

# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## **APLICAÇÃO DO MODELO USPED EM SUB-BACIA DA PLANÍCIE ALUVIONAR DO RIO MOGI GUAÇU**

**Anna Hoffmann Oliveira<sup>(1)</sup>; Gustavo Klinke Neto<sup>(2)</sup>; Sueli Yoshinaga Pereira<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Pós-Doutoranda; Instituto de Geociências; Universidade Estadual de Campinas; Campinas, SP; [annahoffmann@ige.unicamp.br](mailto:annahoffmann@ige.unicamp.br); <sup>(2)</sup> Mestrando; Instituto de Geociências; Universidade Estadual de Campinas; Campinas, SP; [guklinke@ige.unicamp.br](mailto:guklinke@ige.unicamp.br); <sup>(3)</sup> Professora Associada; Instituto de Geociências; Universidade Estadual de Campinas; Campinas, SP; [sueliyos@ige.unicamp.br](mailto:sueliyos@ige.unicamp.br).

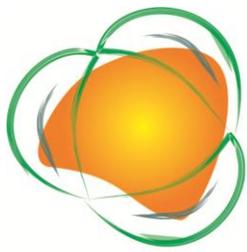
**EIXO TEMÁTICO:** Gerenciamento de Recursos Hídricos e Energéticos

**RESUMO** - O movimento da água no solo causado pelo escoamento superficial e sub-superficial, além dos canais de escoamento, bem como a percolação e infiltração de água, podem ser determinadas através de modelos hidrológicos como o modelo semi-empírico USPED (Unit Stream Power Erosion and Deposition) (Mitasova et al., 1996). Este trabalho teve como objetivo analisar a erosão e a deposição em uma sub-bacia hidrográfica da planície aluvionar do Rio Mogi Guaçu, utilizando o modelo USPED (Unit Stream Power Erosion and Deposition). A sub-bacia apresenta cerca de 60% de sua área não afetada por processos de erosão e deposição, em vista da vegetação arbórea presente, mas principalmente, devido ao relevo plano ou pouco movimentado. A aplicação do modelo USPED também permitiu a verificação das áreas potenciais de recarga de água que necessitam de cuidados conservacionistas na sub-bacia do Rio Mogi Guaçu.

**Palavras-chave:** Erosão. Deposição. Escoamento superficial. Recarga de aquíferos.

**ABSTRACT** – The movement of water in the soil caused by surface and sub-surface runoff, in addition to flow channels and the percolation and infiltration of water can be determined by hydrological models such as the semi-empirical model USPED (Unit Stream Power Erosion and deposition) (Mitasova et al., 1996). This study aimed to analyze the erosion and deposition in a sub-basin of the alluvial plain of the Rio Mogi Guaçu, using USPED model (Unit Stream Power Erosion and Deposition). The sub-basin has about 60% of its area not affected by erosion and deposition in view of trees present, but mainly due to the flat terrain or thinly traded. The application of USPED model also allowed to determine the potential areas of recharge that need of conservation care in sub-basin of the Rio Mogi Guaçu.

**Key words:** Erosion. Deposition. Runoff. Water recharge.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

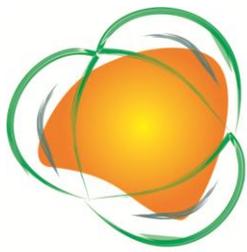
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## **Introdução**

O entendimento dos processos de deposição e conformação do relevo, fruto da interação solo-clima-escoamento, é fundamental no estudo da dinâmica da água e sua interação com a paisagem. Os processos hidrológicos associados à geração do escoamento e recarga de aquíferos necessitam de informações complementares a respeito da suscetibilidade dos solos aos processos de desagregação, transporte e deposição que compõem a erosão hídrica, bem como sua relação com a paisagem. À medida que a ação da água desgasta a superfície terrestre, o solo torna-se um testemunho dos processos evolutivos que moldam a paisagem (MELLO & CURI, 2012). Assim, uma abordagem eficaz desta interação entre hidrologia, solos e geomorfologia, que caracteriza a hidropedologia, é possível de ser alcançada através do estudo de processos erosivos.

