

MODELO DE LANGBEIN-SCHUMM E ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DE BACIAS COM ÁREAS PRESERVADAS

Danielle Sebastiana dos Santos Silva (UFPA) dsssilva@ufpa.br
Claudio JosÃ© Cavalcante Blanco (UFPA) blanco@ufpa.br
Kelly Nayara Soares dos Santos (UFPA) kelly.santos@itec.ufpa.br
Francisco Carlos Lira Pessoa (UFPA) fclpessoa@ufpa.br

Resumo: Modelos empíricos de simulação hidrossedimentológica são ferramentas importantes na avaliação da erosão hídrica do solo em decorrência do uso e manejo da terra. A USLE (*Universal Soil Loss Equation*) é amplamente utilizada com esse intuito para bacias de uso agrícola e agropecuário. Entretanto, para bacias com áreas preservadas, pode-se optar por modelos que levem em consideração a ausência e a presença de vegetação, tal como o modelo de Langbein-Schumm. A USLE e o modelo de Langbein-Schumm foram aplicados a dados morfoclimáticos de uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. A USLE estimou uma produção média de sedimentos igual a 146,08 (t km⁻²); e o modelo de Langbein-Schumm uma produção média igual a 113,73 (t km⁻²), para 24 anos de dados observados de chuva, demonstrando que a USLE superestima a produção de sedimentos em relação ao modelo de Langbein-Schumm. Os resultados dos modelos foram comparados aos dados observados de sedimentos em suspensão do ano de 2012 com um valor igual a 121,64 (t km⁻²), sendo o modelo de Langbein-Schumm o que mais se aproximou das observações, com um valor de 142,47 (t km⁻²). O desempenho do modelo pode ser explicado por sua formulação levar em consideração a ausência e a presença de vegetação. Logo, para bacias com áreas preservadas, o modelo de Langbein-Schumm pode vir a ser uma boa opção para a estimativa de produção de sedimentos. Entretanto, é necessário continuar a observação de dados para se comprovar melhor o desempenho do modelo.

Palavra-chave: Hidrossedimentologia, Erosão, Amazônia.

LANGBEIN-SCHUMM MODEL AND SEDIMENT YIELD ESTIMATE OF BASSINS WITH AREAS PRESERVED

Abstract: Empirical models hydrossedimentological simulations are important tools for the evaluation of soil hydric erosion due to the use and management of land. The USLE (Universal Soil Loss Equation) is widely used for this purpose for agricultural use basins. However, for basins with preserved areas, one can use models that take into account the absence and the presence of vegetation, such as Langbein Schumm model. The USLE and the Langbein-Schumm model were applied to morphoclimatic data from a small Amazonian catchment. The USLE estimated a mean sediment yield equal to 146.08 (t km⁻²); and the Langbein Schumm model a mean sediment yield equal to 113.73 (t km⁻²) to 24 years observed rainfall data, showing that the USLE overestimates the sediment yield in relation to the Langbein-Schumm model. Models results were compared to the observed data of suspended sediments for the year 2012, with a value equal to 121.64 (t km⁻²). The Langbein Schumm model was the one closest to observed data with a value equal to 142.47 (t km⁻²). The model performance can be explained by their formulation take into account the absence and the presence of vegetation. Thus, for the catchments with preserved areas, the model Langbein-Schumm can be a good option for sediment yield estimation. However, it is necessary to continue the observation data to better check the model performance.

Keywords: Hydrosedimentology, Erosion, Amazonia.

1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica do solo e a consequente produção de sedimentos tem sido objeto de preocupações associadas ao planejamento e gestão do uso do solo e dos recursos hídricos devido às mudanças de uso e manejo do solo. Os processos erosivos que ocorrem em uma bacia hidrográfica causam problemas na capacidade produtiva do solo devido à remoção dos seus nutrientes essenciais para a manutenção de espécies vegetais. Essa remoção, através do impacto das gotas de chuva e posteriormente com o escoamento superficial, transporta esses sedimentos produzidos para áreas de mais baixa topografia, chegando aos corpos de água, ocasionando o assoreamento dos mesmos.

