

PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA ZONA COSTEIRA DA BAHIA - BRASIL

Sediment Production in the Coastal Zone of Bahia - Brazil

Enner Herenio de Alcântara¹
Arley Souza²

¹**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**
Divisão de Sensoriamento Remoto
12227-010 – São José dos Campos, SP
enner@dsr.inpe.br

²**Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos – ETEP Faculdades**
Av. Barão do Rio Branco, 882 – São José dos Campos, SP
arley.souza@etep.edu.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo estimar a produção de sedimentos na região costeira do Estado da Bahia. Para tanto foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solos Modificada (EUPSM) em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) com o auxílio do sensoriamento remoto. Por se tratar de uma área plana e com baixa atividade agrícola, os resultados mostraram que a perda de solo é baixa e consequentemente a produção de sedimentos é pequena.

Palavras chaves: EUPS, EUPSM, SIG, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The objective of this present work was to estimate the sediment production in the coastal zone of Bahia State (Brazil). Was utilized the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) on the Geographic Information System (GIS) Ambient and Remote Sensing Techniques. The result shows that due to the flat area and low crop area in the watershed the soil loss is very low and consequently the sediment production is small.

Keywords: USLE, MUSLE, GIS, Remote Sensing.

1. INTRODUÇÃO

A erosão é definida como o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas de solo pela água e pelo vento, sendo considerada a principal causa da degradação acelerada dos solos (LOMBARDI NET E MOLDENHAUER, 1992; BERTONI E LOMBARDI NETO, 2005). Podendo ser dividido em três fases: (1) desprendimento; (2) transporte e (3) deposição. O desprendimento das partículas tem início quando as gotas de chuva que atingem o solo umedecem os agregados reduzindo as forças coesivas, facilitando sua desintegração. Uma vez que a intensidade de precipitação se torna maior do que a de infiltração, ou

quando a capacidade de acumulação no solo for excedida, tem-se o início da concentração de água e escoamento superficial, que por sua vez está associada ao transporte das partículas de solo. Quando a energia associada a este escoamento superficial não for mais suficiente para carregar as partículas, estas sofrem deposição (PRUSKI, 2006).

Dentre as muitas equações que buscam exprimir a ação dos principais fatores que sabidamente influenciam as perdas de solo pela erosão hídrica, a que trata do assunto de modo mais dinâmico, por superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter aplicação generalizada é a chamada 'Equação Universal

de Perda de Solo' – EUPS (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

A EUPS é um dos modelos de erosão mais utilizados em todo o mundo, sendo caracterizado por uma equação empírica que é função de fatores que representam o clima, o solo, a topografia, o uso e o manejo do solo (MERRITT *et al.*, 2003). O modelo permite o cálculo da média anual de produção de sedimentos por unidade de área utilizando-se da equação:

$$PS = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Onde:

PS = perda de solo média anual (t ha⁻¹ ano⁻¹)

R = fator de erosividade da chuva (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹)

K = fator de erodibilidade do solo (t ha h MJ mm⁻¹)

L = fator de comprimento de rampa (adimensional)

S = fator de declividade do terreno (adimensional)

C = fator de uso e manejo do solo (adimensional)

P = fator de práticas conservacionistas (adimensional)

Os fatores L e S são tratados de forma conjunta, por meio de um termo denominado fator topográfico ou fator LS. Uma das principais limitações da EUPS está no fato deste modelo não ser capaz de prever o local de deposição dos sedimentos. Além disto, a EUPS também não é capaz de modelar perda de solo causada por processos mais avançados de erosão, como erosão em sulcos e voçorocas. Este trabalho tem o objetivo de mensurar a produção de sedimentos no baixo sul baiano (Figura 1).