O movimento da água no solo causado pelo escoamento superficial e sub-superficial, além dos canais de escoamento, bem como a percolação e infiltração de água, podem ser determinadas através de modelos hidrológicos que descrevem matematicamente a distribuição espacial destes processos. Modelos derivados do método empírico USLE (Universal Soil Loss Equation/Equação Universal de Perdas de Solo) (WISHMEIER e SMITH, 1978), mas que agregam uma base física que tenta relacionar a morfologia do relevo com os parâmetros de escoamento definidores da erosão são designados semi-empíricos, conceituais ou distribuídos, a exemplo do modelo USPED (Unit Stream Power Erosion and Deposition) (MITASOVA et al., 1996). Uma vantagem do USPED é o fato deste prever a distribuição espacial da erosão, bem como as taxas de deposição, em condições de fluxo superficial uniforme e precipitação elevada. O modelo USPED considera a teoria da unidade de força do escoamento para derivar o fator topográfico, o qual consiste numa adequação da variável área de contribuição. O diferencial do modelo consiste em descrever o processo erosivo associado ao fluxo laminar e sulcos em terrenos convergentes e divergentes em grandes áreas, a partir de um modelo digital de elevação (MDE) aliado ao sistema de informações geográficas (SIG) (MOORE e WILSON, 1992). Assim, este modelo pode ser aplicado em terrenos complexos onde a erosão é limitada pela habilidade da enxurrada em transportar sedimento.

Visando enfocar a identificação de áreas fontes e receptoras de sedimentos, além das áreas com maior capacidade para armazenamento de água (menor erosão), e não propriamente para a análise quantitativa da perda de solo na sub-bacia, o presente trabalho analisou a erosão e a deposição em uma sub-bacia hidrográfica da planície aluvionar do Rio Mogi Guaçu, utilizando o modelo USPED (Unit Stream Power Erosion and Deposition).



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## **Material e Métodos**

### **Área de estudo**

A sub-bacia de estudo possui área de 772,7 ha e está localizada às margens do médio curso superior do Rio Mogi Guaçu, em sua planície aluvionar, no município de Mogi Guaçu (SP). A sub-bacia integra o Complexo de Unidades de Conservação de Mogi Guaçu (CUCMG), situado na zona de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica. Apresentando características bióticas de ambos os biomas, pode ser considerada uma área de tensão ecológica ou um ecótono e inclui também uma importante parcela da Área de Preservação Permanente (APP) do Rio Mogi Guaçu, de suas sub-bacias e mananciais.

O clima da região, conforme a classificação de Koppen, varia entre Aw (clima tropical com estação seca de inverno e chuvosa no verão) e Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente) com médias anuais de temperatura de 21,5 °C e precipitação de 1.500 mm. As principais formações vegetais na sub-bacia são: Floresta Estacional Semidecidual Submontana (FESD), Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (FESDA), vegetação com influência fluvial (várzeas), florestas de Pinus e Eucalipto e pastagem não manejadas há cerca de 20 anos, e áreas de recuperação com plantio de espécies nativas. Os solos da sub-bacia de estudo possuem textura média a arenosa e as classes presentes são o Gleissolo Háplico (GX) e Gleissolo Melânico (GM) distróficos (284,6 ha) e o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), sendo que o LVA cambissólico álico ocupa 203,1 ha e o LVA álico, 285 ha.

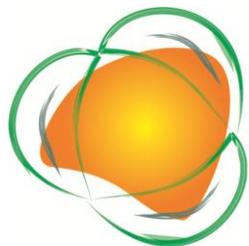
### **Modelagem USPED**

O modelo USPED expressa as perdas de solo a partir da multiplicação de índices que consideram o efeito dos fatores: chuva (erosividade, R), solo (erodibilidade, K), topografia (LS), cobertura e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas adotadas (P). O trabalho foi realizado em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software ArcGIS 10.2.

