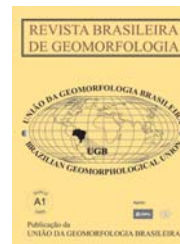




www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 13, nº 2 (2012)



# PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM BACIA HIDROGRÁFICA DE PEQUENA ORDEM: USO DE MODELOS MATEMÁTICOS, BACIA DO RIBEIRÃO MARINGÁ, PARANÁ - BRASIL

## SEDIMENT YIELD IN THE SMALL HYDROGRAPHIC BASIN: USE OF THE MATEMATIC MODELS, MARINGÁ RIVER BASIN, PARANÁ - BRASIL

**Manoel Luís dos Santos**

*Campus Sede da Universidade Estadual de Maringá - Avenida Colombo, 5790 - Bloco 024 - Zona Sete - CEP 87020-900 - (44) 3011 4327 - Maringá/PR- e-mail: mldsantos@uem.br*

**Eduardo Souza de Morais**

*Campus Sede da Universidade Estadual de Maringá - Avenida Colombo, 5790 - Bloco 024 - Zona Sete CEP 87020-900 - (44) 3011 4327 - Maringá/PR - e-mail: moraiseduardo@hotmail.com*

### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
10/12/2010

Data de Aprovação:  
03/04/2012

### Palavras-chave:

Erosão laminar, análise geoambiental, processos superficiais.

### Keywords:

laminar erosion, sediment yield, surface processes.

### Resumo

A bacia hidrográfica do ribeirão Maringá, está localizada no norte do município homônimo, no estado do Paraná. O uso do solo na bacia é intenso e diversificado, sendo ocupado por parte da malha urbana, por intenso uso agrícola e por fragmentos de vegetação natural. Em razão disso, cresce a importância de se reconhecer a dinâmica erosiva da bacia promovida por causas naturais ou antrópicas. Para tal, foram testados dois modelos matemáticos, buscando-se verificar qual deles se adaptaria melhor à realidade da bacia, a fim de ser usado como um instrumento de predição e gestão ambiental. Mediante a aplicação do modelo de produção de sedimento proposto por Kirkby (1976) e da Equação Universal de Perda de Solos trabalhados em ambiente digital produziram-se estimativas sobre a dinâmica ambiental da área. Os resultados da produção de sedimentos apresentaram uma pequena variabilidade devido às características pedológicas. A Equação Universal de Perda de Solo demonstrou espacialmente um cenário com maior variabilidade de perda de solos e parece se adequar melhor à realidade da área quando comparados os seus resultados com as medidas tomadas em campo.

### Abstract

The hydrographic basin of the Maringá River is located in the municipality of Maringá. The land-uses in the basin is intense and varied, occupied in part by the urban grid with intense agricultural use and fragments of natural vegetation. Because of this, there is a growing interest in understanding the erosive dynamics of the basin, promoted by natural or manmade factors. Therefore we used two geomathematical models in order to asses which one would better fit in the reality context of the basin, in order to use it as a tool for prediction and environmental management. The application of the sediment yield model proposed by Kirkby (1976) and the Universal Soil Loss Equation (USLE) used in the digital environment, produced estimates of the environmental dynamics of the area. The sediment yield results showed little variation due to the soil pedological characteristics of the area. The USLE spacially demonstrated a scenario with greater variability in soil loss, including areas that exceed the maximum tolerance recommended for tropical soils.

## Introdução

A bacia hidrográfica, segundo Musetti (2000), deve ser entendida como uma unidade sistêmica e morfológica, que permite a análise e entendimento dos problemas ambientais. As relações contidas em um sistema são caracterizadas pelas interações entre seus elementos. Modelos matemáticos podem ser utilizados para identificar, simular e quantificar as trocas de energia entre os diversos elementos contidos nesse sistema (MARTONI, 1997). Conhecer as variáveis que regulam a perda de solo e a consequente produção de sedimentos representa uma importante contribuição para o conhecimento da evolução das vertentes, para estudos do balanço geoquímico e de sedimentos, e para gestão das bacias hidrográficas.

Os sedimentos produzidos em uma bacia hidrográfica e exportados pelo canal fluvial são provenientes da erosão sobre as vertentes e da erosão sobre as margens e leito do canal principal e seus tributários. Apenas uma parte do sedimento produzido na bacia é exportada para fora da bacia, pois uma significativa parcela fica retida nas vertentes, nos terraços e no próprio canal fluvial (Knighton, 1998)..

Várias metodologias e técnicas buscam estimar a quantidade de sedimentos produzidos em uma região, tais como: por medidas geoquímicas (Salgado e Valadão, 2003; Salgado *et al.*, 2007); por análises qualitativas morfopedológicas e geomorfológicas (Lohmann e Santos, 2005; Santos e Sobrei-

ra, 2008); por medidas diretas da carga sedimentar exportada pelos rios (Restrepo *et al.*, 2009; Leli, 2010); por modelagem matemática (Mitchell e Bubenzer, 1980; Williams, 1990; Mata *et al.*, 2007), entre outros. Os modelos matemáticos não são válidos para todas as condições, mas ganham em eficiência por interrelacionar um grande número de parâmetros e atributos do meio físico. Um bom modelo é aquele que é válido para toda uma área e não apenas para parte dela (Kirkby, 1980). Na análise dos produtos e processos geoambientais tem-se a interferência de um número muito grande de variáveis do meio físico e antrópico, que interagem com vários graus de dependência. Isso imprime a toda a modelagem matemática uma ordem de erro, pois variáveis consideradas menos importantes podem ser literalmente ignoradas, se não forem dominantes (Kirkby, op cit.) Daí a importância da aplicação de modelos que venham, junto com os dados obtidos diretamente em campo, construir um panorama de predição e quantificação dos processos geomórficos naturais

O município de Maringá está localizado no norte do estado do Paraná – Brasil. Essa região do estado experimentou nos últimos trinta anos um acelerado processo de ocupação e tem sua estrutura econômica baseada na prestação de serviços, na agroindústria e nas atividades agrícolas. Esses fatores transformaram sensivelmente as características naturais da paisagem, trazendo uma série de problemas ambientais, dentre eles a aceleração dos processos erosivos.

