrário, estas áreas foram

classificadas de acordo com o uso de seu entorno.

Após a definição dos parâmetros de entrada do modelo e mapeamento das classes de uso, obteve-se a espacialização do potencial de perdas de solo simulada para o cenário de 1960 (Figura 3), considerando o valor de erosividade das chuvas de  $6.433 \text{ MJmm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  ( $R_{\text{anual}}$ ).



Figura 3 - Espacialização do potencial de perda de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande considerando o cenário de uso da terra e cobertura vegetal de 1960 e erosividade anual.



Considerando o cenário de uso da terra e cobertura vegetal para o ano de 2016, a figura 4 apresenta a variabilidade espacial do potencial de perdas de solo na bacia hidrográfica para os três cenários de erosividade das chuvas adotados: a) anual; b) chuva; c) seca.

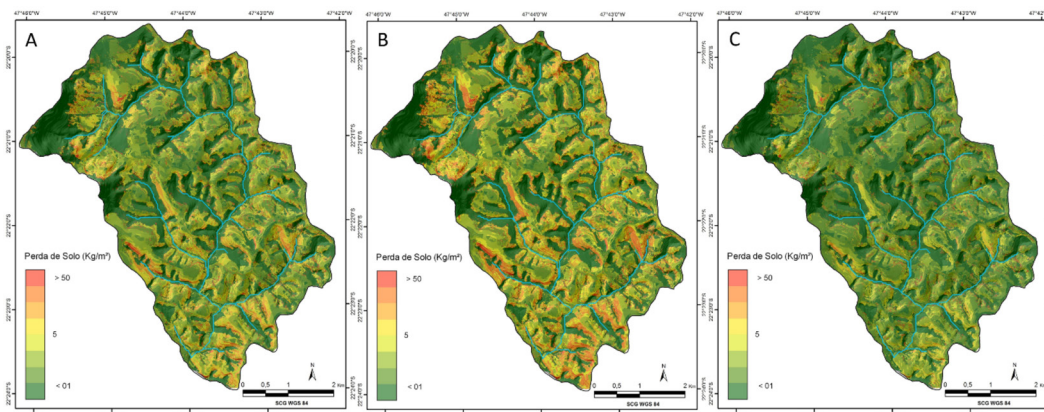
Independente do cenário erosivo simulado (“a”, “b” e “c”), nota-se incremento nas estimativas de contribuição de sedimentos em relação ao cenário de 1960. Primeiramente,

deve-se mencionar a ocupação intensiva por pastagens que avançaram suas fronteiras em detrimento das coberturas de cerrados e campos cerrados (como pode ser observado nas alterações da porcentagem das classes de uso indicadas na tabela 3), diminuindo assim a capacidade inicial de proteção aos processos erosivos. Já ao sul da bacia, onde se observa as mudanças mais abruptas do potencial de contribuição de sedimentos, coincidem com as ocupações das lavouras de cana-de-





Figura 4 - Espacialização do potencial de perda de solo para o cenário de 2016, considerando variações dos padrões anuais de chuvas. a) anual; b) chuva; c) seca.



Fonte: Autores (2015).

açúcar. Em contrapartida, há atenuação das perdas de solo nas áreas de cabeceiras dos canais de primeira ordem. Este fato pode ser justificado em função da substituição das áreas de cerrado e campo cerrado por matas galerias de maior densidade foliar e porte, bem como pode ser explicado pela imposição de uma rigorosa legislação ambiental no estado de São Paulo, que exige a recomposição de vegetação ciliar em áreas de APP (Áreas de Preservação Permanente). A substituição das áreas de cerrado por matas

galerias implica em maior resistência à ação das chuvas e, conseqüentemente, atenuação dos processos erosivos.

Mantendo-se os Fatores C, P, LS e K e assumindo o fator R como a única variável temporal dinâmica, pode-se determinar e analisar a influência da sazonalidade das chuvas no processo de erosão laminar hídrica dos solos. Em termos quantitativos, apresenta-se na tabela 4 os valores obtidos da aplicação da modelagem em ambiente SIG.

