

Sérgio Pascoal de CAMPOS<sup>1</sup>  
Lincoln Gehring CARDOSO<sup>2</sup>

### RESUMO

A equação universal de perdas de solos (EUPS) e os sistemas de informações geográficas (SIGs), apresentam-se como ferramentas ideais para avaliar o comportamento da erosão e promover subsídios para a proposição de técnicas de manejo que possibilitem a redução dos efeitos negativos da exploração agrícola sobre o solo e a água. Neste trabalho, objetivou-se avaliar uma nova metodologia de obtenção do comprimento de rampa, com propósito de utilização no cálculo do fator LS da EUPS. O procedimento para cálculo do comprimento acumulado de rampa (fator L da EUPS), para a microbacia Água da Cachoeira foi embasado na utilização do software ERODE2 e no modelo digital de elevação (MDE) da área de estudo. O MDE, contendo informações somente nas áreas ausentes de terraceamento, permitiu o cálculo do comprimento de rampas (fator L) para estas áreas. Para as áreas terraceadas o comprimento de rampa foi padronizado em 50 metros, de acordo com a distância média entre os terraços. O plano de informação (PI) contendo os comprimentos das rampas foi utilizado em conjunto com o PI contendo as declividades, na obtenção dos fatores LS para a área de estudo. Os resultados obtidos permitiram concluir que a metodologia utilizada é adequada às exigências da EUPS, principalmente pela possibilidade do cálculo de comprimento de rampa de forma acumulada e a obtenção do comprimento de rampa para áreas com presença parcial de terraceamento.

**Palavras-chave:** comprimento de rampa, EUPS, fator LS.

### ABSTRACT

The universal soil loss equation (USLE) and Geographic Information Systems (GIS) are ideal tools to evaluate erosion behavior and to help formulate recommendations to reduce the negative impacts of agricultural

<sup>1</sup> Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista – ESAPP, Paraguaçu Paulista, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências Agrárias/UNESP, Departamento de Engenharia Rural, Botucatu, SP, Brasil.

use on soil and water bodies. The objective of this work was to evaluate a new method to obtain the slope length for calculating the USLE LS factor. The cumulative slope length (USLE L factor) for the Água da Cachoeira watershed was calculated by using the software ERODE2 and the digital elevation model (DEM) of the studied area. The DEM allowed the calculation of slope length (L) in areas where terraces did not occur. For terraced areas, the slope length was standardized at 50 m, the average distance between terraces. Slope length and slope angle were used to obtain the LS factor for the studied area. The results showed that the method used is appropriate for calculating the USLE, especially because it calculates the cumulative slope length and allows its calculation in areas with partial presence of terracing.

**Key-words:** ERODE2, slope length, USLE.

## INTRODUÇÃO

O uso adequado do solo exige a utilização de várias técnicas de manejo e conservação do solo, as quais apresentam variados níveis de complexidade. Para o planejamento conservacionista em microbacias hidrográficas, Politano *et al.* (1989/90) ressaltam que as atividades de uso e manejo do solo, proteção de nascentes, controle das águas pluviais, estabilização das rampas ou encostas, infra-estrutura e sistemas viários, devem ser elaboradas em consonância com as características das bacias hidrográficas em que vão ser implantadas. A Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) e os sistemas de informações geográficas (SIG), que têm entre suas principais funções a de fornecer condições para a integração espacial de informações, apresentam-se como ferramentas ideais para avaliar o comportamento da erosão e promover subsídios para a proposição de técnicas de manejo que possibilitem a redução dos efeitos negativos da exploração agrícola sobre o solo e a água.

Conforme Wischmeier & Smith (1978), a equação universal de perdas de solo (EUPS) é um modelo desenvolvido para estimar a perda de solo em escoamento superficial a partir de uma área específica, sob um sistema de cultivo e manejo específico. No entanto, selecionando-se os valores adequados dos fatores, a equação poderá estimar a perda de solo para sistemas de multicultivo, para um cultivo em particular num sistema de rotação ou para um período do cultivo anual. A EUPS possibilita determinar a perda média anual de terra, provocada por erosão hídrica, em função dos fatores: energia da chuva (erosividade – fator R), suscetibilidade do solo à erosão (erodibilidade – fator K), comprimento e grau do declive (fatores L e S), uso e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P). É expressa por  $A = RKLSCP$ , onde: A = perda de solo por unidade de área ( $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ ); R = é a erosividade ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$ ); K é a erodibilidade ( $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$ ); L é o compri-