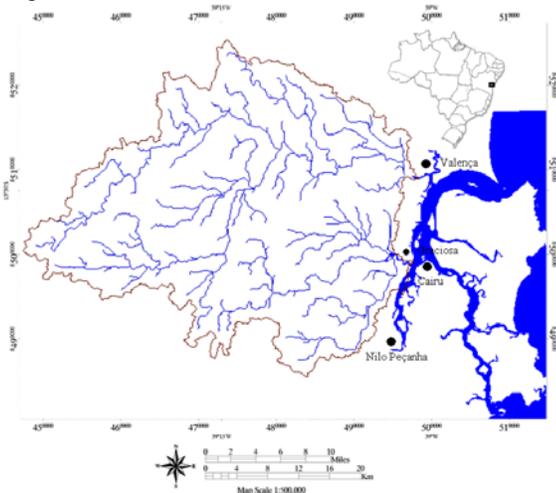


Fig. 1: Localização da área de estudo, mostrando detalhes da rede de drenagem e as principais cidades.

2. METODOLOGIA

O procedimento adotado para o cálculo da perda anual de solos no baixo sul baiano e a consequente produção de sedimentos esta esquematizada na figura 2:

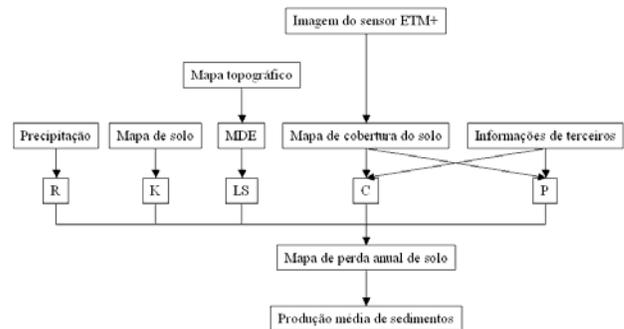


Fig. 2: Fluxograma simplificado do procedimento para o cálculo da produção de sedimentos.

2.1 Material

Dado de Sensoriamento Remoto – Foi utilizada uma cena do satélite Landsat – ETM+, órbita/ponto 216/69 de 12-01-2003 para mapeamento do uso e cobertura do solo. Para caracterizar a topografia da área de estudo foi utilizada imagem do ‘Shuttle Radar Topography Mission’ (SRTM) com resolução de 90m do JPL/NASA (Jet Propulsion Laboratory/ National Aeronautics and Space Administration).

Dados de Solos - Mapa gerado a partir da conversão e adaptação de dados digitais georreferenciados do USGS (U.S. Geological Survey), em formato Arc/Info (E00). Este mapa foi digitalizado nos Estados Unidos pelo USGS, a partir do "Mapa de Solos do Brasil - Escala 1:5.000.000 - EMBRAPA (1981)". O produto georreferenciado gerado a partir deste mapa foi realizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) Brasil - 2000.

Dados de Precipitação – Os dados de precipitação foram obtidos por meio do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas. Os dados são provenientes da estação n° 1339038 operada pela CPRM e de responsabilidade da ANA. Esta estação conta com dados de 1945 até 2006.

2.2 Métodos

A produção de sedimento foi calculada por meio da ferramenta de modelagem hidrológica AGWA (Automated Watershed Assessment Tool) (MILLER *et al.*, 2007). Esta ferramenta provê suporte para o funcionamento de todas as fases do modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assesment Tool). O SWAT vem sendo usado extensivamente em pesquisas hidrológicas e suas utilidades documentadas na literatura (KEPNER *et al.*, 2004).

O AGWA é um software de código aberto e distribuído gratuitamente pela internet (MILLER *et al.*, 2007), tendo sido desenvolvido como uma extensão para a plataforma ArcView 3.3. Os dados requeridos por ambos os modelos incluem modelo digital de elevação,

mapas de uso e cobertura da terra, mapas de solo e dados de precipitação (KEPNER et al., 2004).

A execução do AGWA pode ser dividida em quatro etapas:

- Delimitação e Subdivisão da área de drenagem da bacia;
- Parametrização dos tipos de solos e uso e cobertura da terra;
- Entrada dos dados de precipitação;
- Execução do modelo.

O modelo utilizado para o cálculo da produção de sedimentos foi o EUPSM – Equação Universal de Perda de Solo Modificada, que é uma variação do modelo EUPS. A diferença está no termo erosividade, que prevê o aporte de sedimentos, oriundo de pequenas e médias bacias hidrográficas, em determinado exutório da bacia (WILLIAMS, 1975).