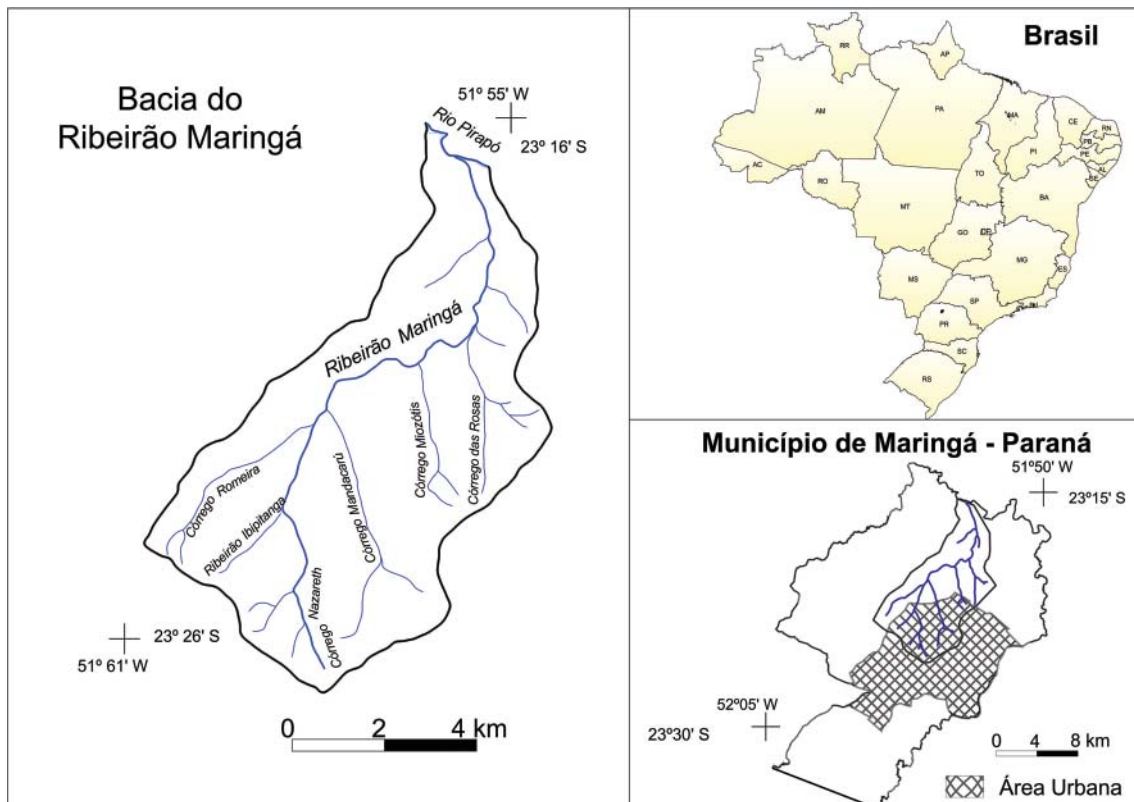


Figura 1 - Localização da área de estudo

A identificação de áreas potencialmente degradáveis em uma bacia hidrográfica com uso diversificado, como a do ribeirão Maringá, pode ser realizada com a modelagem de dados em Sistemas de Informação Geográfica. A utilização dessa ferramenta possibilita a estimativa da produção de sedimentos através da análise e do cruzamento de variáveis do meio físico e antrópico previamente determinadas.

Com a aplicação de dois modelos matemáticos distintos, cotizados com os dados de campo, este trabalho busca quantificar a produção de sedimentos em uma bacia de pequena ordem - "bacia hidrográfica do ribeirão Maringá". Propõe-se ainda a analisar qual dos modelos utilizados representa melhor a realidade da bacia estudada.

### A Área de Estudo

A bacia hidrográfica está localizada no município de Maringá (Figura 1), conta com uma área de drena-

gem de 90,37km<sup>2</sup> e esta inserida no Terceiro Planalto Paranaense.

Na área de estudo, o substrato geológico é composto principalmente pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (K), decorrentes do extenso evento vulcânico do Mesozoico Tardio que abrangeu parte da Bacia Sedimentar do Paraná. No extremo sudoeste da bacia hidrográfica, em uma área de apenas 2% da área total da bacia, próximo à nascente do córrego Romeira, tem-se a ocorrência restrita do substrato formado pelos arenitos da Formação Caiuá (K). Sala (2006) mapeou os solos presentes na área deste estudo, agrupando-os em seis classes, segundo suas características texturais e estruturais, Figura 2 e Tabela 1. Os solos desenvolvidos sobre o basalto são de textura fina e ocupam cerca de 98% da área da bacia, equanto que o solo desenvolvido sobre o arenito apresenta textura média.

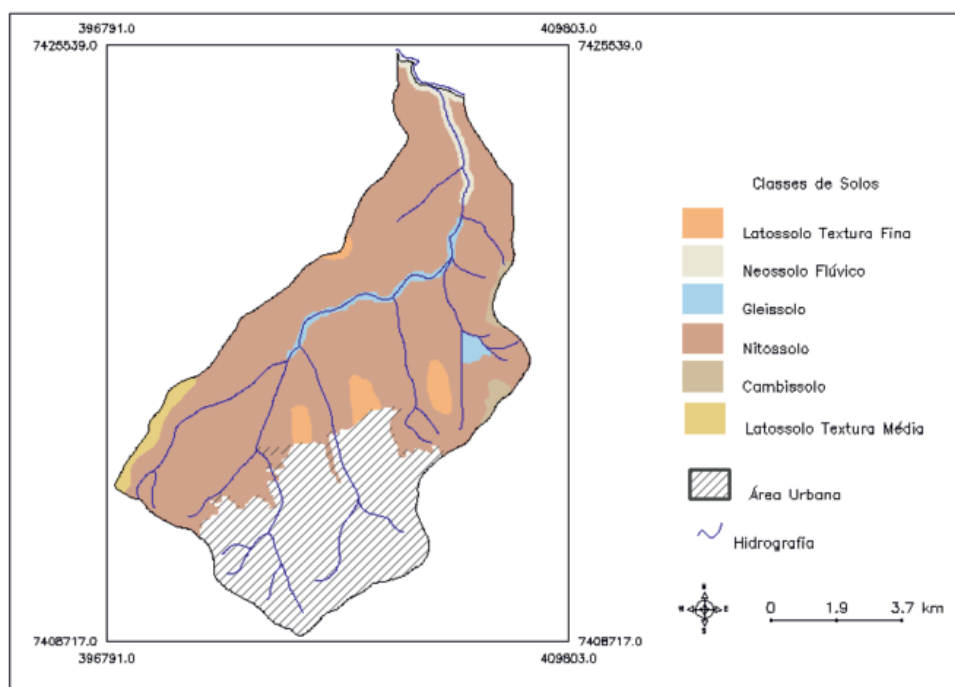


Figura 2 - Carta de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão Maringá. Fonte: Sala (2006)

O uso do solo da bacia está dividido entre a cidade de Maringá, que ocupa cerca de 27,8% da bacia, e a zona rural do município, onde predominam culturas temporárias, como a soja, o trigo e o milho. A bacia do ribeirão Maringá, é uma bacia de terceira ordem que apresenta os interflúvios longos, com centenas de metros de comprimento e topos suavemente arredondados de pequena altura. As declividades são suaves, sendo a

classe com declividades de 13 a 20% dominante na bacia (Figura 3)

O clima da região é classificado como subtropical úmido mesotérmico, a precipitação média anual está entre 1250mm a 1500mm, com chuvas concentradas no verão. A temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio abaixo de 18°C, com raras geadas noturnas (Coelho, 2007).