mento do declive (metros); S é o grau do declive (porcentagem); C é o uso e manejo (adimensional) e P é a prática conservacionista (adimensional) (Nascimento & Lombardi Neto, 1999). A taxa de erosão do solo pela água é afetada substancialmente pelo comprimento e declive da rampa, sendo que o efeito de cada fator tem sido avaliado separadamente pela pesquisa e são representados na equação de perda de solo por L e S, respectivamente. Na prática, considerar os dois como um simples fator topográfico, LS, é mais conveniente (Wischmeier & Smith, 1978). Bertoni & Lombardi Neto (1990) apresentam equações para a determinação do fator LS, para uso em combinações definidas de comprimento e grau de declive, pressupondo que este último seja essencialmente uniforme. Entretanto, para áreas extensas, com grande variabilidade de combinações de comprimento de rampa e declive, a utilização de equações seria um trabalho de execução exaustiva. Ranieri *et al.* (1996) comentam que o fator LS é o parâmetro de maior dificuldade de determinação de forma automatizada, devido a EUPS ter sido desenvolvida para glebas homogêneas, não contemplando áreas como uma bacia hidrográfica. Baptista *et al.* (1997), utilizando o IDRISI, desenvolveram uma metodologia para cálculo do comprimento de rampa, discretizando o parâmetro pixel a pixel. Os resultados obtidos mostraram que a discretização por pixel tende a uma redução dos valores superiores a  $30 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , e sugerem novos trabalhos para melhorar a exatidão dos diagnósticos de perda de solo por meio do geoprocessamento. Este trabalho objetivou avaliar uma nova metodologia de obtenção do comprimento de rampa, com propósito de utilização no cálculo do fator LS da EUPS.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

#### Descrição geral da área

A área de estudo constitui-se de uma microbacia com 3.700 ha, localizada no município de Paraguaçu Paulista - SP, com centrais iguais em  $22^{\circ}20'18''\text{S}$  de Latitude e  $50^{\circ}35'58''\text{W}$  de Longitude. É drenada pelo rio Água da Cachoeira, constituindo-se numa microbacia de quarta ordem de ramificação (de acordo com método modificado por Strahler, 1964, (apud Villela & Mattos, (1975)). A bacia possui vegetação natural de cerrado e floresta, relevo de plano a ondulado, solos oriundos de depósitos recentes do Quaternário e de arenitos de duas formações do Grupo Bauru: Marília e Adamantina e clima tipo Cwa pela classificação de Köppen (Marques & Zimback, 1995).

A microbacia do riacho Água da Cachoeira é explorada basicamente pela agropecuária, estando a maior parte de sua área ocupada pelo cultivo da cana-de-açúcar e pelas pastagens. Em termos gerais, a microbacia se encontra degradada,

apresentando áreas com erosão laminar, em sulcos rasos, em sulcos profundos e em algumas nascentes, a ocorrência de voçorocas, situação concordante com as encontradas por Campos (1996) e por Domingues *et al.* (1998).

### Equipamentos e programas

- a) Sistema de computação: PENTIUM, 64 Mb de memória RAM; winchester de 4.2 Gb; monitor SVGA 17"; impressora HP - Deskjet 692 e mesa digitalizadora.
- b) Programas
  - ERODE2 (Central Washington University); IDRISI versão 4.1 (Eastman, 1992); IDRISI32 (Eastman, 1999).

### Base de dados

- a) Carta topográfica do município de Paraguaçu Paulista-SP, da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1974), escala 1:50.000, com distância vertical de 20 m entre cotas.
- b) Fotografias aéreas verticais do levantamento realizado pela Terrafoto S/A em 1984, com escala aproximada 1:35.000.
- c) Imagem de satélite sistema LANDSAT TM (bandas 3, 4 e 5) de julho de 1997.

### Métodos

O procedimento para cálculo do comprimento acumulado de rampa para a microbacia Água da Cachoeira foi embasado na utilização do programa ERODE2, desenvolvido pelo *Department of Geography and Land Studies, Central Washington University, Ellensburg, W.A.* (<http://www.cwu.edu/~rhickey/slope/erode.html>). O programa ERODE2 pode ser considerado como uma rotina computacional que utiliza os módulos do *software* IDRISI versão 4.1 para realizar o cálculo do comprimento acumulado de uma rampa.