O modelo EUPSM não necessita de relações empíricas adicionais de aporte de sedimentos como o EUPS, e tem a grande vantagem de ser aplicável a eventos isolados de precipitação, o que torna suas previsões mais precisas (WILLIAMS e BERNDT, 1977).

A equação do modelo EUPSM é descrita segundo Williams (1975), como:

$$Y = 89,6 * (Q * qp)^{0,56} * K * C * L * S * P \quad (2)$$

Onde:

Y é o aporte de sedimentos em um determinado exutório da bacia, após um evento de precipitação;

Q é o volume de escoamento superficial total (m³);

Qp é a vazão de pico do hidrograma resultante (m³/s);

K é o fator de erodibilidade do solo (t ha h MJ mm⁻¹)

LS é o fator topográfico (adimensional)

C é o fator de uso e manejo do solo (adimensional)

P é o fator de práticas conservacionistas (adimensional)

O volume de escoamento superficial é calculado por meio do método da abstração (USDA-SCS, 1975):

$$Q = \frac{(I - 0,2 * Sa)^2}{(I + 0,8 * Sa)} \quad (3)$$

Onde:

Q é o volume de escoamento superficial de um evento de precipitação (mm);

I é o volume de precipitação (mm);

Sa é a diferença potencial máxima entre a precipitação e o escoamento, a partir do início da precipitação.

O parâmetro Sa pode ser estimado empiricamente segundo Schwab et al. (1981), como:

$$Sa = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (4)$$

Onde:

CN é uma curva número entre 0 e 100 (quanto maior for o número, maior será o escoamento superficial). Esta curva é estimada de acordo com padrões de manejo, permeabilidade e umidade do solo.

O parâmetro vazão de pico (qp) pode ser estimado por meio do método do hidrograma unitário triangular hipotético (SCHWAB et al., 1981), como:

$$qp = 0,0021 * Q * \frac{A}{Tp} \quad (5)$$

Q é o volume de escoamento superficial (mm);

A é a área da bacia hidrográfica (ha);

Tp é o tempo de pico do hidrograma (hora);

O tempo de pico (Tp) pode ser estimado (SCHWAB et al., 1981) como segue:

$$Tp = \frac{D}{2} + \left(\frac{L}{3,28} \right)^{0,8} * \left[\frac{(Sa + 1)^{0,7}}{1900\sqrt{Y}} \right] \quad (6)$$

Onde:

D é a duração da precipitação excedente (hora);

L é o comprimento medido ao longo do talvegue da bacia (m);

Sa é o parâmetro de diferença do potencial máximo estimado por meio do método da abstração;

Y é a declividade média do talvegue (%).

O tempo de concentração (tc) é estimado por meio da fórmula de Kirpich (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985), como segue:

$$tc = 0,002 * L^{0,77} * S^{-0,385} \quad (7)$$

Onde:

tc é o tempo de concentração (minutos);

L é o comprimento medido ao longo do talvegue da bacia (metros);

S é a declividade média do talvegue da bacia (adimensional).

O hidrograma unitário sintético é obtido por (GENOVEZ, 1993):

$$D = 0,133 * tc \quad (8)$$

Onde:

D é a duração da precipitação excedente (horas);

Tc é o tempo de concentração (horas).

Chaves (1991) realizou uma análise global da sensibilidade dos parâmetros do modelo EUPSM, combinando aleatoriamente diferentes níveis dos parâmetros que compõem o modelo, calculando a

sensibilidade relativa para cada situação. Concluiu que o modelo EUPSM foi altamente sensível aos parâmetros hidrológicos, medianamente sensível aos parâmetros de manejo/erodibilidade e pouco sensível aos parâmetros topográficos.

Risso (1993) utilizou técnicas de geoprocessamento com a finalidade de estimar a erosão potencial de pequenas bacias por meio do modelo EUPSM. O fator topográfico foi estimado por meio do Modelo Numérico de Terreno (MNT), assim como a declividade e o comprimento de vertentes médios. A erodibilidade foi definida por meio da digitalização do mapa de solos com posterior associação com os valores por técnicas de sensoriamento remoto. Concluiu que as técnicas de geoprocessamento têm uma grande potencialidade para manipular os dados do modelo, mais há algumas limitações principalmente no levantamento dos fatores *C* e *P* devido ao pequeno tamanho das propriedades.