Tabela 4 - Quantificação dos totais de perda de solo para os cenários simulados

Período	Erosividade	Perda de solo (Média para área da bacia hidrográfica)		
	MJmm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	T/ha	Perda Total (T/período)
A <sub>anual</sub> (1960)	6.433	0,026	0,266	7.457,26
A <sub>anual</sub> (2016)	6.433	0,314	3,144	32.211,84
A <sub>chuva</sub> (2016)	10.345	0,506	5,056	41.365,58
A <sub>seca</sub> (2016)	1.988	0,097	0,972	10.279,43

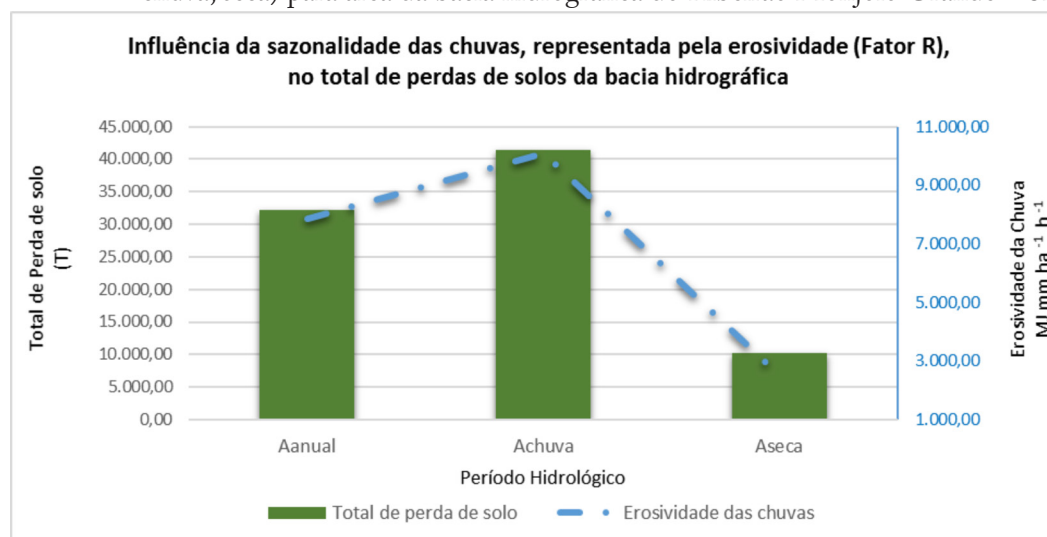
Fonte: Autores (2015).



A comparação entre a perda média anual modelada para o cenário de 2016 ( $A_{\text{anual}}$ ) e a perda média histórica estimada para a área da bacia, apesar de apresentar valores de erosividade similares, demonstra grande discrepância nos totais de perda de

solo, na ordem de 24.400 toneladas no ano. Destaca-se também que a perda de solo para o cenário de 1960 é inferior à perda estimada para o cenário de  $R_{\text{seca}}$ . A figura 5 apresenta a comparação dos valores de perda de solo para o cenário de 2016.

Figura 5 - Variações das estimativas do total de perda de solo por erosão laminar hídrica, em função da simulação de diferentes cenários de erosividade das chuvas ( $R_{\text{anual}}$ , chuva, seca) para área da bacia hidrográfica do Ribeirão Monjolo Grande – SP



Fonte: Autores (2015).

### Considerações Finais

Considerando que entre os cenários comparados (1960 e 2016) apenas os dados de uso da terra e cobertura vegetal apresentaram mudanças em seus valores (mantendo-se  $R_{\text{anual}}$ ), pode-se indicar que a ocupação agrícola das terras exerce influência significativa na intensidade da erosão hídrica. Para os cenários de 2016, em que foi mantido os dados de uso da terra e alterados os valores do Fator R, pode-se indicar que há

diferenças significativas nos totais estimados de perda de solo por erosão laminar hídrica em função do método de determinação dos valores de erosividade. Assim, pode-se indicar que os resultados da aplicação dos modelos demonstram-se mais sensíveis às áreas de ocupação agrícola, sugerindo que é importante considerar o padrão anual de distribuição das chuvas para quantificação das perdas médias de solo, principalmente para finalidade de planejamento agrícola das terras.



## Agradecimento

Este artigo é segmento do trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São

Paulo/FAPESP (processo nº 2013/13885-0), intitulado “Análise de sensibilidade e propagação de incerteza em modelos hidrossedimentológicos: contribuição à modelagem de bacias hidrográficas”.

## Referências

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1993.

DONZELI, P. L. et al. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para o planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas**. Campinas: Documentos IAC, 1992. v. 29, p. 91-119.

PEREIRA, L. H. **Caracterização da erosão hídrica laminar do solo em bacia hidrográfica com base na malha fundiária, por meio de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem**. 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 2010.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Science Society of America**, v. 23, n.3, p.246-249, 1959.

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