A base de dados utilizada pelo ERODE2 para a obtenção das rampas e seus respectivos comprimentos é o modelo digital de elevação da área em estudo. Os arquivos gerados irão conter, para cada célula, o ângulo de inclinação, o comprimento, o direcionamento (aspecto) e os comprimentos acumulados para as rampas. Um parâmetro importante a ser considerado na utilização do ERODE2 é o fator *Cutoff Slope* (interrupção do declive), que define a mudança necessária no declive para que o comprimento acumulado da rampa seja finalizado, caracterizando uma região onde a taxa de deposição é maior que a erosão ou nula. O valor dado a este parâmetro deve variar de 0 - 1 (0-100%), ou seja, se o declive decrescer mais do que o valor estabelecido, então haverá deposição e não erosão, sendo o

comprimento acumulado do declive neste ponto considerado como 0 (zero). Se for estabelecido um valor, por exemplo, de 0,5 (50%) e o ângulo de inclinação da rampa sofrer uma variação na direção do escoamento de 10 graus para 4 graus, então este ponto será considerado como final da rampa, pois a mudança foi maior que 50%.

O primeiro plano de informação (PI) gerado para cálculo do fator LS foi o SGDEM (modelo digital de elevação - MDE), obtido a partir da interpolação das curvas de nível referentes à área de estudo, com o uso dos módulos TIN e TINSURF. No entanto, se utilizado como base de dados para a determinação do comprimento das rampas existentes na microbacia Água da Cachoeira, por meio do ERODE2, os resultados não seriam condizentes com a realidade, pois a microbacia possui áreas com terraceamento. Conforme Bertoni & Lombardi Neto (1990) e Wischmeier & Smith (1978), para a determinação do fator LS em áreas terraceadas deve-se utilizar como comprimento da rampa a distância entre os terraços.

Na busca de um procedimento que permitisse a obtenção dos comprimentos das rampas, levando-se em consideração as áreas terraceadas, elaborou-se primeiramente um plano de informação contendo estas áreas (SGTERRAÇO), a partir de informações obtidas através da imagem de satélite, das fotografias aéreas e de visitas ao campo. Os pixels da imagem SGTERRAÇO representantes das áreas terraceadas foram assinalados com valor 0 (zero) e os demais com valor 1, permanecendo o *background* (fundo) com valor 0 (zero). Por meio do módulo OVERLAY existente no IDRISI, a imagem SGTERRAÇO foi multiplicada pela imagem SGDEM, originando uma imagem onde os pixels das áreas terraceadas possuíam valor 0 (zero) e os demais pixels, valores do modelo digital de elevação. Desta forma, um novo MDE foi elaborado, contendo valores de altitudes somente para as áreas não terraceadas. Este MDE foi utilizado então para calcular o comprimento acumulado das rampas pelo programa ERODE2, utilizando para o parâmetro *Cutoff Slope* (interrupção do declive) o valor 0,05, ou seja, quando o declive da rampa sofresse uma alteração de 95% o cálculo do comprimento acumulado seria finalizado. Este valor foi estipulado com base na avaliação do histograma da imagem contendo as declividades em graus, calculadas para microbacia, gerada pelo módulo SURFACE do IDRISI e denominada SGSLOPEG, e na declividade média para a bacia (5°28') calculada através do módulo EXTRACT do IDRISI. Considerou-se a ocorrência de deposição para declividades iguais ou inferiores a 1%. A imagem resultante foi sobreposta pela imagem SGTERRAÇO, por meio do módulo OVERLAY, com os pixels das áreas terraceadas codificados com o valor 50 representando a distância média entre os terraços. A imagem final recebeu a denominação de SGERORAMPA.