Fator K – Fator de Erodibilidade do Solo - É a relação entre a intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva para um solo específico mantido continuamente sem cobertura, mas que sofre as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25m. É calculado como segue (VON ROMPAY *et al.*, 2001):

$$K = 0,0035 + 0,0388 \exp \left[\left(\frac{\log Dg + 1519}{0,7584} \right)^2 \right] \quad (9)$$

Onde:

K = fator de erodibilidade do solo (t ha h MJ mm⁻¹)

Dg = é o diâmetro geométrico médio da partícula (mm):

$$Dg = e^{\sum f_i \cdot \ln [d_i + d_{i-1}] \cdot 0,5} \quad (10)$$

Fator LS – Fator Topográfico - Este fator é uma representação espacial da variabilidade da erosão do solo causada pela topografia. O fator *L* é uma medida do comprimento da inclinação e o fator *S* é proporcional à inclinação local. O fator *LS* é calculado por (GOVERS, 1991):

$$LS = \left(\frac{\tan \phi_{i,j}}{0,09} \right) * 1,45 \quad (11)$$

Fator C – Fator de Uso e Manejo - Representa a relação entre as perdas de solo de um terreno com certo tipo de cobertura e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator *K* é avaliado, sendo calculado por:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n SLR_i R_i}{R} \quad (12)$$

Onde:

R_i = é o total de erosividade da chuva;

R = erosão total pela chuva;

N = contador;

SLR = razão de perda de solo para cada estado de crescimento vegetacional *i*, sendo calculado por:

$$SLR = PLU * SR * CC * SC * SM \quad (13)$$

Onde:

PLU = uso do solo;

SR = rugosidade do solo;

CC = folhagem;

SC = cobertura do solo;

SM = umidade do solo.

Fator P – Fator Prática Conservacionista - É a relação entre as perdas de solo esperadas de um terreno que foi cultivado adotando-se determinada prática conservacionista e as perdas quando se planta no sentido do declive.

Delimitação e Subdivisão da área de drenagem da bacia - Nesta etapa o usuário deve, com base em um MDE (Modelo Digital de Elevação), indicar o ponto de descarga da rede de drenagem, ou seja, o ponto para o qual toda a precipitação ocorrida na área de drenagem da bacia irá convergir. A seguir é realizado o cálculo dos limites da bacia com base em mapas de direção de escoamento e de mapas de fluxo acumulado.

Uma vez delimitados os limites da bacia, a área é dividida em sub-regiões. Esta divisão é realizada com base na porcentagem de área de contribuição de drenagem das sub-regiões (CSA), que é definida pelo usuário. Sendo assim, quanto menor o valor de CSA, mais complexa será a subdivisão. Cada sub-região é então tratada pelo modelo como uma área homogênea, ou seja, com características únicas de declividade, solo, vegetação etc. A área total delimitada por meio do MDE foi de 1.642,83 Km² (Figura 3).

O MDE foi interpolado por Krigagem para uma resolução espacial de 30m, seguindo a metodologia proposta em VALERIANO (2004). Para isso o *Software VARIOWIN* versão 2.2 (PANNATIER, 1996) foi utilizado para criar os semivariogramas e ajustar os modelos teóricos, cujos coeficientes foram empregados na interpolação. Esta última tarefa foi realizada no *Software Surfer* (GOLDEN SOFTWARE, 1995).

Parametrização das classes de solos e uso e cobertura da terra - Cada sub-região recebe atributos únicos relativos aos tipos de solos e uso e cobertura da terra. O valor de cada atributo é obtido pela média ponderada dos valores encontrados dentro da sub-região.

Entrada dos dados meteorológicos - O modelo SWAT utiliza dados diários de precipitação. O usuário

pode utilizar um ou diversos pontos de coleta de dados de precipitação. Quando mais de uma estação pluviométrica é utilizada, o AGWA irá construir um mapa de polígonos de Thiessen, e então criar um arquivo de precipitação distribuído espacialmente e ponderado pela área.

