

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

APLICAÇÃO DA MUSLE CONSIDERANDO DIFERENTES MÉTODOS DE CÁLCULO DO FATOR TOPOGRÁFICO LS

Eduarda Hoppen Mallmann¹ ; Clarissa Guerra Salvador² & Gean Paulo Michel³

RESUMO – A erosão é uma das formas mais prejudiciais de degradação do solo, responsável por reduzir o potencial produtivo das culturas e causar sérios danos ambientais. A MUSLE, como uma modificação da USLE, permite estimar a erosão sob variadas condições de uso e cobertura do solo, declividade, comprimento de rampa, tipos de solo e vazão de escoamento. A equação representa um importante instrumento de investigação sobre o processo erosivo, além de estimar a produção de sedimentos em escala de bacia hidrográfica, diferenciando-se da USLE pela adoção de um termo relacionado ao escoamento superficial (*runoff*) no lugar da erosividade da chuva. O fator LS utilizado na MUSLE, refere-se às características topográficas das bacias e pode ser calculado de diversas maneiras, sendo que cada maneira gera resultados significativamente diferentes para a equação. Desta forma, o objetivo deste trabalho é estimar a produção de sedimentos na bacia do Rio Cunha, utilizando diferentes métodos de cálculo do fator LS, relacionados a valores diferentes para os coeficientes de calibração α e β . Os resultados demonstram que a metodologia adotada para cálculo do fator LS modifica os valores ótimos para os parâmetros de calibração.

ABSTRACT – Erosion is one of the most damaging forms of soil degradation, responsible for reducing the productive potential of crops and causing serious environmental damage. MUSLE, as a modification of the USLE, allows the estimation of erosion under various conditions of use and soil cover, slope, ramp length, soil types and flow rate. The equation represents an important research tool on the erosive process, besides estimating the sediment production at the basin scale, differing from the USLE by adopting a term related to runoff in place of rain erosivity. The LS factor utilized in MUSLE refers to the topographic characteristics of the basins and can be calculated in several ways, each way generating significantly different results for the equation. Furthermore, the objective of this work is to estimate the sediment production in the Cunha River basin, using different LS factor calculation methods, related to different values for the calibration coefficients α and β . In conclusion, the results demonstrate that the methodology used to calculate the LS factor modifies the optimal values for the calibration parameters.

Palavras-Chave – MUSLE; fator topográfico; retângulo equivalente.

1) UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre, hoppen.eduarda@gmail.com , (51) 994639460
2) UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre, clarissagsalvador@gmail.com , (54) 984185168
3) UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre, gean.michel@ufrgs.br , (51) 33086414

1. INTRODUÇÃO

Como uma das principais consequências relacionadas ao uso e ocupação inapropriados do solo tem-se a erosão, processo mecânico que age em superfície e em profundidade em certos tipos de solo e sob determinadas condições físicas, naturalmente relevantes, tornando-se críticas pela ação antrópica (MAGALHÃES, 1995). Tal processo é uma das formas mais prejudiciais de degradação do solo. Além de reduzir o potencial produtivo das culturas, pode causar sérios danos ambientais, como poluição dos cursos hídricos, com a consequente alteração dos ecossistemas aquáticos e assoreamento dos cursos de água. Essa perda de solo pode ser calculada a partir de modelos hidrossedimentológicos, os quais geram estimativas da quantidade de sedimento produzido para auxiliar no controle da erosão e incentivar o uso de práticas conservacionistas. A obtenção de resultados exatos à produção de sedimentos em uma bacia é bastante improvável, mas resultados suficientemente satisfatórios podem ser alcançados por diversos modelos.

Um dos modelos mais utilizados e difundidos que permite estimar a erosão sob variadas condições de uso e cobertura do solo, declividade, comprimento de rampa, tipos de solo e intensidades de chuva, é a Equação Universal de Perdas de Solo, (USLE - *Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978). Ainda que a escala de aplicação da USLE, ou da equação revisada (RUSLE), seja para encostas curtas, existem variantes destas que têm sido utilizadas para estimar a erosão e a produção de sedimentos na escala de bacias hidrográficas (MERRIT et al., 2003). Esse é o caso da Equação Modificada de Perdas de Solo – MUSLE (WILLIAMS, 1975) e de modelos que calculam a produção de sedimentos utilizando a combinação da USLE com a razão de distribuição de sedimentos (*Sediment Delivery Ratio*).