Dentre os fatores relacionados às condições do terreno, que interferem no processo de erosão hídrica estão: a declividade, a capacidade de infiltração da água no solo; o escoamento superficial, a rugosidade superficial (relacionada ao uso e manejo do solo); e a resistência do solo à ação erosiva da água. Dessa forma, estudos das variáveis ambientais relacionadas à hidrossedimentologia, como, a investigação de produção de sedimentos em bacias hidrográficas, são fundamentais para o mapeamento de áreas vulneráveis a problemas ambientais, bem como para elaboração de políticas públicas de planejamento e ainda, a formação de instrumentos de previsão, prevenção e remediação de impactos ambientais.

Silva e Santos (2008) ressaltaram o aumento do número de estudos hidrossedimentológicos desenvolvidos no Brasil, devido ao fato da relevância dada a esse tema por diversos pesquisadores no país e no exterior. Os autores destacam, também, outros estudos realizados para a região semiárida do nordeste brasileiro.

Para a região amazônica, são poucos os estudos científicos nessa linha de pesquisa. Em uma região que nos últimos anos vem sendo submetida a uma diversidade de atividades exploratórias. Maeda, Formaggio, Shimabukuru (2008) ressaltaram que estudos de modelagem das mudanças do uso e manejo do solo indicam que, no ano de 2050, seguindo-se as tendências atuais, cerca de 40% da Amazônia legal estará desflorestada dando lugar às atividades agropecuárias. Por exemplo, Santos (2013) aplicou a equação universal de perda de solo revisada (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE) com técnicas de geoprocessamento na bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, no município de Capitão Poço, Pará, para quantificar a Erosão hídrica e analisar a tolerância à perda de solo. Tal bacia é a mesma do presente estudo. Cariello *et al.* (2014) aplicaram, à mesma área de estudo, à equação universal de perda de solo modificada (Modified Universal Soil Loss Equation – MUSLE) com objetivo de mensurar o aporte de sedimentos.

Além da USLE e suas versões modificadas e revisadas utilizadas para quantificar a perda de solo e produção de sedimentos, tem-se também o modelo Langbein-Schumm (1958). Esse modelo foi desenvolvido nos Estados Unidos a fim de compreender os efeitos das mudanças climáticas sobre a erosão e as diferenças regionais na produção de sedimentos. O modelo tem sido utilizado em algumas regiões, por exemplo, na Bacia do Rio Caroni na Venezuela (GUEVARA-PÉREZ & MÁRQUEZ, 2007); avaliando o avanço da erosão na bacia Cottonwood Creek, no Estados Unidos (LORD *et al.*, 2009); e na bacia do Rio Glonn, na Alemanha (DIODATO *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é comparar o modelo proposto por Langbein-Schumm (1958) à USLE, e a dados de produção de sedimentos observados, visando verificar a aplicabilidade deste em bacias com áreas preservadas, como é o caso da bacia do Igarapé da Prata, município de Capitão Poço, estado do Pará.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em um trecho da pequena bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, possuindo uma área de 32,7 km², e seu exutório sendo marcado pela Estação Fluviométrica Marambaia

(Agencia Nacional das Águas, código: 31600000) de responsabilidade da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Observa-se na Figura 1, a pequena bacia hidrográfica do igarapé da Prata, que está localizada, aproximadamente, à 160 km em linha reta da capital Belém.