Execução do modelo - Uma vez que a área da bacia foi delimitada, subdividida e todas as variáveis necessárias foram inseridas, o modelo pode então ser executado. A produção de sedimentos é calculada pelo modelo com base na Equação Universal de Perdas de Solo Modificada (EUPSM). Ao contrário da equação original (USLE), que calcula o total de sedimentos produzidos na bacia, a EUPSM prevê o aporte de sedimentos provenientes da bacia em seus respectivos cursos d'água (WILLIAMS, 1975). O modelo EUPSM tem a vantagem de ser aplicável a eventos isolados de precipitação, o que torna suas previsões mais precisas (WILLIAMS e BERNDT, 1977).

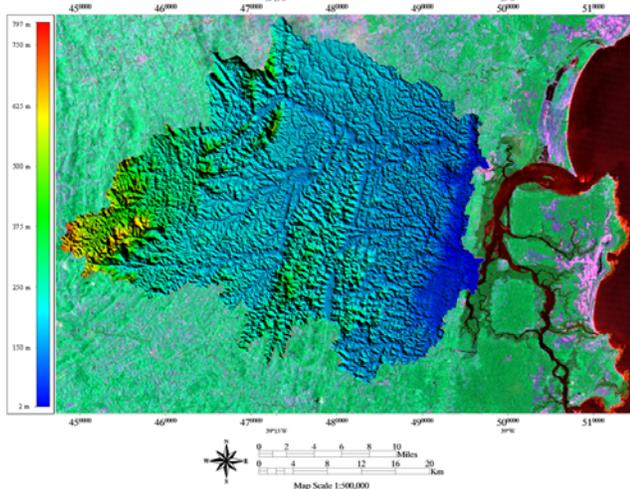


Fig. 3: Imagem topográfica do Shuttle Radar Topography Mission - SRTM com resolução de 30m mostrando a bacia de drenagem delimitada.

3. RESULTADOS

Devido à região norte do baixo sul baiano estar localizada em uma zona plana, combinada com pouca urbanização e pouca agricultura, ocorrerá pouca perda de solo (valores de 16.1501 a 26.3110 na Figura 4).

As regiões onde ocorreram maiores perdas de solo estão localizadas nas regiões mais altas da bacia de drenagem. Isto ocorre devido ao alto declive que permite um escoamento superficial com maior velocidade, aumentando a possibilidade de ocorrer desagregação do solo por meio da chuva.

A região próxima ao estuário por ter baixa declividade e pela presença de vegetação exuberante faz com que haja um aumento da infiltração da água no solo e, conseqüentemente, que o escoamento superficial seja menor, fazendo com o que a perda de solo apresente baixos valores (0.0000 a 0.2640) em sua grande maioria.

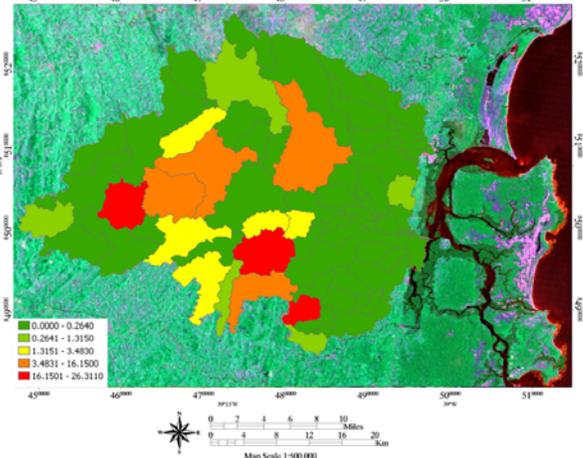


Fig. 4: Distribuição espacial da perda de solos ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) por sub-bacia.

Assim por se tratar de uma zona costeira a produção mensal média de sedimentos para a região estuarina do baixo sul baiano é muito baixa (Tabela 1). A simulação da produção de sedimentos levando em consideração a média da precipitação na área em estudo mostrou que o mês de novembro tem o maior potencial para gerar sedimentos para o estuário, seguido pelo mês março. A produção anual média de sedimentos estimada para a região em estudo é de aproximadamente $3,49\ t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$.