*Fator R*- No cálculo do fator R anual foram utilizadas as informações provenientes do posto pluviométrico da Agência Nacional das Águas (ANA) referentes a 30 anos de dados (1970 a 1999). O índice de erosividade anual foi obtido pela soma do índice de erosividade mensal calculado a partir da equação (LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER, 1992):  $EI$  (Fator R) =  $68,730 (p^2/P)^{0,841}$ ; onde, EI é a média mensal do índice de erosão ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ ), p é a precipitação média mensal (mm), e P é a precipitação média anual (mm).

*Fator K*- O valor da erodibilidade (K) foi determinado a partir do modelo de Bouyoucos, que considera informações de textura na análise: Fator k ( $Mg\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ ) =  $[(areia\ (\%)+\ silte\ (\%))/(argila\ (\%))]/100$ . Os dados de textura utilizados na análise foram obtidos em levantamento anterior realizado na sub-bacia (dados não publicados).

*Fator LS*- No modelo USPED, o fator LS é dado por:  $LS = A^m (\sin\theta)^n$ ; onde, A é a área de contribuição ( $m^2$ );  $\theta$  é o ângulo do declive; m e n são constantes que dependem do tipo de fluxo e propriedades do solo. Para situações onde domina a erosão em sulcos



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

estes parâmetros são normalmente estabelecidos para  $m = 1,6$  e  $n = 1,3$ ; onde a erosão laminar prevalece, considera-se  $m = n = 1,0$  (MOORE e WILSON, 1992; FOSTER, 1994). A área de contribuição foi obtida a partir do MDE, construindo os caminhos do fluxo de água. As informações planialtimétricas utilizadas nas análises são provenientes de levantamento de alta precisão (escala 1:10.000) realizado na sub-bacia.

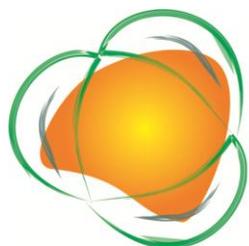
*Fator C*- O fator C varia de 0 a 1 de acordo com a erosividade e a erodibilidade, aproxima-se de zero nos sistemas de manejo conservacionistas e de 1, nos sistemas não conservacionistas. O mapeamento do uso das terras foi realizado no software ArcGis 10.2 e a informação acerca da cobertura do solo foi obtida através da interpretação de imagem do satélite CBERS-4 de 10/01/2016 disponibilizadas gratuitamente pelo site da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Tais informações foram complementadas com observações de campo. Os valores de fator C foram definidos a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), devido à sua maior precisão por considerar a refletância da vegetação. Para a análise da vegetação através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), a imagem do sensor CBERS-4 foi composta na faixa do visível (R: banda 3, G: banda 2, B: banda 1) e o NDVI foi processado com as bandas 3 (refletância no vermelho) e 4 (refletância no infra-vermelho próximo) (ASRAR et al., 1984). Este índice detém a habilidade de minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, a qual varia de  $-1$  (ausência de vegetação) a  $+1$  (alta densidade) de cobertura vegetal). Os valores de fator C considerados foram definidos a partir da inversão da escala linear derivada da obtenção do NDVI.

*Fator P*- O fator P varia de 0 a 1, sendo igual a 1 quando não são aplicadas quaisquer tipos de práticas conservacionistas.

## **Resultados e Discussão**

*Fator R*- A precipitação média mensal variou de 32 a 253 mm, enquanto a precipitação média anual foi de 1.460 mm. Os valores de erosividade mensal da chuva variaram de 52 a 1.652 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. A erosividade média anual foi de 7.001 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo classificada como alta.

