

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

SIMULAÇÃO D PRODUÇÃO DE SEDIMENTO PARA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ ATRAVÉS DO MODELO SEDNET

Vera Núbia Carvalho de Farias¹ & Rosângela Sampaio Reis²

Resumo – Este trabalho utiliza o modelo Sediment River Network (SedNet) na bacia hidrográfica do Rio Mundaú para simular a produção de sedimentos em dois diferentes cenários de uso e cobertura do solo (uso atual do solo e floresta). Para as simulações, o modelo usa um banco de dados espacializado da bacia, constituído de informações geográficas, pedológicas, hidrológicas e climáticas. O trabalho consiste em três etapas: (1) Aquisição dos dados hidrológicos; (2) Determinação e mapeamento dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo e (3) Simulação da produção de sedimentos. Uma vez que os dados de entrada são devidamente preparados, os mesmos são manipulados na interface do modelo, onde é inserido o Modelo de Elevação Digital, mapa de uso e ocupação do solo, mapa pedológico, mapas climáticos e dados de vazão. Em seguida, são realizadas simulações da produção de sedimentos para os diferentes cenários. Os resultados obtidos evidenciaram uma redução bastante significativa da produção de sedimentos no cenário que representa a bacia sem ações antrópicas quando comparado com o cenário de uso e cobertura atual do solo da bacia. Já os resultados da análise de sensibilidade mostraram que a carga total de sedimentos em suspensão simulada pelo modelo é sensível à variação do parâmetro HSDR e pouco sensível à variação de RC.

Abstract – This work used the SedNet model (Sediment River Network) in river Mundaú catchment for sediment yield simulation under two different use and soil cover scenarios (forest and soil current use). For the simulation, the model employs a special watershed database, consists of geographical, pedological, hydrological and climate information. The work consists in three steps: (1) Acquisition of hydrological data; (2) Determination and mapping of the factors of Universal Soil Loss Equation and (3) Simulation of sediment yield. Since the input data have been correctly prepared, they were manipulated in the model interface, into which the Digital Elevation Model (DEM), soil use and occupation map, pedological map, climatic map and stream flow of data. After that, was simulation carried of sediments suspended yield for different scenarios. The results obtained showed a reduction quite significant sediment yield in the representing scenario the catchment without anthropic actions when compared to the usage scenario and current coverage of the soil of catchment. Since the results the sensitivity analysis showed that the suspended sediment load simulated by the model was sensitive to parameter variations HSDR and a few sensitive to variations of RC.

Palavras-Chave – Produção de sedimentos, SedNet.

INTRODUÇÃO

Os processos erosivos ao longo de uma bacia hidrográfica são fenômenos naturais que ocorrem de forma lenta e contínua. Entretanto, seus efeitos são potencializados com a ação do

¹ Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento, PPGRHS/UFAL, (82) 3641-2599, veranubia@gmail.com

² Professora da Unidade Acadêmica de Engenharia CTEC/UFAL/CCT, (82)3214-1273, Rosangelareis_al@hotmail.com

homem, originando a erosão acelerada. Esse tipo de erosão, devido à rapidez com que ocorre, é conceituada como um fenômeno de grande importância, pois, causa quase sempre uma série de problemas ambientais relacionados a perda de solo utilizados para atividades agrícolas, assoreamento e contaminação dos cursos d'água, lagos e represas.

Os problemas ambientais ocorrentes em bacias hidrográficas são, na sua maioria, resultantes da falta de planejamento tais como retirada da cobertura vegetal, manejo inadequado do solo e urbanização próximo aos rios. Essas ações têm provocado o desenvolvimento de processos erosivos acelerados, sendo um dos principais fatores causadores da degradação ambiental e deterioração da qualidade dos recursos hídricos.

A realização de estudos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas surgiu a partir da necessidade de se compreender o funcionamento dos processos que controlam a produção, transporte e deposição de sedimentos e, os impactos de mudanças do uso do solo sobre a quantidade desse material. Além disso, o dimensionamento da produção de sedimentos é de grande relevância, trazendo significativas contribuições para o planejamento e gestão de recursos hídricos.

Estimar a produção de sedimentos em bacias hidrográficas é geralmente dispendioso em função das diversas ações antrópicas, da falta de monitoramento de vazões líquidas e sólidas, bem como a complexibilidade dos demais fatores envolvidos no processo (PRADO, 2005). O desenvolvimento e aplicação de modelos matemáticos têm permitido quantificar os efeitos dos fenômenos ambientais, podendo assim, obter uma estimativa da magnitude do problema. Garcia (2008) afirma que esses modelos podem ser utilizados como ferramentas para auxiliar a tomada de decisões, uma vez que tornam possíveis as análises de viabilidade de soluções, prevendo o comportamento de alterações ambientais e definindo as soluções que serão mais eficientes.

Dentre os inúmeros modelos utilizados para o planejamento de bacias, o SedNet vem sendo bastante empregado, principalmente, na região Australiana onde tem sido considerado uma nova e promissora ferramenta na quantificação de produção de sedimentos em bacias hidrográficas.

Nesse contexto, o presente trabalho utiliza o referido modelo para simular a produção de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Rio Mundaú em função de diferentes cenários de uso e cobertura do solo.

A escolha desta bacia se deve à grande representatividade socioeconômica que a bacia exerce sobre a população. Nessa perspectiva, é importante a realização de estudos que futuramente possam servir de subsídios para o planejamento e desenvolvimento da região através da gestão dos recursos hídricos, visto que esse rio é a principal fonte de abastecimento de água para as cidades que nela estão inseridas, além disso, praticamente em todas as cidades dos estados os quais ela faz parte a utiliza como fonte de alimentação, renda e lazer.

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Modelo SedNet

O modelo SedNet consiste em um pacote de softwares desenvolvido pela CSIRO (*Commonwealth Scientific and Research Organization*) com o objetivo de identificar padrões de erosão, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas através da construção de cenários. Esse modelo permite que diferentes processos físicos sejam simulados na bacia hidrográfica, tais como produção de sedimentos e qualidade da água, com o objetivo de analisar os impactos causados pelas alterações no uso do solo. Para satisfazer a estes objetivos o modelo baseia-se nas características físicas da bacia; utiliza informações prontamente disponíveis, ou seja, as funções mais básicas do modelo podem ser simuladas com um conjunto mínimo de dados que, em geral, estão disponíveis nas agências governamentais; é computacionalmente eficiente para operar em médias e grandes bacias; e é contínuo no tempo, sendo capaz de simular longos períodos.