**Tabela 1 - Tipos de solos ocorrentes na bacia hidrográfica do ribeirão Maringá**

Tipo de solo	Local de ocorrência	Área (%)
Latossolo de Text. Média	Topo da vertente, sobre o arenito	2,02
Latossolo Verm. Distroférico e/ou eutroférico,	Topo da vertente. Sobre o basalto, com estrutura bem desenvolvida	3,83
Nitossolo Verm. Distroférico, latossólico de textura argilosa	Média vertente, sobre o basalto	88,76
Gleissolos	Baixa vertente, sobre o basalto	2,96
Neossolos Flúvios	Baixa vertente, próximo ao canal, sobre o basalto	2,40
Cambissolos	Setor leste da bacia, sobre o basalto	1,51

**Materiais e Métodos**

Este estudo utiliza-se de dados levantados pelo projeto de pesquisa “Características geoambientais das drenagens de pequena ordem no Município de Maringá, Paraná” desenvolvido no Ambito do Grupo de Pesquisa Multidisciplinares do ambiente – GEMA/UEM. Para este artigo, com o intuito de se comparar os resultados dos modelos utilizados nesta análise, buscou-se apoio nos dados de carga sólida suspensa coletada no exutório da bacia do ribeirão Maringá e no exutório do córrego Mandacarú, afluente principal do ribeirão Maringá. Estes dados foram levantados dentro do projeto acima citado e foram efetuados por Coelho (2007), Biazin (2003) e Biazin *et al.* (2004), no período de 2001 a 2007. Em conjunto, esses dados totalizam um período de seis anos e se constituem nos únicos dados de produção de sedimentos, em campo, levantados nesta bacia hidrográfica.

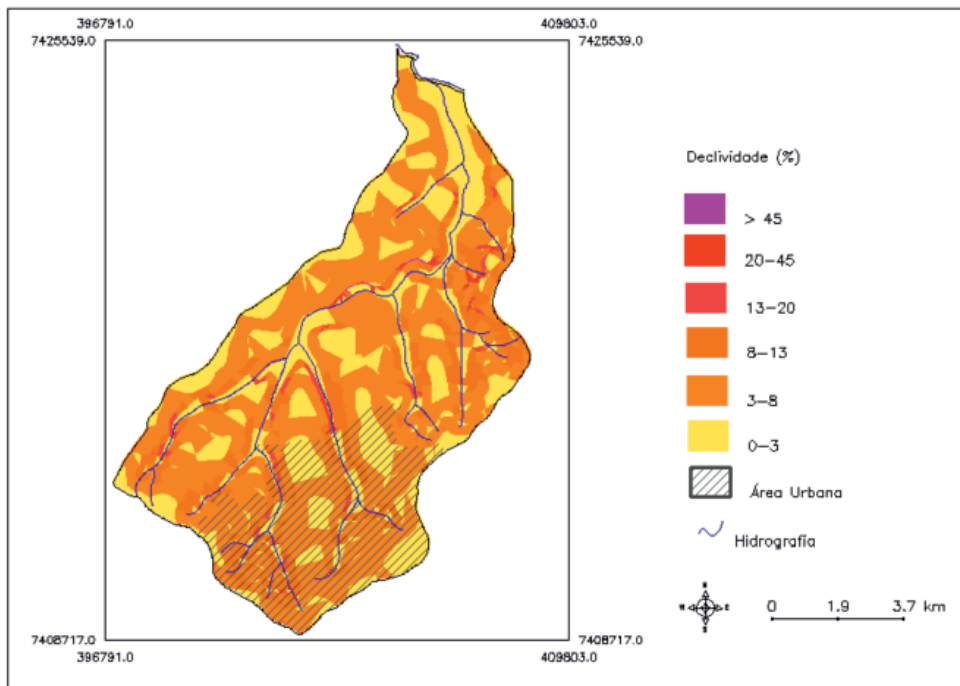


Figura 3 - Carta de declividades da bacia do Ribeirão Maringá

**Produção de sedimentos**

A partir da década de 1960, muitos autores têm intensificado os estudos propondo modelos matemáticos para avaliação e predição dos processos erosivos e da quantidade de sedimentos produzidos em uma dada área, em várias escalas de abordagem (Wischmeier e Smith, 1965; Jansen e Painter, 1974; Williams, 1990; entre outros). No Brasil a

aplicação de modelos matemáticos no estudo dos processos erosivos tem sido frequente, como mostram os trabalhos de Mata *et al.* (2007); Farinasso *et al.* (2006); Prado e Nobrega (2005); Machado e Vettorazzi (2003).

Kirkby (1976) propõe um modelo matemático para quantificar a produção de sedimentos nas vertentes levando em conta, além das características climáticas e da declividade

das vertentes, a capacidade de armazenamento de água no solo (equações 1 e 2). Para a aplicação desse modelo na área deste estudo, adotaram-se técnicas de geoprocessamento para que tais equações pudessem ser distribuídas no interior da bacia hidrográfica. Após a coleta e tabulação, os dados foram integrados no Sistema de Informação Geográfica SPRING 4.3. As variáveis que compõem as equações foram tratadas com a ferramenta Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL).

$$OF = R e^{-(rc-h)/r} \quad (1)$$

Onde: a variável  $OF$  é o fluxo superficial,  $m^2/km^2/ano$ ;  $R$  é a precipitação anual,  $mm$ ;

$r_c \cdot h$  é a capacidade de armazenamento de água no solo,  $mm$ ; " $e$ " é a evapotranspiração,  $mm$ ;  $r$  é a precipitação média por evento,  $mm$ .

$$SY = 170 (OF)^2 \text{ tang} B \quad (2)$$

Onde:  $SY$  é a produção de sedimento,  $m^3/km^2/ano$ ;  $B$  é o ângulo de declividade média.

A Estação Climatológica Principal de Maringá, se constitui na única estação climatológica do município de Maringá e de sua região metropolitana, está localizada na porção urbanizada da bacia hidrográfica, na porção Sudeste da bacia. Usando-se os dados climáticos dessa estação foram calculadas a precipitação anual e a precipitação média por evento para o ano de 2006. Com a série de dados de precipitação e temperatura, desse mesmo ano, calculou-se a evapotranspiração utilizando a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) em planilha do software Excel.