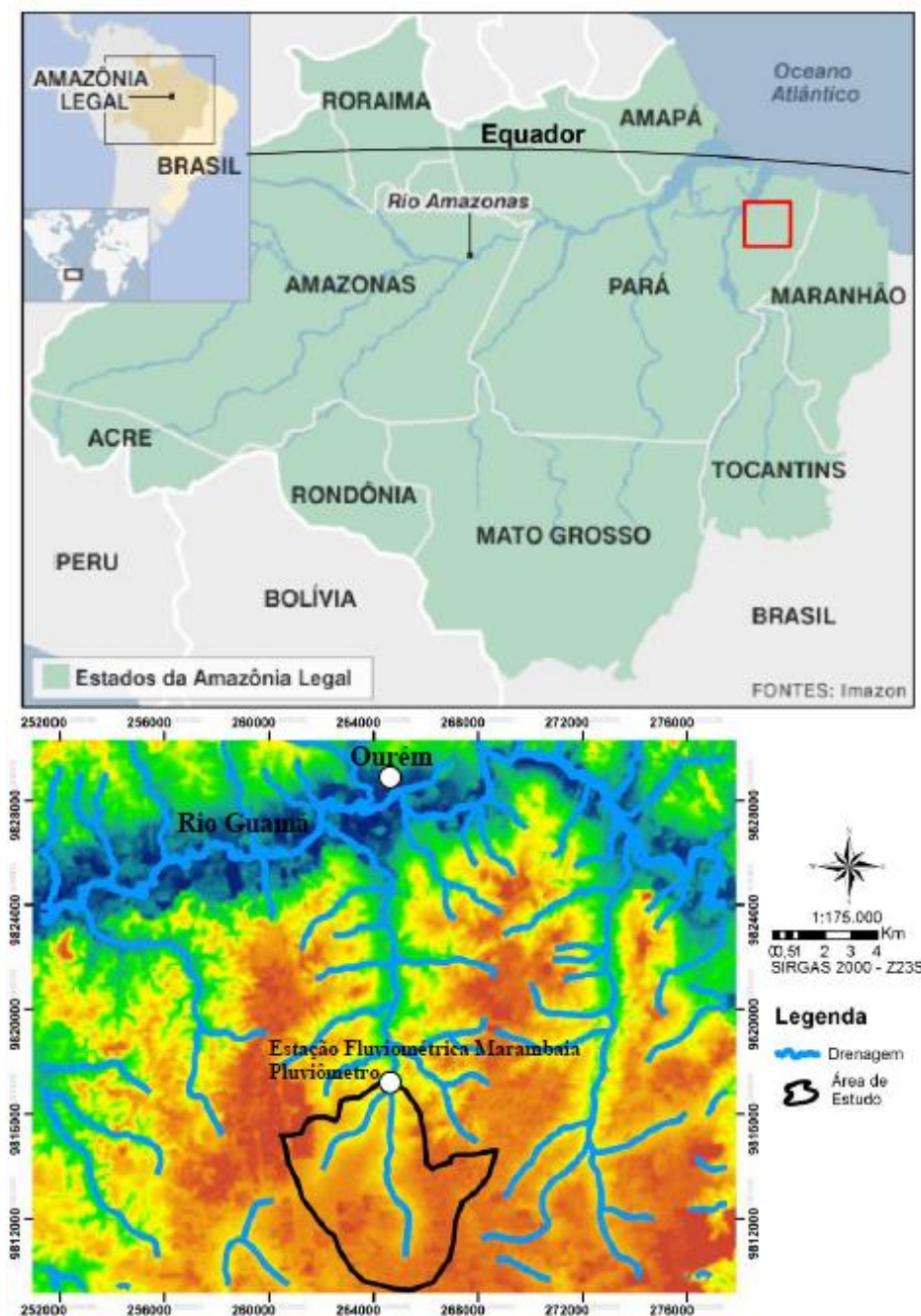


Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo
 Fonte: Lima *et al.*, 2014

2.2 Universal Soil Loss Equation (USLE)

A Equação Universal de Perda de Solo é um modelo de erosão hídrica que prevê a taxa média anual de perda de solo com base em séries históricas de precipitação, tipologia do solo, topografia, sistemas de cultivo e práticas de conservação do solo. O modelo foi desenvolvido nas décadas de 1960 e 1970 pelo Serviço de Pesquisa Agrícola dos EUA como suporte para o planejamento e conservação do solo em bacias rurais (WISCHMEIER & SMITH, 1965).