A MUSLE é baseada nos mesmos parâmetros da USLE em relação ao tipo de solo (fator K), cobertura e uso do solo (fator C), uso de práticas conservacionistas (fator P) e topografia do relevo, pela declividade e comprimento da vertente (fator LS). A modificação da equação é baseada no fator R, de erosividade da chuva, o qual foi substituído por um fator de escoamento superficial, o qual considera a vazão de pico e o volume total de escoamento envolvidos em um evento, relacionados a uma bacia em específico pelos coeficientes α e β .

Uma das principais variações entre as duas equações é o espaço de análise temporal, sendo que a USLE gera uma estimativa anual enquanto a MUSLE estima a produção por evento de chuva. Em função do novo conceito de análise temporal, a escala espacial também é influenciada. A análise de vazão de pico e volume total de chuva é estimada para toda a bacia. Além disso, uma vez que a USLE é dimensionada a partir de uma parcela, os parâmetros LS são diretamente estabelecidos, já na escala de bacia o fator LS deve ser adaptado.

O fator LS combina os fatores comprimento da rampa (L) e declividade (S). A determinação desse fator apresenta limitações em áreas de relevo complexo ou de grandes extensões, o que resulta

em estimativas equivocadas das taxas de erosão do solo. Em vista disso, a escolha do método mais adequado deve ser considerada. Existem diferentes métodos de cálculo do fator LS, entre eles o Método do Comprimento Equivalente (COUTINHO, 2014), o Método Moore e Burch (1986 a,b,c) e o método utilizado pelo modelo SWAT - *Soil and Water Assessment Tool* (ARNOLD *et al.*, 1998). Entretanto, a utilização de uma equação para cálculo de LS que esteja de acordo com os parâmetros de calibração da MUSLE (α e β) pode ter maior relevância na obtenção dos resultados. Portanto o objetivo deste trabalho é estimar a produção de sedimentos na bacia do Rio Cunha pela equação da MUSLE, utilizando diferentes métodos de cálculo do fator LS, relacionados a valores diferentes para os coeficientes de calibração α e β .

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A bacia do Rio Cunha tem aproximadamente 17 km² e está localizada no município de Rio dos Cedros, Santa Catarina, conforme ilustrado na Figura 1. O rio Cunha tem aproximadamente 4 km de extensão e deságua no Rio dos Cedros, que é um dos afluentes do Rio Itajaí-Açu. As altitudes máxima e mínima da bacia são de aproximadamente 860 e 90 metros, sendo que a parte mais alta da bacia apresenta declividades menores, aumentando no trecho médio e, novamente, reduzindo na parte mais baixa, próxima ao exutório. O relevo apresenta altas declividades, em vertentes curtas e vales encaixados. A bacia está localizada sobre a formação Serra Geral, e Grupo São Bento, sendo o solo predominante na região o Cambissolo. Nas regiões mais altas da bacia hidrográfica ocorrem Argissolos vermelho-amarelo (POTTER *et al.*, 2004).

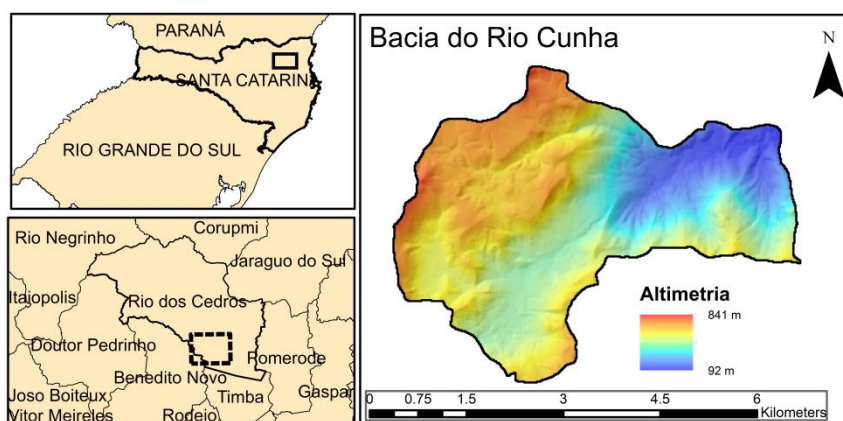


Figura 1 - Localização e altimetria da Bacia Hidrográfica do Rio Cunha.