Tendo-se como base o mapeamento dos sistemas pedológicos da bacia hidrográfica de SALA (2006), foram coletadas amostras indeformadas de cada classe de solo. Estas foram posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Agronomia da UEM, onde se mediu a capacidade de armazenamento de água de cada classe de solo amostrada.

As curvas de nível da bacia foram digitalizadas utilizando-se como base a carta topográfica produzida pelo IBGE em 1972 com escala de 1:50.000. Em ambiente SPRING, a partir das curvas de nível, gerou-se uma grade triangular e, baseado nesta grade, gerou-se a carta de declividade. A distribuição dos declives da bacia hidrográfica foi analisada por intermédio da ferramenta Geoestatística, que considera os pontos presentes e informa a média de declive da área.

## Perda de solo

A Equação Universal de Perda de Solos – EUPS (*Universal Soil Loss Equation-USLE*), revista por Wischmeier e Smith (1965, 1978), (equação 3), foi desenvolvida para pequenas áreas de clima temperado, porém tornou-se um dos métodos mais difundidos para predição de perda de solo (Mata *et al.*, 2007). As variáveis necessárias para a aplicação dessa equação foram tratadas e integradas no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 4.3). O resultado desse tratamento foi aplicado na bacia com o uso da ferramenta LEGAL (Prado e Nóbrega, 2005).

$$A = R K L S C P \quad (3)$$

Onde:  $A$  é a perda de solo em  $t \text{ ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ;  $R$  é o fator energético da chuva em  $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ;  $K$  é o fator de erodibilidade do solo em  $t.h \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ;  $LS$  é o fator conjunto de comprimento de vertente e seu grau de declive (adimensional);  $C$  é o fator de uso e manejo do solo (adimensional);  $P$  é o fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Dentre as forças ativas que causam a erosão, destaca-se a chuva. O cálculo do fator  $R$  indica numericamente a influência da chuva em produzir erosão no solo em uma área sem proteção (Bertoni e Lombardi Neto, 2005). As características responsáveis pela erosividade da chuva são sua energia cinética e sua intensidade máxima em 30 minutos; com isso é formulada a seguinte equação:

$$EI_{30} = Ec I_{30} \quad (4)$$

Onde:  $EI_{30}$  é o índice de erosão em  $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ;  $Ec$  é a energia cinética da chuva;  $I_{30}$  é a intensidade máxima em 30 minutos em  $mm/hora$ ;

O fator  $R$  é indicado pela somatória dos valores aferidos para  $EI_{30}$ . Tomaselli *et al.* (1999) adaptaram essa equação para a cidade de Presidente Prudente, assim este estudo utiliza sua fórmula, uma vez que essa cidade apresenta características próximas das de Maringá. Os resultados obtidos foram integrados na equação final da EUPS com uso da ferramenta LEGAL.

$$EI_{30} = 105,3 (r^2/P)^{0,752} \quad (5)$$

Onde:  $r^2$  é a média do total de precipitação em  $mm$ ;  $P$  é a média anual de precipitação em  $mm$ .

Os valores de erodibilidade (fator  $K$ ) seguiram a proposta de Nogami e Villibor (1979) e adaptada por Pejon (1992), denominada Absorção e Perda de Massa por Imerção, apresentada pela equação 6. Para cada classe de solo foi determinado um valor de erodibilidade.

$$E = 40 S/P \quad (6)$$

Onde:  $S$  e  $P$  são valores determinados pelos ensaios de absorção de água e perda de massa por imersão.

Se:  $E > 1$  = baixa erodibilidade;  $E < 1$  = alta erodibilidade

Para o fator  $K$  (erodibilidade) foram usados os valores determinados por Sala (2006) para os solos da bacia do ribeirão Maringá, exceto para o Neossolo Flúvico, cujo fator foi medido a partir do ensaio de erodibilidade em amostras indeformadas desse solo.

A topografia do terreno exerce forte influência na EUPS; está representada pelo declive ( $S$ ) e comprimento de rampa ( $L$ ). A representação desses dois fatores ( $LS$ ) geralmente é apresentada em conjunto, uma vez que expressam as condições do relevo onde é estudada a perda de solo. Esses fatores foram obtidos com a aplicação da equação (7) de Bertoni e Lombardi Neto (2005).

$$LS = 0,00984 L^{0,63} S^{1,18} \quad (7)$$

Onde:  $LS$  é o fator topográfico;  $L$  é o comprimento de rampa (m);  $S$  é a declividade (%)

O fator  $C$  trata do uso e manejo do solo. As perdas de solo estão relacionadas ao tipo e estágio de crescimento de sua cobertura e ao percentual de área coberta ou de solo exposto (Bertoni e Lombardi Neto, 2005). Para determinação desse fator um banco de dados com imagens obtidas pelo satélite CBERS 2 foi criado. Para integração desses dados adotou-se as aferições propostas no estudo de Donzeli *et al.* (1992) para os valores de uso do solo.

As práticas de manejo e de cultivo complementam a determinação da perda de solo. Os diferentes modos como estão dispostas as culturas no terreno implicam nos valores do fator  $P$ , que indicam os valores para as práticas conservacionistas. Os dados utilizados neste estudo seguiram a determinação de Bertoni e Lombardi Neto (2005), adotando o valor de 0.5 para as práticas de cultivo na bacia e de 0.2 nas áreas de vegetação natural. Os resultados obtidos foram associados com a classificação do uso do solo com o uso da ferramenta LEGAL.

Com o resultado da EUPS calculada para o ano de 2006, optou-se também por fornecer registros dos períodos do calendário agrícola da bacia hidrográfica. Desse modo este estudo produziu três diferentes cartas: a carta de perda de solo no período anual, a carta de perda de solo no período de solo exposto e a carta de perda de solo no período de solo coberto. A carta que pontua anualmente a perda de solos é baseada em registros do fator  $R$  de dados anuais e com ponderação do fator  $C$  (média ponderada entre os meses em que a bacia está ocupada pelas culturas temporárias ou com o solo exposto).

## Medidas diretas de carga em suspensão

Uma das formas diretas de medida de produção de sedimentos é a análise da concentração de sólidos suspensos ( $C_s$ ) exportados pela bacia hidrográfica. Os dados de descarga sólida e líquida, levantados por Biazin (2003), Biazin *et al.* (2004) e Coelho (2007), sempre foram coletados nos mesmos pontos da bacia, em um total de cinco pontos, com frequência mensal, usando-se sempre a mesma metodologia de coleta e de análise do material coletado.