A USLE (Eq. 1) passou por várias pesquisas, modificações e extensões, como por exemplo, MUSLE (WILLIAMS, 1975) e a USLE-M (KINNELL & RISSEL, 1998), dUSLE (FLACKE *et al.*, 1990); e por uma revisão, RUSLE (RENARD *et al.*, 1997) afim de aprimorar a acurácia do mesmo.

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

Sendo, A a perda de solo ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$); R o fator de erosividade da chuva ($Mj.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$); K o fator de erodibilidade do solo ($t.h.Mj^{-1}.mm^{-1}$); LS o fator conjunto de comprimento e grau de declividade da rampa (-); C o fator de uso e manejo do solo (-); e P o fator de práticas conservacionistas (-).

2.2.1 Fator R

O fator energético da chuva expressa o poder erosivo de um evento de chuva através de sua energia cinética e de sua intensidade máxima de 30 min para um evento considerado. Seu valor pode ser calculado para períodos mensais ou anuais conforme a Equação 2 proposta por Wischmeier e Smith (1965):

$$R = \sum_{i=1}^n E_i \times I_{30i} \quad (2)$$

Sendo, E_i é a energia cinética da chuva do evento i ($Mj ha^{-1}$); I_{30i} é a intensidade da chuva de 30 minutos, mais intensa, ocorrida durante o evento chuvoso i ($mm h^{-1}$); e n é número total de eventos chuvosos do mês considerado no presente estudo.

Para utilização da Equação 2, medidas de chuva de 30 min são necessárias, entretanto, essas medidas são escassas na região. No entanto, um estudo realizado por Lima *et al.* (2014), aplicado a dados de chuva de 30 min, coletados durante 1 ano na bacia do igarapé da Prata, comparou resultados da Equação 2 a resultados das equações de Morais *et al.* (1991) e de Oliveira Jr. (1988), as quais dependem de dados de chuva mensais e anuais, os quais são de mais fácil obtenção. A comparação constatou que os resultados de R calculados com a equação de Morais *et al.* (1991), são mais semelhantes aos resultados calculados via Equação 2, que é a equação original da USLE para cálculo do fator R . Com isso, optou-se pelo uso da equação de Morais *et al.* (1991) (Eq. 3).

$$R = 36,894 \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)^{1,0852} \quad (3)$$

Sendo, P_m a precipitação média mensal (mm) e P_a a precipitação média anual (mm).

2.2.2 Fator K

Para a obtenção do fator de erodibilidade do solo, utilizou-se a mesma metodologia adotada por Cariello *et al.* (2014). Os autores basearam-se na equação desenvolvida por Denardin (1990), na qual o autor analisou os resultados obtidos para o fator K em solos brasileiros, através do nomograma de solos proposto por Wischmeier *et al.* (1971), adaptando a equação proposta por Wischmeier e Smith (1965) a solos tropicais.

Levy (1995) ajustou a equação proposta por Denardin (1990) substituindo os dados de granulometria detalhada por dados mais simples de granulometria do solo, como areia grossa ($> 0,2$ mm), areia fina (0,05 a 0,2 mm), silte (0,002 a 0,05 mm) e argila ($< 0,002$ mm) (Eq. 4).

$$K = 0,00000748M + 0,0048059p - 0,0631175DMP + 0,01039567r \quad (4)$$

Sendo, M a variável calculada a partir de valores granulométricos; p a permeabilidade dos solos com valores entre 1 e 5, segundo a classificação: 1 Rápida; 2 Moderada a Rápida; 3 Moderada; 4 Moderada a Lenta; e 5 Lenta; r a relação entre o teor de matéria orgânica e o teor de areia grossa (% de MO x % de areia grossa) /100; e DMP o diâmetro médio ponderado das partículas. O DMP pode ser determinado pela Eq. 5 de Levy (1995),

$$DMP = \sum C_i \times P_i \quad (5)$$

Sendo, C_i o centro de cada classe textural (mm) e P_i a proporção da classe textural ($g\ g^{-1}$). O valor de M é obtido através da Eq. 6.