2.2. Equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE)

A MUSLE é uma equação desenvolvida por Williams (1975) a partir de uma alteração da USLE. A MUSLE, assim como a USLE, também é utilizada para medir a produção de sedimentos, mas com aplicação em escala de bacia hidrográfica, diferentemente da aplicação em parcelas ou

encostas como na USLE. Ademais, a principal modificação é em relação ao fator R, de erosividade da chuva, o qual é substituído por um fator em função da vazão de pico e do volume total escoado, considerando diretamente o escoamento sobre o solo em eventos isolados ocorridos na bacia. A equação resultante é expressa pela Equação 1.

$$Y = \alpha(Q * q_p)^\beta * K * LS * C * P \quad (1)$$

Onde Y é o aporte de sedimentos no exutório da bacia após um evento chuvoso (t); Q é o volume de escoamento superficial (m³); q_p é a vazão de pico (m³/s); K é o fator de erodibilidade do solo (t/ha/(tm/ha.mm/h)); L é o fator de comprimento do declive (m); S é o fator grau do declive; C é o fator de cultura, uso e manejo do solo; P é o fator de práticas conservacionistas e α e β são coeficientes de ajuste para cada bacia. Originalmente, os valores de α e β valem respectivamente 11,8 e 0,56, no Sistema Internacional (WILLIAMS, 1975).

Os valores de vazão de pico e volume total escoado foram obtidos por dados de monitoramento através de uma estação automática fluviométrica e sedimentométrica localizada no exutório da bacia. Esses dados junto com dados climáticos foram obtidos pelo LabHidro da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://www.labhidro.ufsc.br>). Foram utilizados dados de seis eventos de chuva, ocorridos no ano de 2012, para calibrar a equação através de uma regressão não linear relacionando os termos Q*q_p e Y medidos na bacia, de onde obtém-se uma equação potencial, da qual são extraídos os novos valores de α e β. O β é diretamente extraído da equação potencial de regressão, sendo igual ao expoente da mesma. O α é determinado pela divisão do parâmetro multiplicativo da regressão pelo restante dos parâmetros conhecidos, ou seja, os fatores K, C, P e LS. O fator LS utilizado nessa calibração foi obtido pelo método utilizado pelo SWAT.

Os parâmetros C e K, também utilizados pela MUSLE, foram obtidos respectivamente pelas médias dos mapas de uso do solo da bacia do Rio Cunha (MICHEL, 2013) e do mapa de tipos de solo segundo IBGE (2003). As classes encontradas na bacia para cada um dos parâmetros estão apresentadas nas Tabela 1 e 2, com seus respectivos valores estimados. As classes de solo são referentes a Argissolos, Cambissolos e Pdzólicos. O fator P de práticas conservacionistas foi considerado 1, indicando a inexistência de qualquer prática na bacia.

Tabela 1. Valores de C associados ao uso do solo na bacia.

K

CLASSE	Fator C
Água	0
Edificação	0
Mata Nativa	0.0015
Reflorestamento	0.002

Tabela 2. Valores de K associados aos tipos

de solo da bacia do Rio Cunha.

Solo	K
Cd9	0.1039
Ca38	0.0816
Ca96	0.1035
PVLa4	0.1237

Pastagem	0.1
Agricultura	0.14
Escorregamento	0.5
Solo Exposto	0.9

PVLa5	0.0876
Cd5	0.0724
Cd2	0.1211
Ca39	0.0809

O fator topográfico LS é descrito por Wischmeier e Smith (1978) como a distância entre o ponto de origem da superfície de escoamento até o ponto onde o gradiente de declividade reduza o suficiente para iniciar os processos de deposição ou onde o fluxo se concentrar em um canal definido. Ele pode ser estimado por diferentes fórmulas, baseadas em conceitos e metodologias de cálculo diferenciadas.

2.3. Métodos utilizados para o cálculo do fator LS

O fator topográfico LS foi estimado considerando três diferentes metodologias. Entre elas a equação citada por Coutinho (2014) como mais usual para a MUSLE e a equação aplicada pelo modelo SWAT as quais consideram a bacia como área de aplicação. A terceira metodologia utilizada foi descrita por Moore & Burch (1986 a,b,c), com base na área de contribuição, estimando o fator LS pixel a pixel em ambientes de geoprocessamento.