Foi instalado na foz do córrego Mandacaru, principal tributário do ribeirão Maringá, uma armadilha para coleta de sedimentos em suspensão. Essa armadilha se consiste em uma régua de madeira, graduada centimetricamente, com 4 metros de altura, onde a cada 40 cm foi afixada uma garrafa coletora de sedimentos (Figura 4). A morfologia da seção transversal ao córrego Mandacaru, no lugar onde foi afixada a armadilha, foi levantada com o auxílio de um nível a laser. A carga suspensa foi determinada por intermédio de filtragem da água coletada com auxílio de uma bomba a vácuo. Após a secagem dos filtros e pesagem dos sedimentos retidos, calcula-se a concentração da carga suspensa em  $mg.L^{-1}$ . A velocidade da corrente em cada nível de água, foi medida com o molinete fluviométrico. Esses levantamentos permitiram que se calculasse a vazão para cada nível de fluxo e a partir disso, a determinação curva chave de vazão para esta seção. Esse procedimento permitiu que se conheça a variação da ( $C_s$ ) durante a ascensão do nível da água em um evento de cheia. Para os outros pontos de coleta na bacia também foram levantadas as seções transversais ao canal, no momento da coleta de água é calculada a vazão do canal.



Figura 4 - Instalação da armadilha para coleta de sedimentos no ribeirão Mandacaru em uma seção tansversal fixa do rio.

## Resultados e Discussões

### Aplicação do modelo de Kirkby

A determinação dos valores de capacidade de armazenamento de água no solo foi efetuada para cada classe pedológica, Tabela 2.

Tabela 2 - Capacidade de armazenamento da água no solo

Solos	Capacidade de Armazenamento de Água (m/m <sup>3</sup> )
Neossolo Fluvico	0,535699
Gleissolo	0,500228
Nitossolo	0,491747
Latossolo	0,458590
Cambissolo	0,429432
Latossolo textura média	0,230390

Sala (2006) demonstrou que os solos mais próximos aos canais fluviais obtiveram um maior valor da capacidade de armazenamento, Apesar da pouca amplitude dos valores, destaca-se apenas o Latossolo de textura média, com um valor bem abaixo dos demais em razão de sua menor porosidade, quando comparado com os outros solos da bacia.

A carta de estimativa da produção de sedimentos (Figura 5) levou em consideração apenas as áreas agricultáveis da bacia e os fragmentos de vegetação, cerca de 70km<sup>2</sup> (77%) da área total da bacia hidrográfica. A área urbana não foi considerada neste trabalho em razão da impermeabilização do solo e principalmente pela não aplicabilidade da metodologia de análise, como também verificado em Prado e Nobrega (2005). Os valores de produção de sedimento apresentaram pequena amplitude em razão da semelhança textural e da capacidade de armazenamento dos solos da bacia. Em virtude disso, foram agrupados em três classes, possibilitando uma melhor representação cartográfica dos resultados.

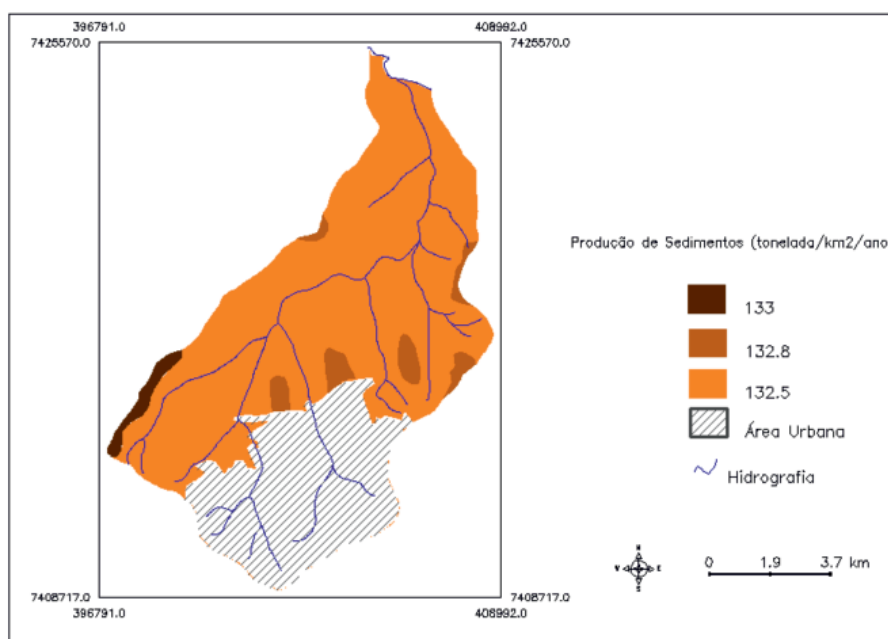


Figura 5 - Produção de sedimento segundo a metodologia de Kirkby (1976)

A primeira classe, que representa uma estimativa até 132,5ton /km<sup>2</sup>/ano, agrupa as seguintes classes de solos: Nitossolo, Gleissolo e Neossolo fluvico. Esses solos demonstraram maior capacidade de armazenamento de água; isso se refletiu no menor volume do fluxo superficial responsável pelo transporte do solo.

Os Latossolos de textura argilosa presentes nos topos das vertentes apresentaram semelhança ao Cambissolo, apesar de este ser um solo pouco desenvolvido. Sala (2006) ressalta que eles aparecem com características morfológicas similares aos Latossolos. Essa afirmação

também se comprova pelos resultados de armazenamento de água no solo, que influenciam a produção de sedimento.

A classe que abriga uma maior produção de sedimentos, de até 133ton./km<sup>2</sup>/ano, é localizada justamente onde a Formação Caiuá origina Latossolos de textura média (porção sudoeste da bacia). Esses solos são comumente citados na literatura como sendo representativos de processos erosivos devido a constituição friável dos agregados. Os resultados obtidos refletem a realidade da bacia hidrográfica e indicam a eficácia do método. A pequena amplitude entre os valores

deve-se a homogeneidade da distribuição dados de precipitação na bacia, já que para o método de Kirkby (1976) a variável fluxo superficial é diretamente proporcional a precipitação.

### Aplicação da EUPS

O período de solo cultivado, obtido pela interpretação de imagens orbitais, abrange os meses de dezembro, janeiro, maio, junho, julho e agosto. O período de solo exposto compreende os meses de fevereiro, março, abril, setembro, outubro e novembro.

As culturas presentes na bacia hidrográfica, em razão

da suave topografia e do sistema fundiário, são obtidas com o uso de maquinários e de tecnologias de terraceamento e de curvas de nível. Os cultivos de soja, milho e trigo representam mais de 70% da ocupação da bacia hidrográfica.