$$M = (\% \text{silte} + \% \text{areiafina}) \times (\% \text{silte} + \% \text{areiafina} + \% \text{areiagrossa}) \quad (6)$$

O fator C_i é caracterizado pelo centro de cada classe textural, através da escala apresentada por Milde *et al.* (2008), onde o diâmetro médio em mm da partícula é: Areia grossa (1,125); Areia fina (0,150); Silte (0,026); Argila (0,002). Para aplicação da Equação 6 na área de estudo, foram utilizados os dados de Martins (1987), os quais descrevem as características de latossolos amarelos nas proximidades da pequena bacia de estudo (Tabela 1).

Tabela 1 - Características do Latossolo Amarelo na região

Permeabilidade	Moderada e Rápida
Textura	Franco Arenosa
% Areia grossa	46
% Areia fina	29
% Silte	14
% Argila	11
% Matéria Orgânica	2,2

Fonte: Martins (1987).

2.2.3 Fator LS

O fator LS reflete o efeito da topografia na erosão do solo, onde separadamente L e S representam o efeito do comprimento de declive e a influência da declividade sobre a erosão do solo. O fator conjunto de comprimento e grau de declividade, LS , da área de estudo foi calculado por Santos (2013). O autor utilizou um Sistema de Informação Geográfica, com imagens raster, submetido a uma linguagem de programação, C^{++} , para calcular automaticamente o valor de LS . Com isso, o valor encontrado para a área da bacia do Igarapé da Prata, foi um valor médio de $LS = 0,38$, um valor máximo de 2,83 e um mínimo de 0,01, conforme pode ser observado na Figura 2.

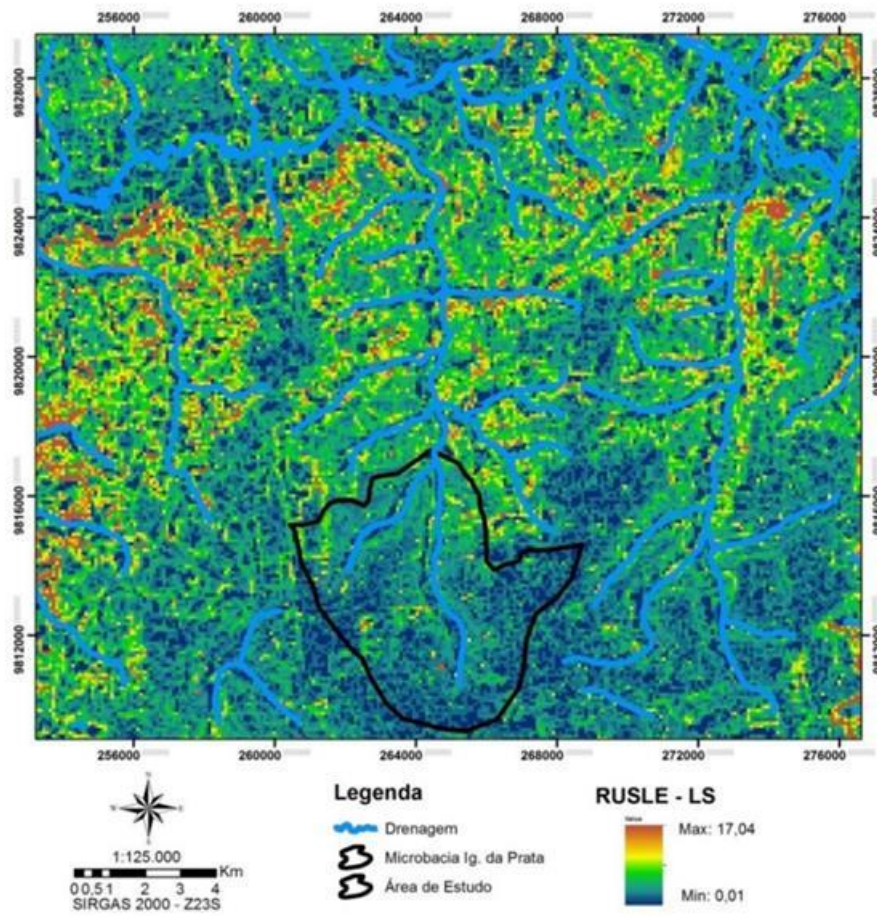


Figura 2 - Mapa do fator LS para região
 Fonte: Santos (2013)