O modelo é distribuído, e a bacia hidrográfica pode ser subdividida em sub-bacias, de modo a refletir de forma mais detalhada as diferenças de tipo de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo. Além de ser bastante eficaz, pois permite ao usuário trabalhar com grandes bacias para uma série de situações de uso e manejo do solo, de forma rápida e eficiente.

Os dados de entrada do modelo referem-se a informações específicas sobre clima, propriedade do solo, topografia vegetação entre outros. Através desses dados o SedNet modela o ciclo completo de nutrientes como nitrogênio e fósforo, bem como a produção, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas.

Os dados de entrada do modelo precisam ser preparados com o máximo de cuidado para que as respostas possam ser confiáveis. As séries históricas utilizadas no SedNet devem ter no mínimo dez anos. Os dados de entrada que o modelo requer são:

- modelo de elevação digital da bacia hidrográfica;
- mapas espaciais da EUPS;
- mapa de mata ciliar;
- mapa espacial de evapotranspiração e precipitação; e
- série de vazão.

Com relação às saídas do modelo, essas incluem mapas que podem ser usados para identificar e avaliar quais são as sub-bacias que dominam o fornecimento de sedimentos, como funciona o transporte e onde os sedimentos são armazenados em uma bacia hidrográfica. Segundo (fentie2005), com uma cuidadosa preparação dos dados de entrada, os resultados têm um forte potencial para

orientar uma investigação mais aprofundada, identificando as áreas que precisam de melhorias e assim, direcionar a definição de metas para a recuperação de áreas em uma bacia hidrográfica.

Equação Universal de Perda de Solos - EUPS

Esta equação foi desenvolvida por Wischmeier & Smith em 1978 e é um dos modelos empíricos mais utilizados no mundo para quantificar as perdas do solo pela erosão hídrica (HILU, 2003). A EUPS é uma equação destinada a calcular a perda média de solo, em períodos longos, provenientes de erosão laminar e por sulcos. Não prevê deposição e não computa produção de sedimento por ravina e erosão das margens e fundo do canal. O maior propósito desta equação é servir como um guia sistemático no planejamento da conservação do solo (BORGES, 2009).

Atualmente essa equação vem obtendo grande aceitação entre os pesquisadores brasileiros e do mundo como um valioso recurso para o planejamento de controle da erosão do solo e sua aplicação já ultrapassou as fronteiras do continente americano, sendo adotada em vários países (CHUQUIPIONDO, 2007). É constituída de múltiplos fatores, que são:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

Onde:

A = perda de solo [t/(ha.ano)];

R = fator de erosividade da chuva [MJ.mm/(ha.h)];

K = fator de erodibilidade do solo [t.h/(Mj.mm)];

LS = fator conjunto de comprimento e grau de declividade de rampa;

C = fator de uso e manejo do solo;

P = fator de práticas conservacionistas.

Erosividade da chuva (Fator R)

O fator R é um índice numérico que expressa à capacidade de um evento de chuva provocar erosão em uma área sem proteção (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993). Dentre os métodos existentes para determinar a erosividade da chuva destaca-se o índice EI_{mensal} baseado em valores de precipitação média mensal (mm) e de precipitação média anual (mm). Silva (2003) fez a correlação entre o índice de erosividade EI_{mensal} no período de 1962 a 1981 para Fortaleza (CE) a partir da equação:

$$EI_{\text{mensal}} = 73,989 \left(\frac{r^2}{p}\right)^{0,7387} \quad (2)$$

Onde:

EI_{mensal} = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h);

r = média do total mensal de precipitação, em mm; e

p = média do total anual de precipitação, em mm,

A erosividade anual (R) é obtido através da soma dos valores de erosividade mensal (EI_{mensal}).

Erodibilidade do solo (Fator K)

O fator K de acordo com Wischmeier & Smith (1978) a erodibilidade pode ser entendida como a susceptibilidade que os solos possuem de serem erodidos. Embora a intensidade de perda do solo de uma área pode ser influenciada mais pelas características das chuvas e condições do terreno (declividade, cobertura vegetal e manejo).

Dentre as várias metodologias existentes para determinação do fator K, neste trabalho, a erodibilidade para cada classe de solo encontrado na bacia foi calculada empregando a equação proposta por Denardin (1990) para solos do Brasil, conforme a equação:

$$K = \frac{0.137}{100} [2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)] \quad (3)$$

Onde:

K = fator de erodibilidade do solo, t.ha.h/ha.MJ.mm;

M = % de silte + % de areia muito fina (100 - % argila);

MO = conteúdo de matéria orgânica do solo em %;

S = Estrutura do solo (muito pequena granular = 1; pequena granular = 2; média a grande granular = 3; e blocos, laminar ou maciça = 4).

P = Permeabilidade do solo (rápida = 1; moderada a rápida = 2; moderada = 3; lenta a moderada = 4; e lenta = 5).

Existem tabelas que apresentam o valor de K para diversos agrupamentos de solos de uma determinada região. Os valores de K expressos em (t.ha.h/ha.MJ.mm) variam de fraco a elevado, segundo a seguinte escala (CARVALHO, 1994):

K < 0,15 – erodibilidade fraca;

0,15 < K < 0,30 – erodibilidade média; e

K > 0,30 – erodibilidade elevada.

Fator Topográfico (LS)

Os fatores L e S são apresentados em conjunto, comumente conhecido na literatura técnica como Fator topográfico. O comprimento da encosta (L) representa a relação de perdas entre um declive de comprimento qualquer e um declive de 22 m de comprimento do mesmo solo, mesmas

características de chuva, mesmo grau de inclinação e sob mesmas condições de manejo. Já o grau do declive (S) é a relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9%, para as mesmas condições (SOUZA, 2006).

Desmet & Govers citado por oliveira (2010), desenvolveram um *software* para o cálculo automatizado do fator LS a Usle2D, esse pacote é compatível com sistemas de informações geográficas e permite a determinação do fator LS de forma rápida e com relativa precisão para a área desejada. Este modelo permite calcular o fator topográfico LS por meio das equações (4 e 5) desenvolvidas por Desmet & Govers e Wischemeier & Smith (1978) respectivamente:

$$L_{ij} = \frac{[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} \cdot X_{ij}^m \cdot (22,13)^{m+1}]} \quad (4)$$

Onde:

$A_{i,j-in}$ = área de contribuição da célula com coordenadas (i,j) (m²);

D = tamanho da célula (m), isto é, tamanho do pixel (que no nosso caso é de 90 m);

X = coeficiente função da direção de fluxo (aspecto) para grade de células com coordenadas (i,j), obtido pela Equação: $X = \text{sen}\alpha/\text{cos}\alpha$, onde α é a direção de fluxo da vertente.