A perda de solo anual (Figura 6) demonstra uma ampla variação de resultados, com classes que vão desde 0 a >20 toneladas/hectare/ano. A classe com perdas de 10-20 ton/ha/ano é responsável pela maior área da bacia (36%) e está relacionada à média vertente. A segunda classe com maior erosão laminar na bacia deve-se às áreas com razoáveis perdas de 0-1 ton/ha/ano. Contudo, a bacia apresenta mais de 60 % de sua área com perdas superiores a 5 toneladas/hectare/ano.

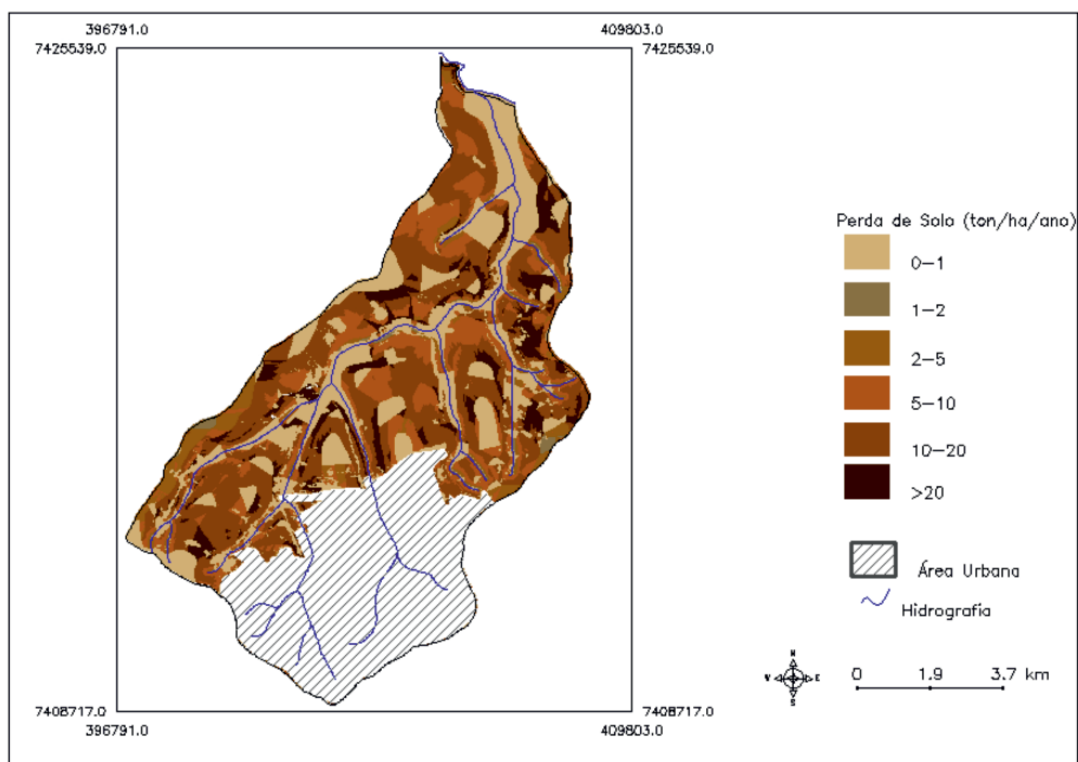


Figura 6 - Estimativa de erosão laminar para o ano de 2006, segundo a EUPS

A perda de solo, estimada com a EUPS, para o período em que o solo está coberto com o desenvolvimento de culturas está apresentada na Figura 7. Para essa estimativa, os dados do fator R foram determinados em função dos meses em que o solo está coberto com cultivo. Nesse período, a distribuição da erosão laminar é apresentada de forma mais branda, com baixos índices de perda de solo. Isso porque a proteção do solo com os cultivos exerce importante papel, diminuindo a energia das gotas de chuva que salpicam o solo, proporcionando a desagregação de partículas. No período de desenvolvimento das culturas as perdas de solo foram pequenas,

sendo que, 94% da área apresenta valores entre 0-2 toneladas/hectare/ano.

Nos meses em que o solo está exposto os valores de precipitação são 6% maiores que no período de solo coberto (Figura 8). A pluviosidade desse período contribui em conjunto com o fator C para o solo exposto, isso explica a maior perda de solo nesse cenário, como já verificado por Prado e Nóbrega (2005).

Quando comparadas as Figuras 7 e 8, nota-se que ambas as cartas apresentam correlação espacial de áreas mais propícias às perdas de solo. Próximo ao baixo curso do ribeirão Maringá, onde se desenvolvem solos hidromórficos,



as perdas de solos em ambos os períodos atingem baixo valor, provavelmente devido à pequena declividade e aos baixos valores de erodibilidade encontrados para esses solos. Na porção sudoeste da bacia, onde ocorre os Latossolos de textura média, com maior potencial de erodibilidade, o processo de erosão laminar não é tão expressivo, devido às características

topográficas dessa região. Nessa área as perdas de solo estão concentradas em até 5 ton/ha/ano, no período de solo exposto. No período de solo coberto não chegam a atingir 0,5 ton/ha/ano. Entretanto, nos arredores dessa classe de solo, são registrados altos índices de perdas, que são relacionados à declividade presente na média vertente.

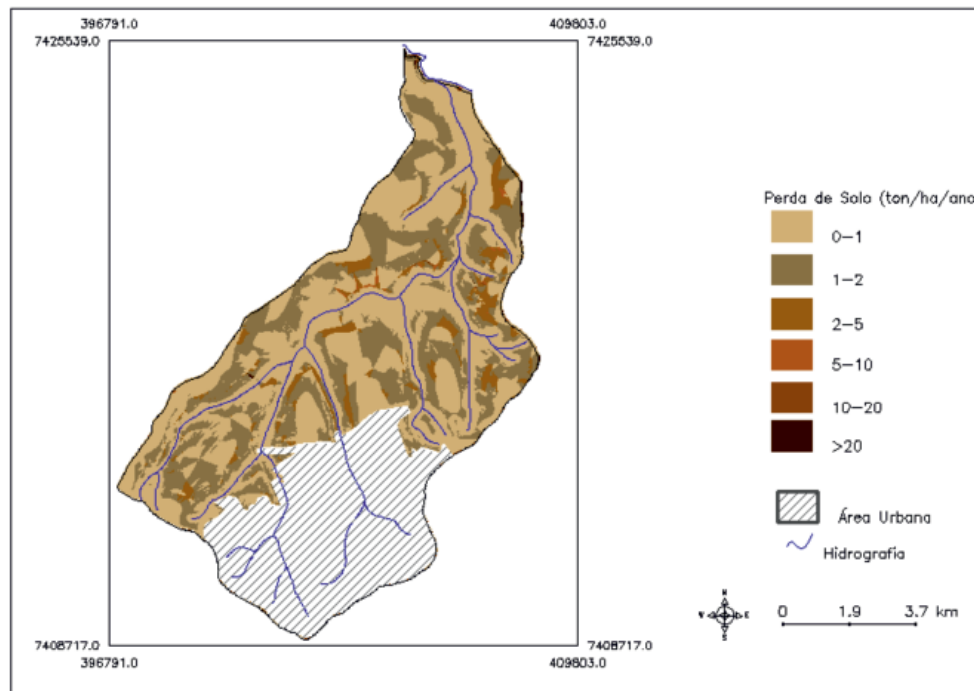


Figura 7 - Estimativa de erosão laminar para o período de solo coberto na área de estudo segundo a EUPS