O fator LS foi calculado com a utilização do recurso IMAGE CALCULATOR para realizar o processamento da equação:

$$LS = 0.00984 C^{0.63} D^{1.18}$$

onde:

C = comprimento de rampa (m) (SGERORAMPA)

D = declividade (%) (SGSLOPEP)

A imagem SGSLOPEP foi obtida através do módulo SURFACE do IDRISI.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rampa é definida como sendo a distância a partir do ponto de origem do escoamento até o ponto onde a declividade decresce a tal ponto que a deposição tem início, ou o escoamento entra em um canal de drenagem bem definido, que pode fazer parte de uma cadeia de rios (Wischmeier & Smith, 1978). Logo, a metodologia utilizada no estabelecimento dos comprimentos de rampa para grandes áreas deve contemplar a influência das áreas de deposição. O parâmetro *cutoff slope* utilizado no programa ERODE2 possibilita considerar as áreas de deposição no cálculo do comprimento de rampas. Entretanto, o estabelecimento preciso deste valor para áreas extensas e com amplas variações na declividade exigiria avaliações por meio de métodos diretos ou indiretos, do comportamento dos processos de remoção e deposição de solo ao longo da vertente, com o objetivo de se determinar sob quais condições tem-se o fim da remoção e o início do aporte. Deve-se considerar ainda que a deposição de materiais erodidos não ocorre apenas quando a declividade decresce a tal ponto que a energia contida no fluxo d'água não é capaz de movimentar as partículas, mas também por influência da mudança de rugosidade na superfície, existência ou não de cobertura do solo, bem como o tipo de vegetação existente. Buscando a praticidade, a avaliação das áreas de deposição existentes na microbacia permitiu estabelecer, de forma generalizada, a condição de declividade onde ocorre a alternância do processo de remoção para o de deposição.

Além de considerar a ocorrência de deposição no cálculo do comprimento de rampa, o programa ERODE2 o faz de forma acumulada, o que é considerado positivo para o estabelecimento do fator LS, conforme Wischmeier & Smith (1978), pois a perda de solo por unidade de área geralmente aumenta substancialmente com o aumento do comprimento da rampa, devido ao somatório do escoamento superficial, que aumenta a capacidade de desagregação e transporte de sedimentos. Esta afirmação é confirmada por Bertoni & Lombardi Neto (1990), que apresentam os dados contidos no Tabela 1 para esclarecer os efeitos do comprimento da rampa nas perdas de solo por erosão.

Os autores comentam que, quadruplicando-se o comprimento de rampa, as perdas de solo por unidade de área quase triplicam e diminuem em mais da metade as perdas de água por unidade de área. Para os comprimentos de rampa de 25 m,

Tabela 1. Efeito do comprimento de rampa nas perdas de solo.  
(Fonte: Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Comprimento da rampa (m)	Média T/ha	1º segmento 25m	2º segmento 25m	3º segmento 25m	4º segmento 25m
25	13,9	13,9	-----	-----	-----
50	19,9	13,9	25,9	-----	-----
75	26,2	13,9	25,9	38,8	-----
100	32,5	13,9	25,9	38,8	51,4

50 m, 75 m e 100 m, foi verificada uma proporção de 1:1,4:2,3 em perdas de solo, e de 1:0,7:0,2 em perdas de água.

A utilização do programa ERODE2 se fez levando em consideração as citações apresentadas e as afirmações do *Department of Geography and Land Studies, Central Washington University, Ellensburg, W.A.*, de que o programa ERODE2 produz os resultados requeridos para a USLE (*Universal Soil Loss Equation*) e RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*). A equação universal de perda de solo revisada é composta dos mesmos parâmetros da EUPS, mas recebeu incrementos nos processos de determinação de seus fatores. Estes incluem um subfator de aproximação para avaliar o fator manejo e cobertura, novos valores para práticas de conservação, nova equação para cálculo dos parâmetros comprimento de rampa e declividade.

Deve-se considerar ainda os resultados no cálculo do comprimento de rampa para as áreas remanescentes daquelas terraceadas. Uma exemplificação dos bons resultados obtidos pode ser visualizada, seguindo as indicações, na Figura 1. Nestas posições são observadas áreas terraceadas com início no divisor d'águas e que se estendem até as proximidades do riacho Água da Cachoeira. Para o intervalo entre o final destas áreas e o riacho, foi calculado o comprimento acumulado destas rampas. Desta forma, a influência das áreas a montante sobre estas áreas é desconsiderado, assim como ocorre no campo, pois se os terraços forem eficientes, não haverá contribuição de águas pluviais.

As áreas terraceadas correspondem a 70,28% da área da microbacia. De acordo com os resultados deste procedimento a microbacia possui um comprimento máximo de rampa de 937 m e uma média de 61,45m (Tabela 2).