2.3.1. Comprimento Equivalente

O método utilizado por Coutinho (2014) é fundamentado numa representação da área da bacia através de um retângulo equivalente à sua área. O valor do fator topográfico LS, conjunto de comprimento de rampa e grau de declividade, com base em procedimentos manuais e dados de campo, é obtido pela Equação 2 (COUTINHO, 2014).

$$LS = \left(\sqrt{\frac{L}{100}} \right) (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2) \quad (2)$$

Onde LS é fator topográfico; L é o comprimento da vertente (m); e S a declividade do terreno (%).

Para o cálculo do comprimento de rampa (L), utilizou-se o método do retângulo equivalente, que considera o L como a quarta parte da largura do retângulo equivalente (le), apresentado pela Equação 3.

$$le = \frac{K_c \sqrt{a}}{1,12} * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right) \quad (3)$$

Onde le é o comprimento do retângulo equivalente (km), a é a área da bacia hidrográfica (km²) e Kc o coeficiente de compacidade, dado pela equação 4:

$$Kc = 0,282 * \frac{Pe}{\sqrt{a}} \quad (4)$$

Onde Kc é o coeficiente de compacidade, Pe é o perímetro da bacia hidrográfica (km) e a é a área da bacia hidrográfica (km²).

O valor do fator S pode ser determinado através da Equação 5 (WILKEN, 1978).

$$S = \frac{\Delta H * L_n}{a} * 100 \quad (5)$$

Onde S é a declividade média do terreno (%); ΔH é a diferença de cotas entre a montante a jusante do rio principal (m); L_n é o comprimento total do rio principal (m) e a é a área da bacia hidrográfica (m²).

2.3.2. Método Moore e Burch

Moore & Burch (1986 a,b,c) propuseram uma metodologia de cálculo considerando a variável área de contribuição, a qual permite determinar com melhor acurácia os processos erosivos advindos do fluxo laminar sobre declives. Considerando a ampla acessibilidade e facilidade de utilização de ferramentas de geoprocessamento, o método permite estimar o valor do fator LS em cada pixel de um modelo digital de elevação (MDE). O método é amplamente aplicado pela USLE, sendo adaptado para MUSLE com a utilização do fator LS pela média de todos os pixels da bacia.

Uma base teórica foi apresentada para determinação do fator LS pela incorporação da teoria da potência unitária do escoamento, apresentada por Yang (1972, 1973, 1984). Sendo a base matemática utilizada nessa representação, expressa pela Equação 6.

$$LS = \left(\frac{a * l}{22,13} \right)^{0,4} * \left(\frac{s}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (6)$$

Onde LS representa o fator LS derivado da teoria da potência do escoamento; a , o fator de forma da vertente (Equação 7); l , a distância longitudinal da unidade de contribuição hidrológica; e s , o gradiente de declividade.

O valor do denominador do segundo membro da Equação 6 refere-se ao seno do ângulo de 9 cm/m⁻¹, que corresponde à declividade da parcela-padrão de onde inicialmente foi derivado o fator LS. O fator de forma a é de grande importância para representação dos processos hidrológicos de superfície. Quando a for igual a 1, a forma da unidade hidrológica é retilínea; quando a for maior que 1, a forma da unidade é convergente; e quando a for menor que 1, a forma representa condição de divergência.

O fator de forma a é calculado pela razão entre a área da unidade de contribuição hidrológica (A) e o produto da largura da seção transversal da unidade hidrológica no seu exutório (b) pela distância longitudinal da unidade de contribuição hidrológica (l), conforme apresentado pela Equação 7.

$$a = \frac{A}{b * l} \quad (7)$$

O valor da área de contribuição hidrológica (A) é obtido em ambiente SIG a partir do MDE. Esse processamento requer que o modelo digital tenha suas depressões preenchidas, a fim de evitar acumulação do fluxo. Em seguida, é realizada um cálculo de direção de fluxo que estima o caminho

preferencial da drenagem. E por último, através da acumulação de fluxo em cada pixel é gerado um produto indicando a área de contribuição da bacia.

2.3.3. SWAT

O fator comprimento e inclinação da rampa (fator topográfico), proposto por Wischmeier and Smith (1978), é calculado pelo modelo hidrológico SWAT utilizando a Equação 8 apresentada abaixo:

$$LS = \left(\frac{L}{22,1}\right)^m (0,0065 + 0,0454S + 0,0065S^2) \quad (8)$$

Onde $m = 0,2$ para $S < 0,5$; $m = 0,3$ para $0,5 \leq S < 3,5$; $m = 0,5$ para $S \geq 3,5$; S é a declividade da rampa em %; L é o comprimento da rampa (m), que representa a distância entre o início do escoamento superficial e a mudança de inclinação do terreno, ou outra causa de interrupção do escoamento da lâmina de água superficial, medida segundo o máximo declive (WISCHMEIER E SMITH, 1978).