*Fator K*- Os valores de erodibilidade dos solos da sub-bacia variaram de 0,015 a 0,085 Mg ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Figura 1-A), sendo classificados de baixo a muito alto.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS  
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

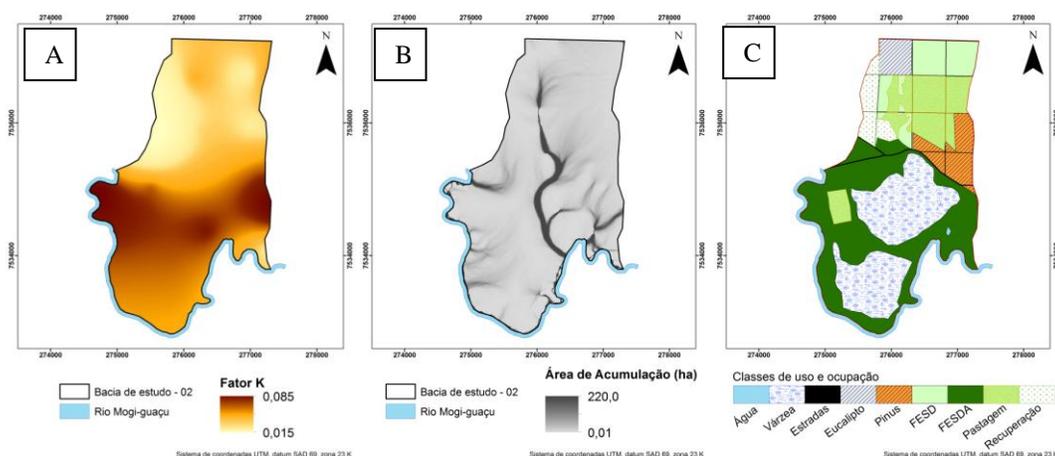
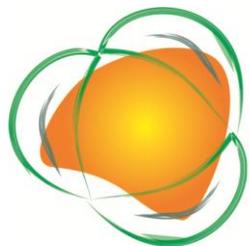


Figura 1 – Mapas do fator K (A); da área de acumulação (B); usos do solo (C), utilizados nas análises do modelo USPED.

Os valores mais altos ocorrem, de forma geral, associados aos maiores teores de areia e silte. As partículas finas (argila) resistem ao desprendimento, enquanto as partículas maiores (areia muito grossa, grossa e média) resistem ao transporte. Os tamanhos silte e areia fina são os mais suscetíveis ao desprendimento e transporte igualmente. Para a análise da erodibilidade nas áreas de solos com texturas mais finas deve ser considerada a mineralogia. Partículas de argila (principalmente os silicatos de alumínio) tendem a apresentar formato de placas, possibilitando o surgimento de estruturas que conferem maior coesão e menor permeabilidade. O silte, por sua vez, favorece o encrostamento do solo, favorecendo igualmente o aumento do escoamento superficial e erosão.

**Fator LS-** O mapa de fluxo acumulado ou área de acumulação pode ser visualizado na Figura 1-B. No modelo USPED, o fator LS representa a mudança na capacidade de transporte da direção de fluxo, sendo positivo para áreas com potencial topográfico para deposição e negativo para áreas com potencial de erosão. O fator LS foi baixo em grande parte da bacia, sendo mais alto nas áreas de encosta e barrancos do Rio Mogi Guaçu e nas áreas de maior altitude e declive mais movimentado da parte média superior da sub-bacia, com destaque para o início da linha de drenagem principal.

**Fator CP-** Foram definidas as seguintes classes de mapeamento de usos e cobertura do solo na sub-bacia: florestas plantadas de Pinus, florestas plantadas de Eucalipto, florestas nativas, pastagem, várzea, recuperação, estradas e corpos d'água (Figura 1-C). As áreas de várzea compreendem as planícies aluviais inundáveis cobertas por vegetação arbustiva com a presença esparsa de lianas e herbáceas. A cobertura designada “recuperação” compreende áreas derivadas do plantio de espécies nativas com a finalidade de recompor a vegetação local. Verificou-se que o NDVI foi eficiente



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

em avaliar a densidade das diferentes coberturas vegetais presentes, corroborando o estudo de Oliveira et al. (2012), e pode ser utilizado na análise do fator C.