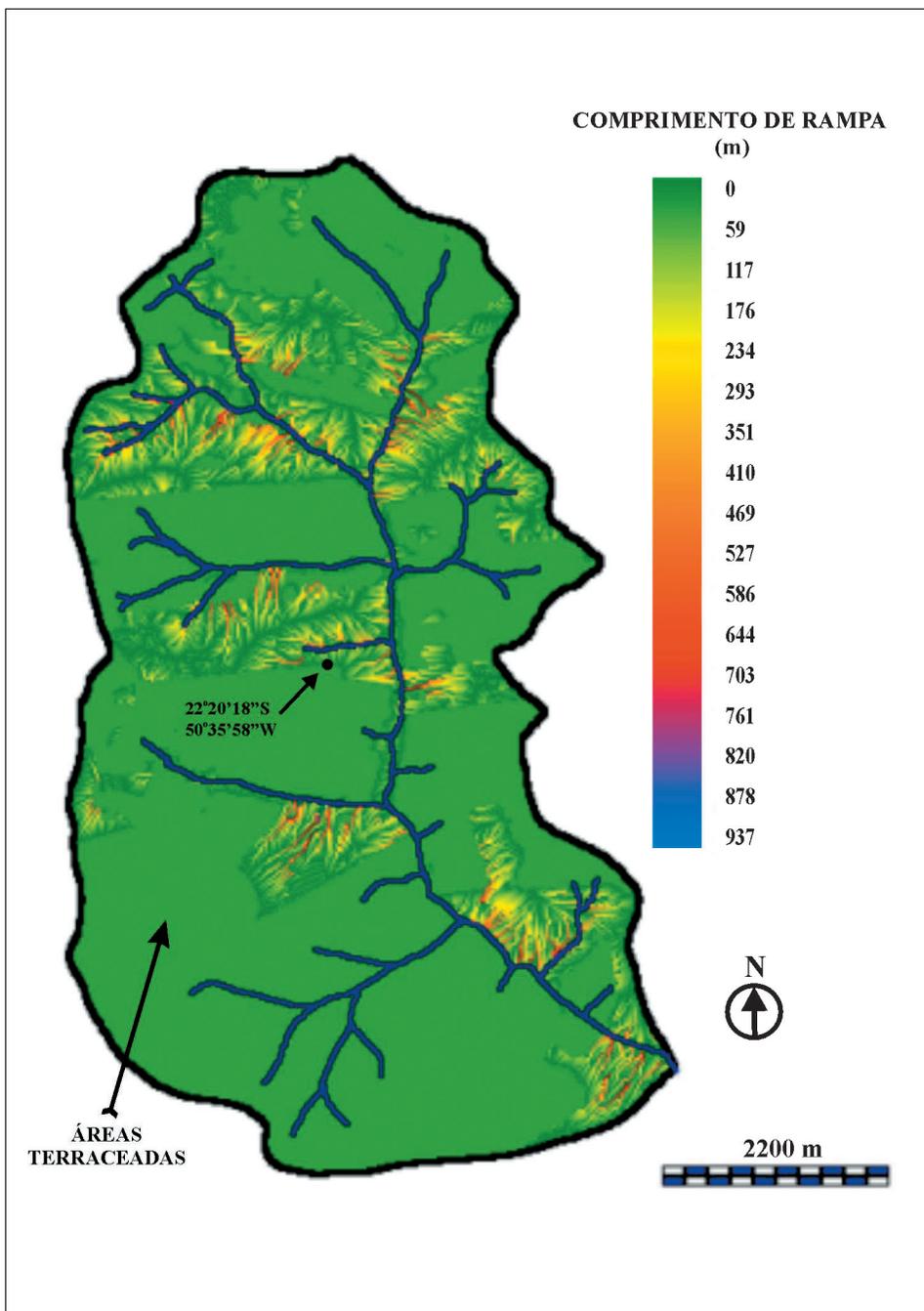


Figura 1. Mapa contendo as rampas da microbacia Água da Cachoeira e seus respectivos comprimentos determinados pelo software ERODE2.

Este baixo valor para a média pode ser explicado pela alta porcentagem de áreas com comprimento de rampa igual a 50m, correspondentes às áreas terraceadas. Para rampas com comprimentos acima de 50 metros, foram encontrados valores percentuais baixos de ocorrência. No entanto, quando são avaliados os números de rampas existentes, pode-se verificar a existência de um grande número de rampas com potencial crescente de erosão conforme o incremento no comprimento.