A equação utilizada para calcular o comprimento de rampa é a mesma utilizada no método do retângulo equivalente (Equações 3 e 4). O coeficiente m , que é função da declividade, foi calculado nesse estudo através da Equação 9, onde α é a declividade referente ao trecho do rio principal.

$$m = 0,6 * (1 - \exp[-35,835 * \tan \alpha]) \quad (9)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos pela MUSLE considerando a sugestão de Williams (1975) para os coeficientes α e β , comparados pela última coluna com os valores medidos em campo para cada um dos eventos.

Tabela 3. Resultados da produção de sedimentos com diferentes métodos de cálculo do fator LS, considerando $\alpha=11,8$ e $\beta=0,56$.

Método fator LS	Y – Produção de sedimentos (ton)			
	SWAT	Coutinho	Moore e Burch	Medido
Evento 0	65,04	56,45	227,61	5,46
Evento 01	1409,87	1223,80	4934,11	363,54
Evento 02	462,81	401,72	1619,68	79,38
Evento 03	107,65	93,44	376,75	9,46
Evento 04	438,76	380,85	1535,53	69,03
Evento 05	431,55	374,59	1510,29	77,73

Todos os métodos superestimaram drasticamente os resultados. Os métodos do SWAT e o citado por Coutinho apresentaram os resultados mais próximos aos medidos, mesmo que com uma

ordem de grandeza acima. Já o método sugerido por Moore e Burch resultou em valores excessivamente maiores. Por conseguinte, os valores de α e β sugeridos por Williams (1975) não condizem com as características da bacia de análise quando estas estão sendo descritas pelas metodologias adotadas neste trabalho para o fator LS, indicando sua falta de representatividade absoluta.

Assim, a calibração dos coeficientes α e β foi feita considerando o fator LS obtido pelo método do SWAT e resultou num valor de 0,1044 para α e de 0,7772 para o β , discrepando-se consideravelmente dos valores de 11,8 e 0,56 sugeridos na literatura. Consequentemente, os resultados gerados foram muito melhores. Conforme apresentado na Tabela 4 os resultados obtidos pelo método do SWAT foram muito mais próximos dos valores medidos. O erro médio estimado pelos seis eventos foi igual a 5,28%, com um erro máximo de cerca de 10% no evento três e um valor mínimo de erro próximo a 1% no evento dois.

Os outros métodos também reduziram a porcentagem de erro em relação ao valor observado, mas ainda apresentaram uma excessiva variação. O método de Moore e Burch permaneceu gerando valores superestimados, enquanto que o método de Coutinho subestimou a produção de sedimentos em todos os eventos. Uma vez que fossem utilizados os outros dois métodos de cálculo do LS para calibração, os resultados obtidos por cada um, separadamente, seriam similares ao gerado pelo SWAT. Ou seja, é imprescindível que o método utilizado para calibração dos coeficientes α e β seja o mesmo utilizado na estimativa da produção de sedimentos pela equação da MUSLE. Dessa forma, reduzimos a porcentagem de erro, gerando estimativas muito próximas aos valores observados por monitoramento. Além disso, no caso de utilização de valores de α e β apresentados na bibliografia, é necessário que se tenha conhecimento sobre qual metodologia de cálculo de LS foi utilizada para obtenção dos parâmetros.

Tabela 4. Resultados da produção de sedimentos com diferentes métodos de cálculo do fator LS, considerando α e β calibrados.

Método fator LS	Y – Produção de sedimentos (ton)			
	SWAT	Coutinho	Moore e Burch	Medido
Evento 0	5,15	4,32	18,03	5,46
Evento 01	368,21	309,00	1288,63	363,54
Evento 02	78,47	65,85	274,61	79,38
Evento 03	10,37	8,70	36,28	9,46
Evento 04	72,87	61,15	255,01	69,03
Evento 05	71,21	59,76	249,21	77,73

4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 4 evidenciam a necessidade de calibração dos coeficientes α e β , sendo os valores sugeridos por Williams (1975) não representativos da bacia. Uma vez calibrados esses parâmetros, os resultados obtidos pelo mesmo método utilizado na calibração se tornam bastante satisfatórios. Entretanto a utilização de dois métodos diferentes, na calibração e na aplicação de MUSLE, geram resultados inadequados. Ademais, a quantidade de dados utilizados, ou número de eventos analisados na calibração influenciam diretamente nos valores calculados. É importante a utilização de eventos com baixa produção e eventos de maior proporção, a fim de garantir dados nos extremos da curva, trazendo maior representatividade e confiabilidade à calibração.