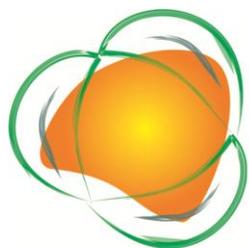
Ao analisar a intensidade das atividades fotossintéticas pelo NDVI verificou-se que a vegetação com maior quantidade de biomassa, identificada pelos tons mais claros de cinza (valores mais elevados), são mais freqüentes na parte inferior da sub-bacia comparada à parte alta, ocupada por cobertura vegetal de média a baixa densidade (tons mais escuros de cinza) (Figura 2-A). Os menores valores de NDVI caracterizam regiões de solo exposto referentes às áreas de recuperação e pastagens degradadas, portanto, são regiões mais propensas à erosão hídrica. Há ainda áreas sem vegetação referentes às estradas, corpos d'água e várzeas, as quais apresentam baixos valores de NDVI.

Nas áreas ocupadas com vegetação natural (florestas plantadas e nativas) o valor de P foi considerado 0,10 (ROOSE, 1977), 0 (zero) em áreas de várzea e corpos d'água e 1 para estradas.

### *Modelagem USPED*

Os resultados das análises de erosão/deposição pela USPED podem ser observados na Figura 2-B. As áreas estáveis, ou seja, que não apresentam erosão ou deposição, representaram aproximadamente 60% da área total da sub-bacia. Em toda a sub-bacia, verifica-se a existência de um padrão de locais de erosão e de deposição. De forma geral, os locais de erosão e deposição são adjacentes um ao outro e preferencialmente próximos ou dentro da rede de drenagem, também observado nos estudos de Liu et al. (2007) durante aplicação do modelo USPED. Observa-se ainda uma maior deposição de sedimentos na área mais plana próxima à linha principal de drenagem, enquanto nas áreas a nordeste da sub-bacia, cujo relevo é mais ondulado e há regiões de elevada erodibilidade do solo, ocorre maior erosão. Já às margens do Rio Mogi Guaçu, a maior erosão está relacionada ao relevo suave ondulado associado ao Latossolo Vermelho-Amarelo cambissólico álico, o qual consiste em uma classe de solo de elevada suscetibilidade à erosão em grande parte desta região, estimula o desenvolvimento do processo erosivo próximo à rede de drenagem. De forma geral, os Gleissolos da sub-bacia são solos de elevada erodibilidade encontrados nos depósitos aluvionares que sofrem inundação periódica, contudo, se localizam em áreas planas que abrangem cerca de 60% de toda a bacia (463,62 ha) e são menos suscetíveis ao processo erosivo, representando áreas estáveis.

A cobertura vegetal exerce influência marcante quanto à suscetibilidade aos processos de erosão e deposição na sub-bacia. A FESD presente nas áreas de relevo suave ondulado é mais protetora comparada às florestas plantadas nas áreas de relevo plano. Ao proteger o solo contra a degradação provocada pela erosão, a água que poderia ser perdida através do escoamento superficial se infiltra no solo e percola até as camadas mais profundas, abastecendo os aquíferos. Assim a floresta nativa, neste caso representada pela FESD, colabora para que o solo mantenha a sua função de



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS  
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

meio de entrada de água da chuva na bacia hidrográfica e conseqüentemente, interfere no sistema hidrológico local. Observa-se que a floresta de Pinus e as pastagens não oferecem a mesma proteção ao solo comparada à vegetação nativa, especialmente a FESD. A elevada erodibilidade do solo nas áreas de FESD influenciaram na presença de processos erosivos mesmo em áreas de 0 a 3% de declividade.

Observa-se que a estabilidade da sub-bacia em termos de erosão favorece a recarga de água na área, uma vez que são profundos, possuem textura arenosa e, assim, elevada permeabilidade. Contudo, a textura mais arenosa dos solos da sub-bacia acarreta na baixa agregação de partículas, característica que favorece a evolução do processo erosivo, principalmente em maiores declividades. Próximo à rede de drenagem da sub-bacia, há a deposição deste material transportado das encostas e risco de afetar a qualidade e disponibilidade de água dos corpos hídricos, devido ao assoreamento.