Tabela 2. Valores proporcionais de ocorrência dos comprimentos de rampa.

Limite Inferior	Limite Superior	Número de Rampas	Proporção de ocorrência %
0,0000	50,0009	78670	86,18
50,0010	100,0009	4951	5,42
100,0010	200,0009	4182	4,58
200,0010	300,0009	1810	1,98
300,0010	400,0009	865	0,95
400,0010	500,0009	424	
500,0010	600,0009	221	
600,0010	700,0009	96	0,89
700,0010	800,0009	48	
800,0010	900,0009	13	
900,0010	950,0009	2	

Os fatores LS obtidos para as diferentes combinações de comprimento de rampa e declividade são apresentados na Figura 2. A média do fator LS para a microbacia foi de 1,93, sendo encontrados valores altos nos finais de rampas extensas, resultados da determinação das distâncias de forma acumulada, embora deva ser considerado o aumento na declividade do terreno nestas localidades, ocorrência que está associada à presença de solos do tipo ARGISSOLOS.

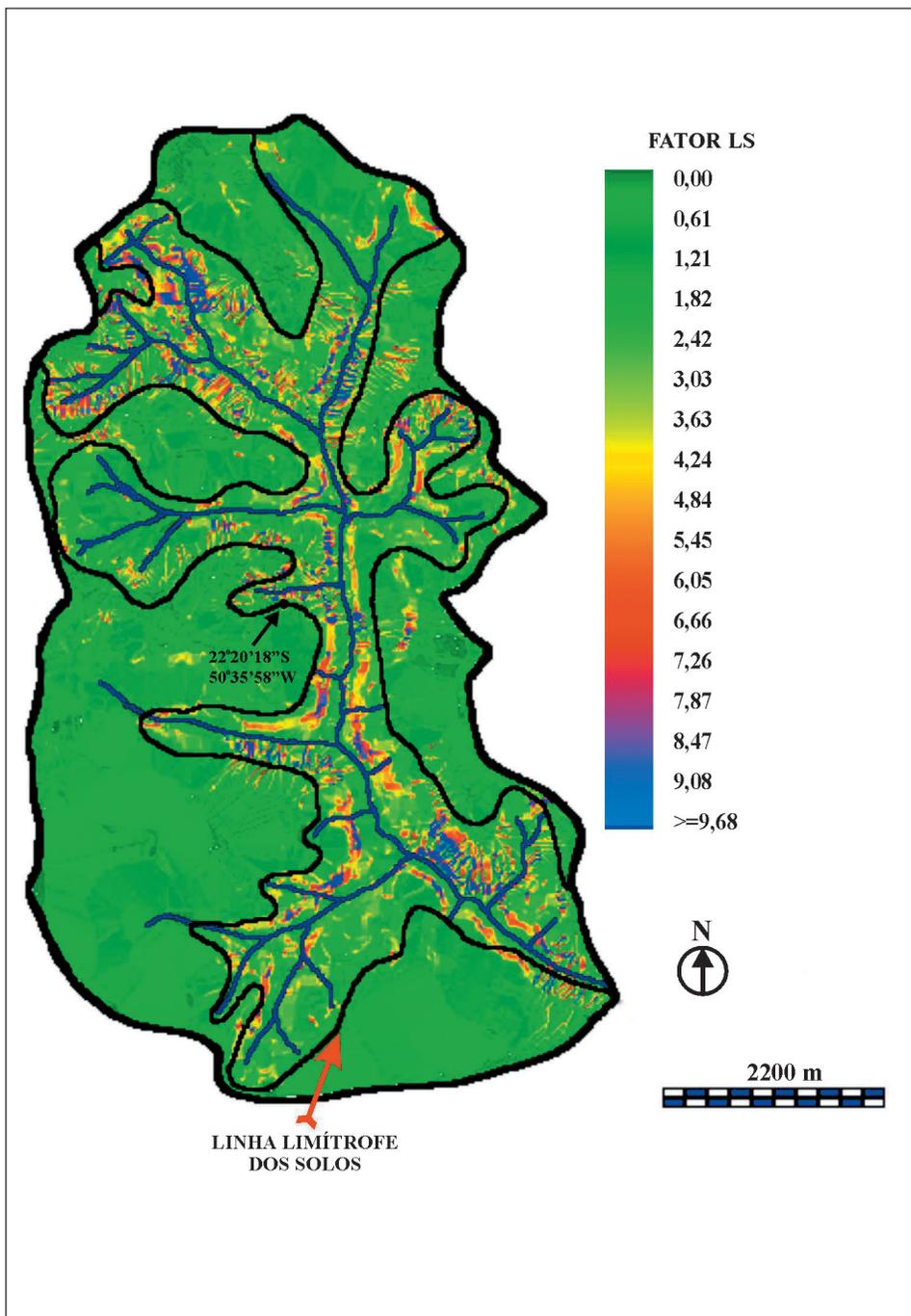


Figura 2. Fator LS para a microbacia Água da Cachoeira.

A distribuição percentual do Fator LS para a microbacia Água da Cachoeira apresentada na Tabela 3, demonstra que os valores predominantes para o Fator LS na microbacia estão abaixo de 3. Na EUPS, valores maiores refletem a maior possibilidade de perda de solo e considerando a dependência deste fator com a declividade do terreno e o comprimento de rampa, pode-se concluir que a redução da perda de solo na microbacia pode ser obtida com a redução no comprimento das rampas, fazendo-se uso do terraceamento.

Tabela 3. Distribuição percentual do Fator LS para a microbacia Água da Cachoeira.

Varição do Fator LS	Proporção (%)
0,0060 - 3,0922	83,63
3,0923 - 6,1785	12,13
6,1786 - 9,2647	2,74
9,2648 - 12,3510	0,85
12,3511 - 15,4373	0,35
15,4374 - 18,5236	0,16
18,5237 - 21,6098	0,08
21,6099 - 24,6961	0,03
>24,6962	0,03

## CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho e os resultados obtidos permitiram concluir que a metodologia utilizada é adequada às exigências da EUPS, principalmente pela possibilidade do cálculo de comprimento de rampa de forma acumulada em áreas com presença parcial de terraceamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baptista, G.M. de M.; Oliveira, A.L. De; Carvalho Júnior, O.A. De & Eid, N.J. 1997. Método de determinação do comprimento de rampa da USLE, discretizado espacialmente pixel a pixel. **In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI, 2., 1997, Campinas. Resumos...**Campinas: Universidade de Campinas. pp. 97-100.
- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. 1990. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone. 355p.