M = coeficiente função da declividade para grade de células com coordenadas (i,j), onde coeficiente “m” é obtido a partir das classes de declividade (m = 0,5 se a declividade for > 5%; m = 0,4 para o intervalo de 3% a 5%; m = 0,3 para o intervalo de 1% a 3%; e m = 0,1 se a declividade for < 1%).

(5)

$$S = 0,00654s^2 + 0,0456s + 0,065$$

Onde:

S = fator de declividade (adimensional); e

s = declividade média da vertente (%).

Uso e manejo do solo e Práticas conservacionistas (Fator CP)

O fator uso e manejo do solo (C) é um valor adimensional, obtido de forma empírica. Esse fator é a relação entre a perda de solo de um terreno cultivado em dadas condições e a perda correspondente de um terreno mantido continuamente descoberto (WISHMEIER & SMITH, 1978).

O fator de práticas conservacionistas (P) representa a relação entre a de perda de solo esperada com determinada prática conservacionista é a obtida quando a cultura é plantada morro abaixo (SOUZA, 2006).

De acordo com Borges (2009) se o objetivo é espacializar fenômenos por meio do geoprocessamento, a obtenção dos dados de C e P podem ser analisados de forma integrada em função do uso e cobertura do solo. Neste caso, adota-se o fator $P=1$, como sendo uma constante, por representar a pior situação de perdas de solo em função de práticas conservacionistas.

ÁREA DE ESTUDO

A área selecionada para este estudo é a bacia hidrográfica do Rio Mundaú que possui localização nos estados de Pernambuco e Alagoas (Figura 1). A bacia possui coordenadas geográficas latitude 09° S e longitude 35° W e apresenta uma área total de 4.126 km^2 distribuída em 30 municípios dos Estados de Pernambuco e Alagoas. O seu rio principal, o Mundaú, é perene e apresenta extensão de 141 km e vazão média de 30,6 m/s.

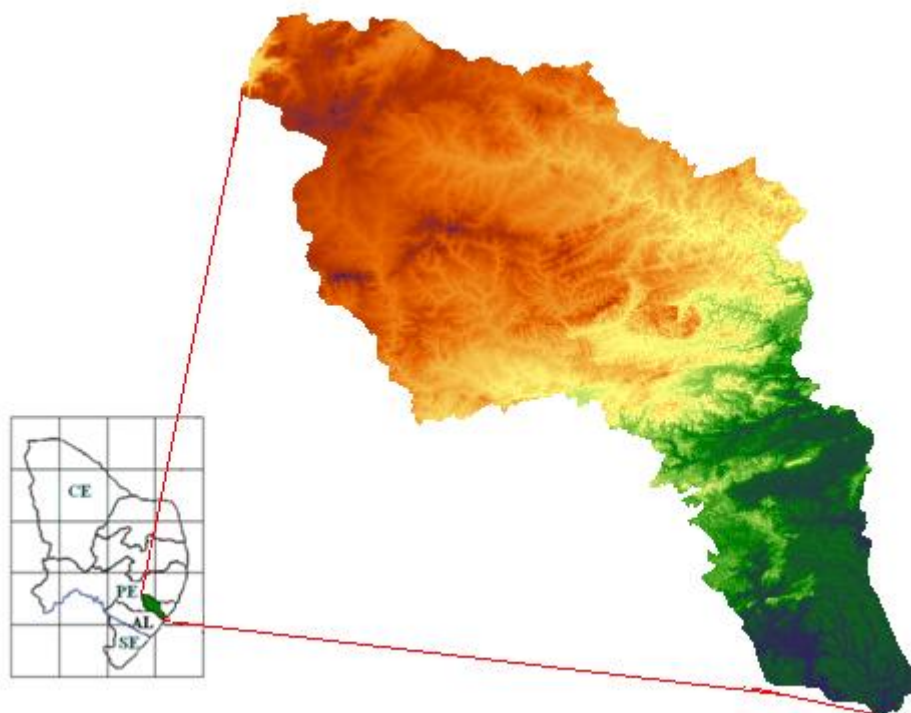


Figura 1 – Localização espacial da bacia hidrográfica do Rio Mundaú.

O trecho pernambucano da bacia, com uma área de 2.155 km^2 , está localizado na Mesorregião do Agreste do Estado e abrange os municípios de Garanhuns, Brejão, Lagoa do Ouro, Correntes, Caetés, Capoeiras, Jucati, Jupi, Calçado, Lagedo, Jurema, Canhotinho, Angelim, São João e Palmeirinha. A parte alagoana corresponde a uma área de 1.971 km^2 , está localizada na Mesorregião do Leste do Estado, sendo distribuída pelos municípios de São José da Laje, Santana do Mundaú,

Ibateguara, União dos Palmares, Capela, Branquinha, Murici, Messias, Atalaia, Pilar, Rio Largo, Satuba, Santa Luzia do Norte e Maceió.

O clima da região estudada é classificado, de acordo com o sistema de Koppen, como sendo do tipo As, isto é, pseudotropical, quente e chuvoso, com verão seco e temperaturas médias anuais acima de 18° C, a umidade relativa apresenta-se com médias mensais superiores a 75%, evaporação variando entre 3 a 5 mm/dia e precipitação anual média em torno de 800 mm (MEDEIROS, 2002).

A cobertura vegetal natural das terras da região é Vegetação Arbórea Fechada que tem formação vegetal a partir da Floresta Estacional Subcaducifólia, que com o decorrer do tempo foi quase totalmente erradicada, restando poucas áreas preservadas. Atualmente, a área da bacia está ocupada predominantemente por Vegetação Arbórea Alterada, pastagens e agricultura intensiva (principalmente, o cultivo de cana-de-açúcar).