2.2.4 Fator C

O fator *C* foi determinado em função de cada classe representativa do uso e manejo do solo da área de estudo (Figura 3) e através de valores do fator disponíveis na literatura (Tabela 2).

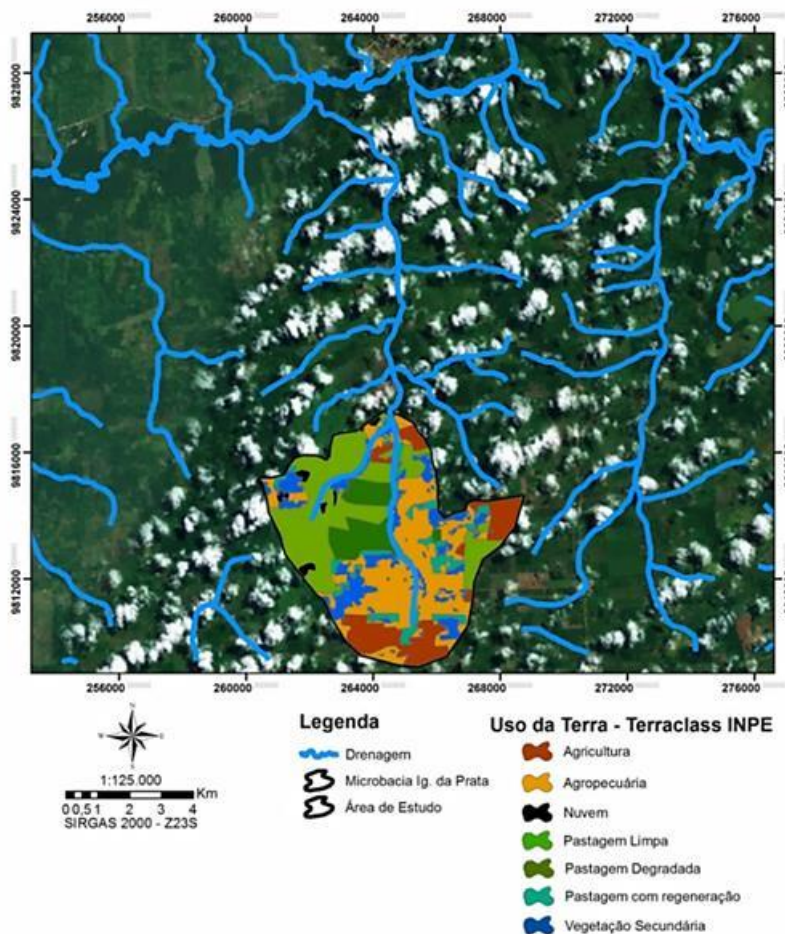


Figura 3 - Mapa de cobertura vegetal e manejo do solo
 Fonte: Santos (2013)

Tabela 2 - Valores de C para distintas classes de uso da terra

Classe de uso	Fator C	Autor
Agricultura anual	0,082	Fujihara (2002)
Agropecuária	0,070	Santos (2013)
Nuvem	0,001	Santos (2013)
Pasto limpo	0,007	Galdino (2012)
Pasto degradado	0,014	Galdino (2012)
Pasto com solo exposto	0,061	Galdino (2012)
Vegetação secundária	0,012	Silva (2009)

Fonte: Santos (2013)

A distribuição do uso da terra na área de estudo, na qual se destacam as pastagens concentradas na parte noroeste da área, observando-se três categorias de pasto que se estendem por aproximadamente 1.570 ha, ou 43% da área total, sendo: Pastagem Limpa (27%), Pastagem Degradada (9%) e Pastagem com regeneração (7%). Também se destacam as feições de Agropecuária com 1.070 ha (29%), assim como a Vegetação Secundária e Agricultura ambas entorno de 475 ha (13%). Com isso, o fator C mapeado para a bacia do igarapé da Prata obteve um valor médio ponderado é igual a 0,031 (Figura 4).