Ademais, é interessante aprimorar metodologias que utilizem a MUSLE aplicada pixel a pixel, uma vez que a MUSLE em toda a bacia é estimada a partir de valores médios, que trazem pouca representatividade, considerando que os fatores variam abruptamente para diferentes condições. Atualmente o processamento em SIG é bastante difundido e permite gerar resultados com maior facilidade e agilidade. Nas estimativas de produção utilizando os coeficientes sem calibração, o método proposto por Moore e Burch (1986), através de geoprocessamento, gerou uma quantidade de sedimentos muito elevada, indicando a necessidade de adaptação da metodologia.

Em suma, o presente trabalho demonstrou possível a utilização de todos os métodos sugeridos para o cálculo do fator LS, desde que calibrados os coeficientes α e β . Na ausência de dados de monitoramento para calibração, recomenda-se a utilização das metodologias citada por Coutinho (2014) referente ao comprimento equivalente e a utilizada no método SWAT. Mesmo que os resultados gerados tenham apresentado valores com uma ordem de grandeza acima, eles foram mais adequados que o método de Moore e Burch (1986). Em vista disso, destaca-se a relevância em manter atividades de monitoramento nas bacias a fim de garantir a disponibilidade de dados para calibração de modelos de produção de sedimentos, como a equação MUSLE.

REFERÊNCIAS

ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S.; WILLIAMS, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment Part I: model development. Journal of the American water resources association. v. 34, n. 1, p. 73 - 89.

COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R.A.; GARCIA, G.O.; XAVIER, A.C.; ZANETTI, S.S.; MOREIRA, M.C. (2014). Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. Revista Agro@mbiente On-line, v. 8, n. 1, p. 01-09.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Gerência de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – UE/SC. (2003). Projeto Gerenciamento Costeiro. Carta de reconhecimento de solos, geomorfologia e geologia da região de Blumenau. Folha SG.22-Z-bIV (MI-2881).

MAGALHÃES, R.A. (1995). Processos Erosivos e Métodos de Contenção CEEB. Ouro Preto, 67 p.

MERRITT, W.S.; LETCHER, R.A. & JAKEMAN, A.J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environ. Mod. Soft.*, 18:761-799.

MICHEL, G. P. (2013). Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito da vegetação. 2013. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis.

MOORE, I.D. & BURCH, G.J. (1986a). Modeling erosion and deposition: Topographic effects. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 29:1624-1640.

MOORE, I.D. & BURCH, G.J. (1986b). Sediment transport capacity of sheet and rill flow: Application of unit stream power theory. *Water Res. Res.*, 22:1350-1360.

MOORE, I.D. & BURCH, G.J. (1986c). Physical basis of the lengths lobe factor in the universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1294-1298.

MOORE, I.D.; GRAYSON, R.B. & LADSON, A.R. (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrol. Proc.*, 5:3-30.

POTTER, R.O., CARVALHO, A.P., FLORES, C.A.; BOGNOLA, I. (2004). Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. v. 46, p. 721.

WILKEN, Paulo Sampaio. (1978). Engenharia de drenagem superficial. São Paulo, BNH/ABES/CETESB; p. 1-18.

WILLIAMS, J.R. (1975). Sediment routing for agricultural watersheds. *Water Res. Bull.*, 11:965-974.

WILLIAMS, J. R. (1975). Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor. In: Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources. Oxford: USDA. ARS-S-40. p.244-252.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, USDA. (Agricultural Handbook).

YANG, C.T. (1972). Unit stream power and sediment transport. *J. Hydr. Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng.* 98:1805-1826.

YANG, C.T. (1973). Incipient motion and sediment transport *J. Hydr. Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng.*, 99:1679-1826.

YANG, C.T. (1984). Unit stream power equation for gravel *J. Hydr. Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng.*, 110:1783-1797.

AGRADECIMENTOS – Este trabalho recebeu apoio financeiro parcial da CAPES e do CNPQ.