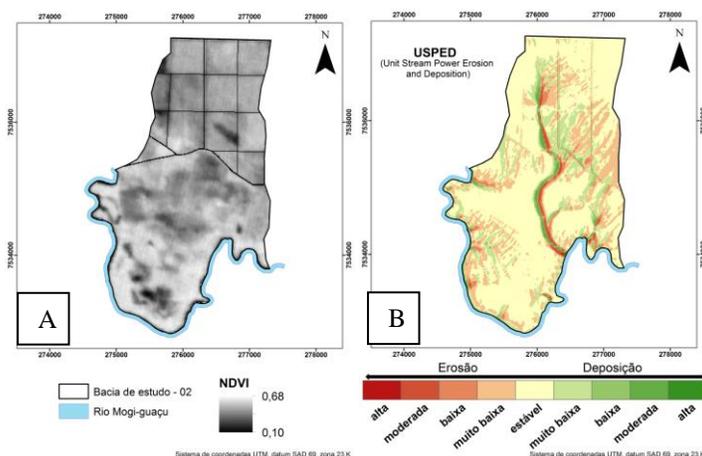
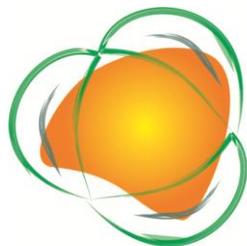


Figura 2 – NDVI (A) e Potencial de erosão e deposição estimado através do modelo USPED (B).

## Conclusões

A sub-bacia apresenta cerca de 60% de sua área não afetada por processos de erosão e deposição, em vista da vegetação arbórea presente, mas principalmente, devido ao relevo plano ou pouco movimentado. No restante da área há a existência de um padrão de locais de erosão e de deposição, os quais são adjacentes um ao outro e preferencialmente próximos ou dentro da rede de drenagem, aumentando o risco de assoreamento e redução da disponibilidade de água. A aplicação do modelo USPED detectou as áreas sujeitas à erosão e deposição na sub-bacia do Rio Mogi Guaçu e favoreceu a verificação das áreas potenciais de recarga de água que necessitam de cuidados conservacionistas.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## **Agradecimentos**

À CAPES e ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudo aos autores deste trabalho; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto (Nº 2013/22729-2); e ao Instituto Estadual de Florestas (IEF-SP) pelo apoio logístico para condução do estudo.

## **Referências Bibliográficas**

ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E. T.; HATFIELD, J. L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*, Madison, v. 76, n. 2, p. 300-306, 1984.

FOSTER, G.R. Comment on "Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation". *Journal of Soil and Water Conservation*. v.49, n.5, p. 171-173, 1994.

LIU, J.; LIU, S.; TIESZEN L.L.; CHEN, M. Estimating soil erosion using the USPED model and consecutive remotely sensed land cover observations. In: PROCEEDINGS OF THE 2007 SUMMER COMPUTER SIMULATION CONFERENCE, 2007, San Diego. Proceedings... San Diego: Society for Computer Simulation International, 2007. p. 1-6.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*. Campinas, v. 51, n. 2, p. 189 – 196, 1992.

MELLO, C.R. de; CURI, N. *Hydropedology*. *Ciência & Agrotecnologia*., Lavras, v. 36, n. 2, p. 137 -146, 2012.

MITASOVA, H.; HOFIERKA, J.; ZLOCHA, M.; IVERSON, L.R. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal Geographical Information System*, v.10, n.5, p. 629– 641, 1996.

MOORE, I.D.; WILSON, J.P. Length-slope factors for Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Journal of Soil and Water Conservation*, v.47, n.5, p.423-428, 1992.

OLIVEIRA, A.H.; SILVA, M.A.; SILVA, M.L.N.; AVANZI, J.C.; CURI, N.; LIMA, G.C.; PEREIRA, P.H. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na Sub-Bacia do Salto, Extrema, MG. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, n.1, p. 143-154, 2012.

ROOSE, E.I. Application of the universal soil loss equation of Wischmeier and Smith in West Africa. In: GREENLAND, D.J.; LAL R. eds. *Soil conservation and management in the humid tropics*. Chichester. John Wiley and Sons, p. 177-187, 1977.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture handbook, n. 537).