De acordo com PDRH do Mundaú (1998), na bacia ocorrem às seguintes classes de solos:

Ade - SOLOS ALUVIAIS DISTRÓFICOS e EUTRÓFICOS + SOLOS GLEY INDISCRIMINADOS;

HGd - SOLOS GLEY DISTRÓFICOS INDISCRIMINADOS + SOLOS ORGÂNICOS DISTRÓFICOS;

Re – REGOSOL DISTRÓFICO;

PL – PLANOSOL SOLÓDICO;

PV – PODZÓLICO VERMELHO AMARELO;

PE – PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EUTÓFICO; e

LVd – LATOSOL VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho utilizam-se os seguintes materiais: Modelo Digital de Elevação (DEM) com resolução de 90 x 90 metros obtido pelo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*); Mapa de reconhecimento do solo da bacia hidrográfica obtido no PDRH-Mundaú, escala 1:100.000; Mapa da cobertura vegetal do Brasil elaborado pela EMBRAPA; Série histórica de pluviometria e vazão da bacia obtido no site Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA); Dados de evapotranspiração obtidos no site Agritempo/EMBRAPA; Ferramentas de Sistemas de Informação geográfica (IDRISI KILIMANJARO e AUTO CAD); Software SedNet – versão 2.0 e Planilhas eletrônicas.

Aquisição dos dados hidrológicos

Os dados climáticos, usados para entrada do modelo, foram obtidos a partir de uma série histórica de 18 anos de dados diários de precipitação e vazão (1991 a 2009) e dados de evapotranspiração (2000 a 2008).

Os dados de precipitação e vazão foram obtidos no site Hidroweb/ANA. A rede pluviométrica utilizada nesse estudo é composta por 8 estações, sendo 5 localizadas dentro da bacia e 3 localizada no seu entorno. A rede fluviométrica da bacia hidrográfica do rio Mundaú é composta 9 estações, sendo 6 localizadas no estado de Alagoas e 3 em Pernambuco. Neste trabalho utiliza-se dados de apenas 5 estações fluviométricas devido à indisponibilidade de dados das demais estações. As Tabelas 1 e 2 sintetizam as informações das estações pluviométrica e fluviométricas utilizadas neste estudo.

Tabela 1 - Relação das estações pluviométrica.

Código	Estado	Nome	Responsável	Lat.	Long.	Instalação
836043	PE	Saranho	SUDENE	08°47'	36°38'	nov/62
935012		Murici	DNOCS	09°19'	35°56'	mar/53
935056		Faz. Boa Fortuna	ANA	09°28'	35°51'	ago/89
935057		Marechal Deodoro	DNOCS	09°31'	36°01'	dez/12
936112	AL	São José da Laje	ANA/CPRM	09°00'	36°03'	out/90
936113		União dos Palmares	ANA/CPRM	09°08'	36°02'	out/90
936114		Santana do Mundaú	ANA/CPRM	09°10'	36°13'	out/90
936115		Quebrangulo	ANA/CPRM	09°19'	36°29'	out/90

Tabela 2 – Estações fluviométrica de interesse.

Nome	Código	Rio	Responsável	Lat	Lon	Instalação
Sant. do Mundaú	397000	Mundaú	ANA	09°10'	36°13'	out/90
S. José da Laje	397200	Canhoto	ANA	09°00'	36°03'	out/90
União dos Palm.	3974000	Mundaú	ANA	09°09'	36°02'	out/90
Murici Ponte	3976000	Mundaú	ANA	09°18'	35°56'	dez/65
Faz. Boa Fortuna	39770000	Mundaú	ANA	09°28'	35°51'	out/65

Preparação dos dados de entrada

O Modelo SedNet para simular a produção de sedimentos requer uma grande quantidade de parâmetros que se relacionam com as características físicas da bacia, necessitando de dados anuais manipulados em SIG. Os planos de informação necessários para alimentar o modelo são: mapa do Modelo de Elevação Digital (DEM), cobertura e uso do solo, mapas dos fatores R, K e LS da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), mapas climáticos, entre outros.

Modelo de Elevação Digital – DEM

O Modelo de Elevação Digital (DEM) foi obtido pela Missão Topográfica por Radar (Shuttle Radar Topography Mission - SRTM) da NASA (National Aeronautics and Space Administration). Este modelo tem Resolução espacial de 90 m x 90 m. Através de rotinas do Idrisi chega-se ao DEM utilizado neste estudo (Figura 1).

Mapa da erosividade da chuva (R)

A erosividade da chuva para a bacia é estimada usando a teoria apresentada no Equação 3. Primeiramente, os índices para cada mês (EI_{mensal}) são determinados por meio dos totais mensais de precipitação de 8 estações pluviométricas no período de 1991 a 2009. Por fim, o fator R (anual) de cada estação é determinado através do somatório de todos os seus respectivos EI_{mensais} .

Após o cálculo do fator R, cria-se um arquivo “txt” com as coordenadas geográficas de cada estação pluviométrica e seus respectivos valores de R. Esse arquivo é importado para o Idrisi e depois os valores pontuais de R são interpolados através do comando THIESEN, obtendo-se o mapa espacial de erosividade da chuva da bacia hidrográfica do Rio Mundaú.

Mapa de Erodibilidade do Solo (K)

O primeiro passo para elaborar o mapa de erodibilidade é determinar os valores de K para cada tipo de solo da bacia. Para tal, utiliza-se o mapa pedológico pré-existente elaborado pelo PDRH da bacia do Rio Mundaú. Os valores de K para cada tipo de solo foi calculado através da Equação 4. Os dados necessários para determinar esse fator tais como valores de silte, argila e areia muito fina e matéria orgânica, são obtidos através do projeto RADAMBRASIL.

Uma vez que os valores de K são determinados, o segundo passo refere-se à confecção do mapa de erodibilidade. Inicialmente, realiza-se a importação do mapa de solos que estava em formato “dxf” para o Idrisi através do comando DXFIDRISI, depois os valores de K são vinculados a cada classe de solo através do comando RECLASS, gerando dessa forma, o mapa do Fator K.

Mapa do Fator Topográfico (LS)

Com o DEM preparado no Idrisi, o mapeamento do fator LS é calculado de forma automatizada com o uso do software Usle2D. O uso deste software deve-se, principalmente, a facilidade de operação, compatibilidade com o sistema de informação geográfica IDRISI e aos bons resultados apresentados por (Silva, 2003) e (Souza, 2006) na obtenção desse fator.