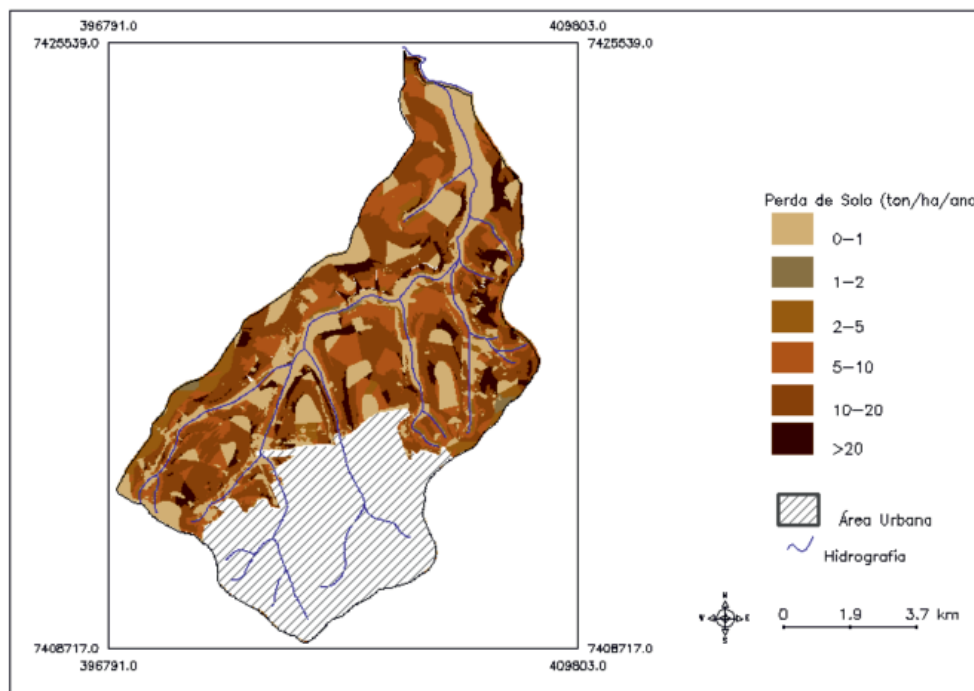


Figura 8 - Estimativa de erosão laminar para o período de solo exposto na área de estudo segundo a EUPS

O cenário de solo exposto concentra classes que apresentam expressivas perdas de solo. Além da ausência das culturas (o que proporciona um valor mais alto do fator C), nesse período o índice de erosividade é superior, concentrando parte das precipitações sobre o solo desprotegido. Convém salientar que a equação utilizada para esse resultado não prevê um índice para áreas que adotam o sistema de plantio direto. Essa prática diminui o efeito *splash* provocado pela precipitação, sendo muito difundida na bacia, podendo ser observada nos trabalhos realizados no campo.

A distribuição da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do ribeirão Maringá obtida por intermédio do modelo proposto por Kirkby (1976) demonstrou pequena variabilidade, resultando um desvio padrão de apenas 1,88. Os dados coletados junto à ECPM são os únicos para toda a área da bacia; dessa forma a área estudada contou com dados homogêneos de pluviosidade, exceto para a capacidade de armazenamento de água no solo. Alia-se a isso o fato de que os solos da bacia desenvolvidos sobre os basaltos tem textura semelhantes, com exceção do Latossolo de textura média. A homogeneidade dos dados de precipitação e as características similares dos solos explicam a baixa variabilidade dos resultados.

A análise da bacia do ribeirão Maringá demonstra que no cenário anual no período de solo exposto, o fator C (uso e ocupação do solo) exerce papel importante na erosão laminar. Tanto para o cenário anual como para o cenário de solo exposto a bacia hidrográfica apresenta aproximadamente mais de 40% de sua área com perdas maiores que o tolerável.

Ambas as metodologias usadas não consideram a erosão fluvial (margens e canal fluvial). No canal fluvial uma sensível parcela do material hidrotransportado por suspensão advem da erosão marginal, como mostram os trabalhos de Coelho (2007).

No ribeirão Maringá o valor médio de concentração da carga suspensa, medido na vazão basal do canal, para o período analisado (2001 - 2007), é de  $0,04\text{g.L}^{-1}$ , o que equivale a uma produção média de sedimento de  $38,2\text{ton/km}^2/\text{ano}$ . Na vazão basal o rio é alimentado exclusivamente pelo lençol freático, sendo a contribuição da carga suspensa transportada pelo canal e oriunda das vertentes praticamente nula. Toda esta carga produzida na bacia nos momentos de ausência de pluviosidade é desprezada pelos modelos adotados.

Acrescenta-se que em razão da dinâmica da circulação hídrica da bacia, nos eventos de cheia o canal pode transportar uma concentração de sedimentos de até  $193,4\text{g.L}^{-1}$ , como verificado na armadilha para coleta de sedimentos instalada no córrego Mandacarú (Coelho, 2007). Ou seja, nos momentos de cheia o canal fluvial transporta cerca de 4800 vezes mais sedimentos do que na vazão basal. Essa carga provem tanto da erosão das vertentes quanto do canal fluvial, indicando a enorme importância do fator pluviosidade, considerado em

ambas as modelagens. Os estudos de Biazin (2003), Biazin *et al.* (2004) e de Coelho (2007) demonstram que a contribuição dos sedimentos produzidos exclusivamente pelo canal fluvial, durante e logo após os eventos de cheia é muito maior do que nas vazões basais, portando nestes momentos um grande volume de material produzido pelo canal fluvial é desprezado pela modelagem analisada, neste trabalho.