4. CONCLUSÃO

A região apresenta baixos valores de perda de solo se comparada a regiões com intensa atividade agrícola.

Por se tratar de uma região plana e com pouca área degradada, a produção de sedimentos por escoamento superficial é muito pequena.

TABELA 1: PRODUÇÃO MENSAL MÉDIA DE SEDIMENTOS PARA A REGIÃO ESTUARINA DO BAIXO SUL BAIANO (T HA⁻¹).

Meses	Precipitação (mm)	Escoamento (mm)	Produção de Sedimento (t ha ⁻¹)
Janeiro	133,8	8,47	0,0
Fevereiro	168,3	34,64	0,22
Março	204,4	40,88	0,01
Abril	254,5	92,76	1,22
Mai	202,0	58,17	0,24
Junho	271,8	106,25	0,0
Julho	194,8	48,03	0,0
Agosto	184,4	44,12	0,11
Setembro	152,0	22,94	0,0
Outubro	134,8	22,34	0,38
Novembro	133,1	25,61	1,31
Dezembro	88,5	3,46	0,0
Σ	2.122,4	507,67	3,49

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANELL. Sistema de Informações Georreferenciadas de Energia e Hidrologia – HIDROGEO. 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livrocercos, 1985, 395 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone. 2005. 352 p.

CHAVES, H. M. L. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da equação universal de perda de solo modificada (MEUPS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.15, v.3, p. 345-350, 1991.

EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1981, 100 p.

GENOVEZ, A. M. **Métodos de estimação de vazões de enchente para pequenas bacias**. Campinas: UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Saneamento. 1993. 96 p.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer Version 6.01 - Surface Mapping System**. Golden: Golden Software, Inc. 1995.

GOVERS, G. Spatial and temporal variations in splash detachment: a field study. **Catena**, v. 20, p. 15–24. 1991.

KEPNER, W. G.; SEMMENS, D. J.; BASSETT, S. D.; MOUAT, D. A.; GOODRICH, D. C. Scenario analysis for the San Pedro river, analysing hydrological

consequences of a future environment. **Environmental Monitoring and Assessment**, n.94, p.115–127, 2004.

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

MERRITT, W.S.; LETCHER, R.A.; JAKEMAN, A.J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, v. 18, n. 8-9, p. 761-799. 2003.

MILLER, S. N.; GOODRICH, D. C.; HERNANDEZ, M.; SEMMENS, D. J.; MILLER, R. C.; KEPNER, W. G.; GUERTIN, D. P. The automated geospatial watershed assessment tool. **Environmental Modelling & Software**, v.22, n.3, p. 365-377, 2007.

PANNATIER, Y. **VarioWin: Software for Spatial Data Analysis in 2D**. New York: Springer-Verlag. 1996.

PRUSKI, F.F. **Conservação de solo e água**. Viçosa: MG. Editora da UFV. 2006. 240 p.

RISSO, A. **Obtenção e manipulação dos parâmetros da equação universal de perda de solo através de técnicas de Geoprocessamento**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Dissertação, 1993, 166 p.

SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W. & BARNES, K.K. **Soil and water conservation engineering**. 3.ed. New York, John & Wiley, 1981. 525p.

USDA-SCS. Urban hydrology for small watersheds. Washington (Technical Release, n.55). 1975.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 72 p. (INPE-10550-RPQ/756).

VON ROMPAEY, A.J.J.; VERSTRAETEN, G.; VAN OOST, K.; GOVERS, G.; POESEN, J. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, p. 1221-1236. 2001.

WILLIAMS, J. R. **Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor.** In: **Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources.** USDA-ARS Handbook S-40, 1975. 118-124 p.

WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H. D. **Determining the universal Soil loss equation's length-slope factor for watersheds,** In: SCSA. Ed. Soil erosion: prediction and control, Ankeny, 1977. 217 - 225 p.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: USDA/ARS. 1978. 58 p.