Mapa de uso e cobertura do solo (Fator C)

O mapa de uso e cobertura do solo é confeccionado a partir do mapa da cobertura vegetal do Brasil elaborado pela EMBRAPA. A imagem é importada para o Idrisi, recortada através do comando WINDOW, na sequência através do comando OVERLAY, a imagem é multiplicada por outra que continha a delimitação da bacia. Por fim, através do comando RECLASS a imagem de uso e cobertura do solo da bacia é reclassificada em 7 classes de uso (mosaico de agricultura, pastagem e vegetação; agricultura; vegetação de várzeas; campos inundáveis; savanas; florestas e água).

Mapas de Precipitação, Evapotranspiração e Índice de Aridez

Para elaborar o mapa espacial de precipitação da bacia, primeiramente é criado um arquivo “txt” com as coordenadas das estações e suas respectivas médias anuais de precipitação. Em seguida o arquivo é importado para o Idrisi e transformado em um *vetor*, depois as coordenadas que estavam em latitude e longitude são convertidas para UTM 25s através do comando PROJECT. Em seguida, o comando THIESSEN é utilizado para interpolar os dados pontuais de precipitação, o *raster* gerado é multiplicado pela imagem que continha a delimitação da bacia através do comando OVERLAY, gerando assim, o mapa espacial de precipitação da bacia hidrográfica do Rio Mundaú.

O procedimento utilizado para elaborar o mapa espacial de evapotranspiração é o mesmo adotado na elaboração do mapa espacial de precipitação.

Por fim, o mapa de índice de aridez é determinado através do comando {IMAGE CALCULATOR, onde o mapa de Evapotranspiração média anual é dividido pelo mapa de precipitação média anual.

Mapa de vegetação ciliar

O mapa espacial de vegetação ciliar dos afluentes da bacia hidrográfica é gerado a partir do DEM através do comando RUNOFF do IDRISI. Quando o mapa da hidrográfica é confeccionado, reclassifica-se com valor de 0 a 1 através do comando RECLASS. O valor mais próximo de zero indica que a vegetação ciliar está mais degradada. Já os valores próximos de 1 indicam que a vegetação está em bom estado de conservação de acordo com a metodologia proposta no (SedNet-User Guide 2.0).

Simulação dos Cenários

Com o modelo, realiza-se simulações de cenários de uso e ocupação do solo com a finalidade identificar onde a produção de sedimento ocorreu, bem como avaliar o quanto que as alterações no uso e ocupação do solo interferem na produção de sedimentos. Nesse sentido, dois cenários foram

definidos. Para viabilizar este estudo, elaboraram-se dois *layers* com informações de uso e cobertura do solo:

- Cenário 1: considerou-se o uso do solo atual na bacia, através do mapeamento da cobertura vegetal do Brasil elaborado pela EMPRABA;
- Cenário 2: considerou-se o uso do solo sem interferência humana, onde toda área da bacia era coberta por floresta;

RESULTADOS

Parâmetros EUPS

Erosividade (Fator R)

Com base nos totais mensais de precipitação, a bacia apresenta um valor médio de erosividade anual de 5052 MJ.mm/ha.h.ano variando de 3147 MJ.mm/ha.h.ano a 6263 MJ.mm/ha.h.ano. As médias anuais de precipitação e de erosividade são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Total anual de precipitação e erosividade.

Estações	Precipitação Anual (mm)	Erosividade (MJ.mm/ha.h.ano)
836043	699.94	3147.68
935012	1468.98	5594.33
935056	1630.01	6029.89
935057	1707.54	6263.08
936112	1275.53	4959.57
936113	1240.16	4887.38
936114	1399.77	5318.99
936115	1045.44	4264.24

A Figura 2 ilustra o mapa do potencial erosivo da chuva na região da bacia do Rio do Mundaú. Pode-se perceber que os valores de R são relativamente altos, isso acontece porque a bacia, em geral, possui uma pluviosidade naturalmente elevada. Os valores mais baixos ocorrem na parte superior da bacia, localizada do Estado de Pernambuco, onde a pluviosidade é bem menor devido à proximidade com a região do polígono das secas.

A determinação da erosividade ao longo do ano é importante para identificar os meses nos quais os riscos de perdas de solo são mais elevados, além de permitir planejamento de práticas conservacionistas nas épocas críticas de maior capacidade erosiva das chuvas. A Figura 3 apresenta a erosividade e a precipitação mensal da chuva na bacia. Verifica-se uma tendência dos meses mais chuvosos, que vai de abril a agosto, com os extremos entre os meses de maio a julho, apresentarem maior potencial erosivo. Este aspecto torna o potencial natural à erosão mais crítico nestes meses,

uma vez que coincidem com o período de preparo das terras principalmente nas áreas utilizadas para o plantio de agricultura sequeiro.

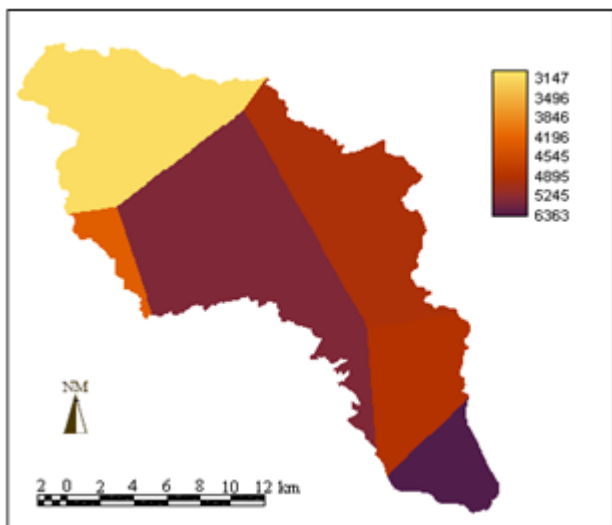


Figura 2 – Erosividade pelo método de Thiessen.

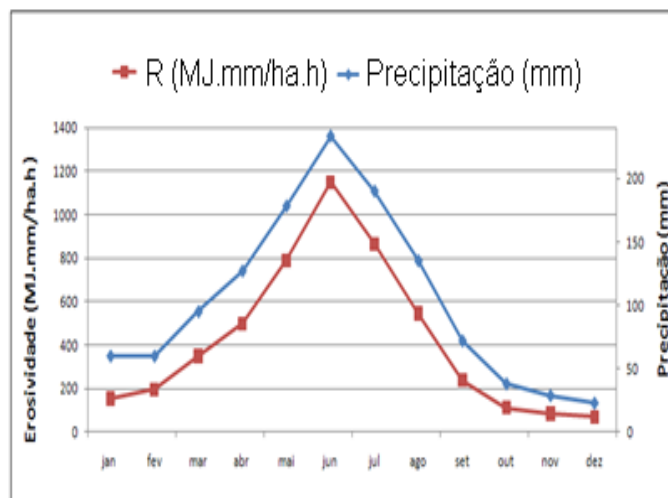


Figura 3 – Precipitação e erosividade mensal.