## Considerações Finais

O modelo de Kirkby apresentou perdas homogêneas de solo em todas as áreas da bacia estudada. Percebeu-se que para bacias hidrográficas de pequena ordem o modelo proposto por Kirkby (1976) precisa de dados pluviométricos melhor distribuídos na bacia. Isso pode ser conseguido por intermédio da instalação de pluviômetros em vários pontos da mesma. Essa rede de postos pluviométricos proporcionaria melhor caracterização da influência dos parâmetros climáticos, pois estes são enfatizados nesse modelo. Aparentemente esse modelo é melhor aplicado para grandes bacias hidrográficas, onde pode se constituir em importante instrumento para a indicação de áreas mais vulneráveis a erosão. O modelo de Kirkby (1976) leva em consideração a capacidade de armazenamento de água no solo, o que influencia no escoamento superficial e em seu poder erosivo. Em contrapartida, a EUPS, considera as práticas conservacionistas e o uso do solo, além das relações morfométricas da vertente como o comprimento de rampa e a declividade. Esses fatores, aliados, mudam radicalmente os valores das perdas sazonais de solos. Para a bacia analisada isso se dá especialmente nos meses fevereiro, março e setembro, quando a precipitação, aliada à exposição do solo contribui significativamente para a aceleração dos processos erosivos da área.

Como os resultados a partir de modelos empíricos são estimativas do ambiente natural, recomenda-se fortemente que os estudos sejam acompanhados de medidas de campo da carga exportada pela bacia, para assim possibilitar a confrontação e aferição do modelo matemático escolhido.

## Referências Bibliográficas

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. Ícone Editora. 2005. 355p.
- BIAZIN, P. C. **Concentração de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do ribeirão Maringá, como um indicador ambiental**. 2003. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Curso de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2003.
- BIAZIN, P. C. ; SANTOS, M. L. ; GASPARETTO, N. V. L. Variabilidade na concentração da Carga suspensa no ribeirão Maringá, Maringá-PR, em decorrência da atividade antrópica. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS

- AMBIENTAIS E SAÚDE, 4.,2004, Santos. **Anais...** Santos. 2004. CD-Rom.
- COELHO, A. D. **Dinâmica e qualidade da água da bacia de drenagem do ribeirão Maringá: Contribuição para o planejamento e gestão ambiental.** 2007. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007
- Donzeli, P. L.; Valério Filho; Pinto, S. A. F.; Nogueira, F. P.; Rotta, C. L.; Lombardi Neto, F. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico, básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas.** IAC, Campinas. Boletim 29. 1992.
- LELI, I. T. (2010) **Varição espacial e temporal da carga suspensa do rio Ivaí.** 2010. 66f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.
- LOHMANN, M.; SANTOS, L. J. C. A morfologia aplicada à compreensão dos processos erosivos na bacia hidrográfica do aroio Guassuoi, São Pedro do Sul – RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n.2, p. 91-102, 2005.
- FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.
- JANSEN, J. M. L.; PAINTER, R. B. Predicting sediment yield from climate and topography. **Jornal of Hydrology**, v. 21, 4, p. 371-380,1974.
- KNIGHTON, D. **Fluvial forms and process.** London: Edward Arnold, 1998. 218 p.
- KIRKBY, M. J. Hydrological slope models: the influence of climate. In: Derbyshire, E. (Ed.). **Geomorphology and Climate.** New York: John Wiley & Sons, 1976. p. 47-26
- KIRKBY, M. J. Modeling water erosion processes. In: KIRKBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. (Eds.). **Soil erosion.** New York, John Wiley & Sons, 1980. p. 182-213.
- MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 735-741, 2003.
- MARTONI, A. M. Modelagem matemática em bacias hidrográficas. 1997. 109f. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes aquáticos Continentais) Universidade Estadual Maringá, Maringá, 1997.
- MATA, C. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Avaliação multitemporal da susceptibilidade erosiva da bacia do rio Urucaia (MG) por meio da equação universal de perda de solos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, p. 57-71, 2007.
- MITCHEL, J. K.; BUBENZER, G. D. Soil loss estimation. In: KIRKBY, M. J.; MORGAN, R. P. C. (Eds.). **Soil erosion.** New York: John Wiley & Sons, 1908, p. 17-55.
- MUSETTI, R. A. Bacias hidrográficas no Brasil: aspectos jurídicos-ambientais. **Revista CEJ**, v.12, p. 90-94, 2005.
- Nogami, J. S. e Villibor, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos.** São Paulo: Ed. Villibor, 1979.
- PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba- SP (escala 1:10.000): estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos.** 1992. Tese (Doutorado em Geotecnia). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.
- PRADO, J. P. B.; NÓBREGA, M.T. Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). **Acta Science Technology**, v. 27, n. 1, p. 33-42, 2005.
- RESTREPO, J. D.; LOPEZ, S. A.; RESTREPO, J. C. The effects of geomorphic controls on sediment yield in the Andean Rivers of Colombia. **Latin American Journal of sediment ology and basin analysis**, v. 16, n. 2, p. 79-92, 2009.
- SANTOS, A. M.; ALVES, C. F. C.; GAMA, G. R.; FERRACINI, M. M.; PERRELLA, M. C.; CARVALHO, N.O.; CELER, A. Densidade de drenagem da bacia incremental do reservatório de Porto Primavera (SP/MS): perspectiva de indicador de produção de sedimentos das bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n.1, p. 33-44, 2005.
- SANTOS, C. A., SOBREIRA, F. G. Análise da Fragilidade e vulnerabilidade natural dos terrenos aos processos erosivos como base para o ordenamento territorial: o caso das bacias do córrego Carioca, Córrego Bação e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 65-73, 2008.
- SALA, M. G. Indicadores de fragilidade ambiental na bacia do ribeirão Maringá-PR. 2006. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.
- SALGADO, A. A. R. ; VALADÃO, R. C. Contribuição da denudação geoquímica na evolução da erosão diferencial no espinhaço meridional. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n. 1, p. 31-40, 2003.
- SALGADO, A. A. R. ; VAJÃO, C. A. C ; COLIN, F.; BRAUCHER, R.; VARJÃO, A. F. D. C.; JUNIOR; H. A. N.; CHEREM, L. F. S.; MARENT, B. R, BRINDUSA, C. B. Estimativa das taxas de erosão das Terras Altas da Alta Bacia do rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero: Implicações do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, 2007.
- THORNTWAITE, C. W; MATHER, J. R. The water balance climatology. **Centerion**, v. 8, n. 1, p. 1-86. 1995.
- TOMASELLI, J. T. G.; FREIRE, O.; CARVALHO, W. A. Erosividade da chuva da região oeste do estado de São Paulo.

**Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n. 2, p. 269-276, 1999.

WILLIAMS, J. R. The erosion-productivity impact calculator (EPIC) model – A case-history. **Philosophical Transactions of the Royal society of London**, Biological Sciences, v. 329, n. 1255, p. 421 – 428, 1990.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall, erosion losses: a guide planning**. Washington, Washington, DC: Agriculture Handbook No. 537, 1978. 58p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland East of rocky mountains**. Washington, DC: Agricultural Handbook No. 282, 1965. 282p.