- Campos, S.P. de. 1996. **Planejamento do uso do solo através do sistema de informações geográficas IDRISI.** Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996. 124p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura).
- Domingues, E.N.; Rossi, M.; Mattos, I.F.A.; Abe, K. & Kitada, M. 1998. Tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do ribeirão Água da Cachoeira, em Paraguaçu Paulista, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 22(1):141-49.
- Eastman, J.R. 1992. **User's guide.** Worcester, Massachusetts, USA: Clark University, 178p.
- Eastman, J.R. 1999. **Guide to GIS and image processing.** Worcester, Massachusetts, USA: Clark University. vol 1, 193p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1974. **Carta do Brasil – Paraguaçu Paulista.** São Paulo. 1 mapa, colorido, Folha SF-22-Z-A-I-4, Escala 1:50.000.
- Marques, A.F. & Zimback, C.R.L. 1995. Levantamento semidetalhado de solos na microbacia Água da Cachoeira visando a recuperação ambiental. **In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO, 5., 1995, Bauru. Anais...**Bauru: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. pp.459-461.
- Nascimento, P.C. & Lombardi Neto, F. 1999. Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** 23(1):121-125.
- Politano, W.; Demétrio, V.A. & Lopes, L.R. 1989/90. Características básicas do material cartográfico empregado em atividades agrônomicas nas bacias hidrográficas. **Revista Geografia,** 8/9:21-29.
- Ranieri, S.B.L.; Souza, M.P. De & Sparovek, G. 1996. Cálculo de comprimento de rampa para bacias hidrográficas através do software IDRISI. **In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI, 1. Campinas-SP. Resumos...**Campinas: Universidade de Campinas. pp.17-19.
- Villela, S.M. & Mattos, A. 1975. Bacia hidrográfica. **In: Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. pp. 7-28.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1978. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington D.C., USDA, Agriculture Research Service. 58p. (Agricultural Handbook, 735).