Erodibilidade do solo (Fator K)

A Figura 4 mostra a distribuição espacial da erodibilidade do solo da bacia, estimada através dos dados fornecidos pelo levantamento de recursos naturais do Projeto RADAMBRASIL. A erodibilidade do solo na bacia é bastante variada devido à diversidade de solos e suas associações. Os valores da erodibilidade variam de 0,019 Mg.h/MJ.mm a 0,075 Mg.h/MJ.mm. Os valores erodibilidade obtidos se enquadram dentro da realidade encontrada nos solos brasileiros, sendo o mínimo de 0,002 e máximo de 0,034 Mg.h/MJ.mm, conforme apresentado em (TOMAZONI, 2005).

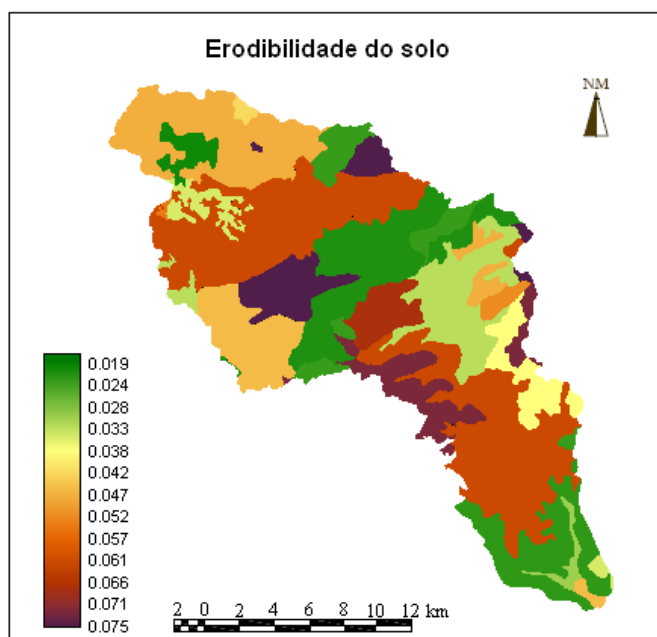


Figura 4 - Erodibilidade do solo da bacia do Rio Mundaú (em Mg.h. MJ⁻¹.mm⁻¹).

Fator Topográfico - LS

O LS foi calculado a partir do DEM (Figura 1) por intermédio do Software USLE 2D. Ao analisar a frequência do fator topográfico Figura 5, pode-se perceber que há um predomínio dos menores valores, a classe entre 0,1 e 1 ocorrem com maior frequência, representando 25% do total. Os valores de LS igual ou superior a 10 tem 39%. Os valores de LS e sua influência no processo erosivo pode ser melhor entendido através de classes, assim, as classes entre 0-20 está associada às áreas com rampas longas de declives mais suaves ou rampas menores com declives maiores. No que se refere às classes de LS entre 20-50, estas resultam de declives maiores (forte ondulado a montanhoso) associadas a comprimentos médios ou de declividades médias (relevo ondulado) em rampas de maior comprimento.

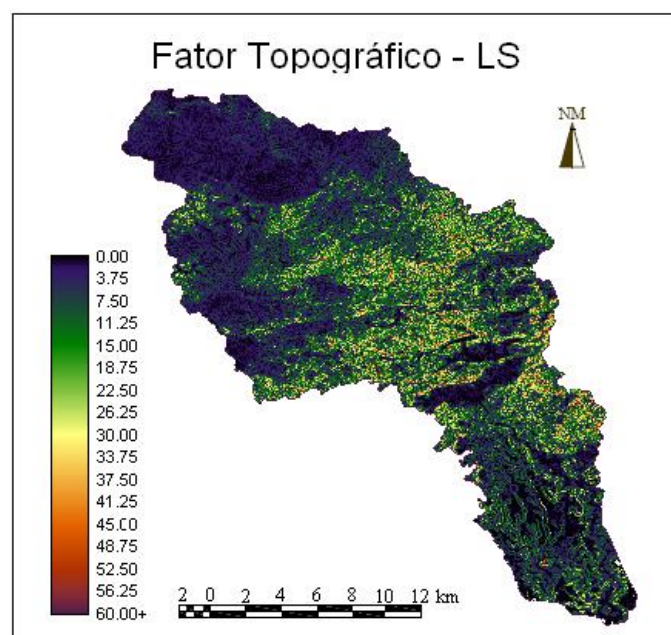


Figura 5 - Mapa de Fator topográfico da bacia do Rio Mundaú (adimensional).

Uso e Cobertura do Solo e Práticas Conservacionistas - Fator CP

As áreas de cobertura e seus respectivos percentuais de cada um dos usos dos solos considerados estão apresentados na Tabela 2. Através dessas informações, percebe-se que a mesma sofre um forte impacto antrópico. Sendo este associado, não só ao pequeno percentual de mata, mas principalmente, ao predomínio de uso das terras com pastagem de baixa produtividade, agricultura intensiva sem manejo e sem adoção de tecnologias adaptadas à região.

Na bacia verifica-se que a pastagem, agricultura de sequeiro e vegetação alterada ocupam maior parte da área da bacia, seguido da agricultura intensiva, principalmente cana-de-açúcar no Estado, situação que contribui para um aumento da produção de sedimentos.

Tabela 2 – Vegetação e Uso do solo e fator C.

Uso e cobertura do solo	Área (Km ²)	%	Fator C
Mosaico de agricultura, pastagem e vegetação arbórea alterada	4009.10	97.17	0.18
Agricultura intensiva	86.10	2.09	0.3066
Água	2.75	0.07	0.00
Vegetação arbórea fechada	17.10	0.41	0.001
Savanas arbustivas	3.31	0.08	0.140
Campos inundáveis	6.31	0.15	0.26
Florestas estacionais decíduais abertas	1.34	0.03	0.062
Total	4126.00	100.00	-

A Figura 6 mostra o mapa de uso e cobertura do solo classificado com os valores do Fator C para cada tipo de cobertura. Os valores do fator C para cada classe de uso e cobertura de solo são obtidos dos trabalhos de (Ferinasso, 2006), (Ribeiro, 2007), (Silva, 2004) e (Galdino, 2003).

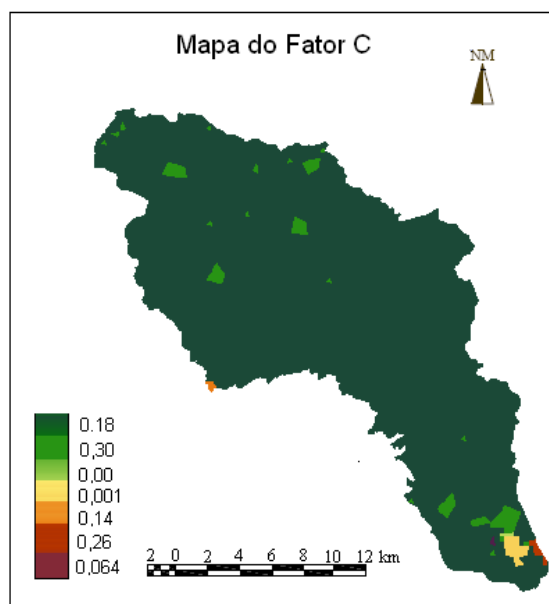


Figura 6 – Classificação de uso e cobertura do solo.

Simulação da Produção de Sedimentos - Cenário 1:

A simulação da produção para este cenário considera o mapa de uso e cobertura do solo elaborado pela Embrapa. A Figura 7 mostra a distribuição espacial da contribuição (anual) de cada sub-bacia na produção de sedimento em suspensão. Como pode ser observado, os maiores valores ocorrem na parte central da bacia, principalmente pela combinação de três fatores: declividade acentuada, solos podzólicos e índices pluviométricos elevados. Os solos podzólicos são menos permeáveis, portanto, mais propenso à erosão hídrica. As sub-bacias localizadas no Estado de

Alagoas apresentam uma produção maior de sedimentos com relação às sub-bacias localizadas no Estado de Pernambuco, tendo em vista a conjunção do declive com o cultivo de cana-de-açúcar e pastagem em solos podzólicos. As menores taxas de produção de sedimentos são encontrados na parte superior da bacia onde os valores da declividade não ultrapassam 15%, com solos litólicos e podzólicos, porém com índices pluviométricos bem menores com relação ao restante da bacia.

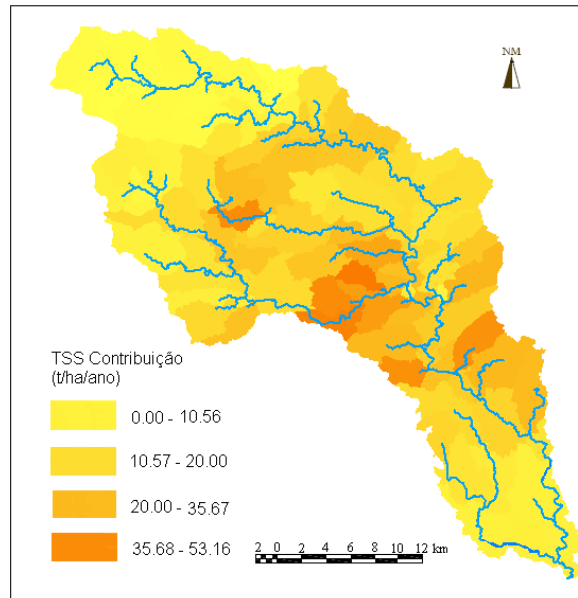


Figura 7 - Distribuição da produção de sedimentos - Cenário 1.

Silva (2003) classificou as perdas de solo (t/ha/ano) como sendo: nula a pequena para perdas menores que 10; moderada para perdas de 10 a 15; média para perdas de 15 a 50; média forte para perda de 50 a 120; e forte para perdas de 120 a 200. A Figura 8 apresenta as sub-bacias hidrográficas em porcentagem com relação as classes de perda de solo proposta por (SILVA, 2003).

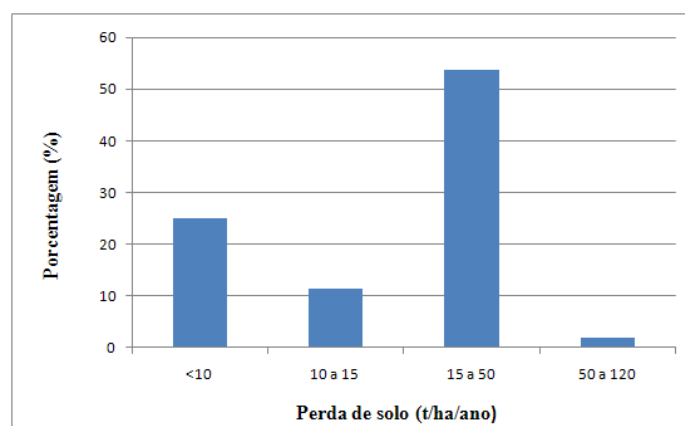


Figura 8 - Perda média anual de solos por sub-bacias (t/ha/ano).

Ao observar a Figura 8 pode-se concluir que 25% das sub-bacias apresentam uma produção de sedimento bem pequena, entre 0 a 10 (t/ha/ano) sendo considerada nula, essas ocorrem nas sub-

bacias a montante e a jusante. 11,52% das sub-bacias tiveram perda de sedimento entre 10 a 15 (t/ha/ano), ou seja, uma perda moderada. A parte central da bacia e suas regiões adjacentes apresentaram as maiores taxas de produção de sedimentos dentre todas as sub-bacias, entre 15 a 50 (t/ha/ano) representando 54% das sub-bacias. Os fatores que contribuíram para a obtenção dessa maior produção de sedimento foram o relevo acidentado e o cultivo de cana-de-açúcar e pastagens em solos pouco resistentes a erosão. No entanto, as perdas mantiveram-se dentro dos padrões de tolerância de perda de solo, entre 15 a 50 (t/ha/ano), considera uma perda média. Com relação ao aporte de sedimento anual em seu exutório, o estimado é de 7685.61 kt/ano. Esse valor representa uma produção específica de sedimento de 18.62 t/ha/ano, considerada como média.

Simulação da Produção de Sedimentos - Cenário 1:

O cenário 2 visa representar a bacia sem ações antrópicas, ou seja, toda a bacia estava coberta por floresta. Como pode ser observado na Figura 9, a produção de sedimentos é bastante reduzida quando comparado com o cenário 1. Esse resultado já era esperado devido à proteção vegetal oferecida pela floresta, ficando a produção de sedimento vinculada, principalmente, a ação não-antrópica.

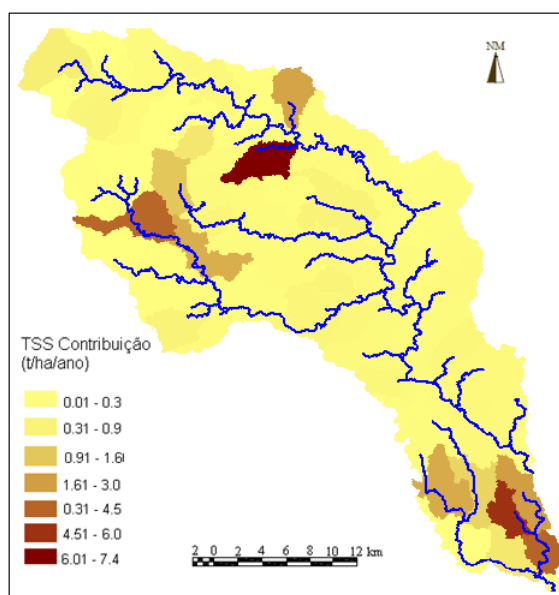


Figura 9 - Distribuição espacial da produção de sedimento em suspensão - Cenário 2.

Os maiores valores da produção de sedimentos ocorrem em algumas sub-bacias localizadas na parte mais alta e na parte mais baixa da bacia. Na parte mais alta, a maior produção de sedimento se deve ao solo podzólico combinado com relevo relativamente ondulado. Já na parte Alagoana, fatores como relevo fortemente ondulado, solos latossol e maior índice pluviométrico contribuem na

produção de sedimentos. Nas demais sub-bacias a produção de sedimento é ainda menor, entre 0,01 a 0,09 t/ha/ano.

CONCLUSÃO

Por meio do SedNet foi possível identificar as sub-bacias que mais contribuem com a produção de sedimentos, além disso foi possível relacionar essa produção com os fatores da Equação Universal de Perda de solos.

Os resultados apresentados pelo modelo (cenário 1) mostram que a bacia hidrográfica do Rio Mundaú, mesmo tendo sua boa parte de localização em áreas de serra, com alta variação de declividade e com índices pluviométricos acentuados, apresenta valores de perda de solo média considerados pequenos pela literatura. Na maior parte da bacia, a produção de sedimento (15 t/ha/ano), e em poucas regiões apresentou valores maiores.

Com relação ao cenário 2 foi possível perceber a influência da cobertura vegetal na redução da produção de sedimentos. Desse modo, a simulação mostrou que a disposição de áreas de florestas na bacia contribuem significativamente para a redução das perdas de solo por erosão.

Com os resultados obtidos, o SedNet pode ser considerado como uma importante ferramenta para simulação da produção de sedimentos, e pode perfeitamente contribuir para que os órgãos responsáveis pelo planejamento ambiental, possam simular cenários que apontem caminhos para minimização dos efeitos degradantes da ação antrópica na escala de bacias hidrográficas.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece a Capes/Fapeal pela concessão de bolsas de mestrado.

BIBLIOGRAFIA

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1993. 355 p.

BORGES, K. M. R. *Avaliação da Susceptibilidade Erosiva da Bacia do Rio Carinhanha (MG/BA) por meio da EUPS–Equação Universal de Perda de Solos*. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade de Brasília, Brasília, 68f.

CARVALHO, Newton de Oliveira. *Hidrossedimentologia Prática*. 1. ed. Rio de Janeiro: CPRM/Eletróbrás, 1994. 325 p.

CHUQUIPIONDO, I. G. V. *Avaliação da Estimativa do Potencial de Erodibilidade de Solos nas Margens de Cursos de Água: Estudo de Caso Trecho de Vaz ao Reduzida Capim Branco I Araguari Minas Gerais*. 2007. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 195f.

DENARDIN, J. E. *Erodibilidade de Solo Estimado por meio de Parâmetros Físicos e Químicos*. 1990. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)—Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 81.

DESMET, P. J. J.; GORVERS, G. A GIS Procedure for automatically calculating the usle ls factor on topographically complex landscape units. *Journal the Soil and Water Conservation*, v. 5, p. 427–433, 1996.

FARINASSO, M. *Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS utilizando novas metodologias em SIG para cálculo dos seus fatores na região do alto Parnaíba*. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 2, p. 73–85, 2006.

FENTIE, B.; MARSH, N.; STEVEN, A. *Sensitivity analysis of a catchment scale sediment generation and transport model*. In: MELBOUNE (Ed.). [S.l.: s.n.], 2005. p. 1440–1446.

GARCIA, G. E. *Implementação de Modelo Numérico para Avaliação do Transporte de Sedimentos no Reservatório de Itaipu-PR*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 125f.

HILU, A. *Erosão Hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi no Estado do Paraná*. 2003. Dissertação (Mestrado Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 107f.

MEDEIROS, F. C. *Influência do Clima Global no Prognóstico das Descargas de Bacias Hidrográficas do Estado de Alagoas*. 2002. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

MINGOTI, R. *Produção de Sedimentos em Microbacias Hidros em Função do Relevo e da Cobertura Florestal*. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade de São Paulo, Piracicaba, 82f.

PRADO, T. B. G. *Evolução do Uso das Terras e Produção de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim*. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Instituto Agrônomo, Universidade de Campinas, Campinas, 63f.

SILVA, A. L. *A Utilização do Modelo WinHSPF no Estudo das Cargas Difusas de Poluição da Bacia do Ribeirão da Estiva, SP*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 158.

SOUZA, C. F.; DORNELLES, A. M.; ACIOLI, L. A.; MERTEN, G. *Comparação entre estimativas de produção de sedimentos na bacia do rio Potiribu*. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. Porto Alegre, 2006.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARAES, E. *A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio jirau*. Revista Brasileira de Cartografia, v. 3, p. 235–244, 2005.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting Rainfall-Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Washington: Agriculture Handbook, 1978. 58 p.