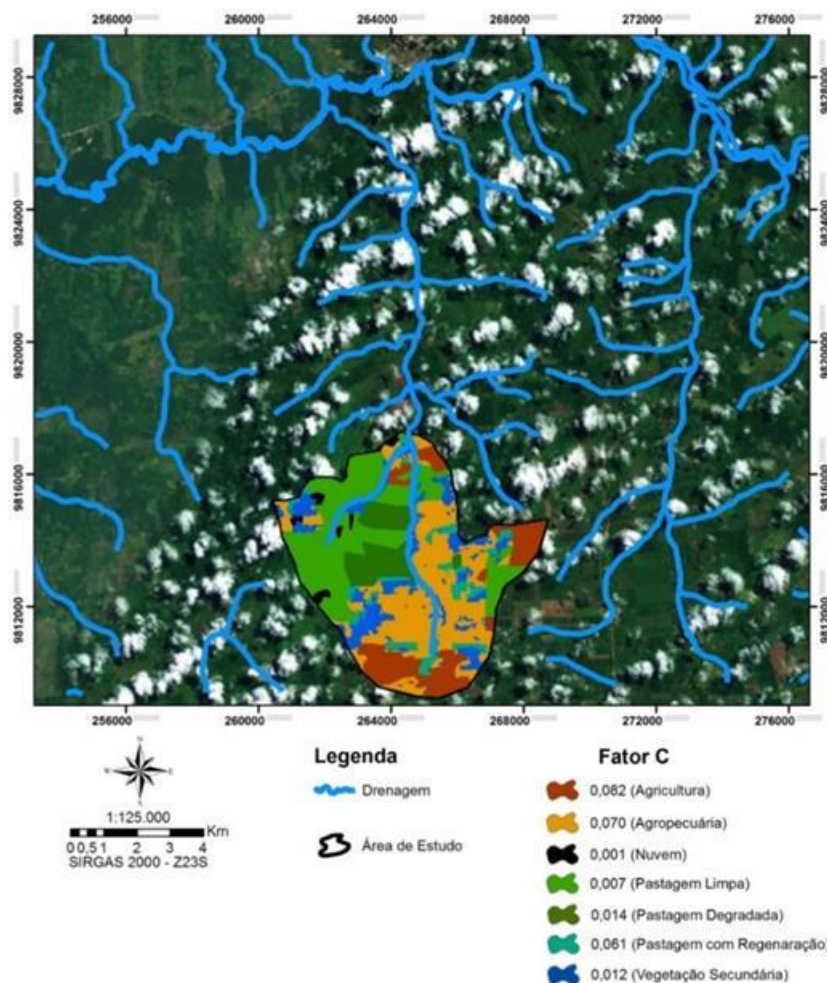


Figura 4 - Mapa do fator C (uso e manejo do solo) da Bacia do Igarapé da Prata
 Fonte: Santos (2013)

2.2.5 Fator P

O fator de práticas conservacionista representa a relação existente entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática conservacionista e as perdas de solo quando plantado morro abaixo (WISCHMEIER & SMITH, 1965). Na Tabela 3, estão alguns valores para diferentes práticas conservacionistas.

Tabela 3 - Valores de P para diferentes práticas conservacionistas

Prática conservacionista	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas, somado de plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2
Terraço	0,1

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (2010)

O fator de práticas conservacionista foi considerado igual a 1, como observado no estudo realizado por Cariello *et al.*, 2014, pois através de observações in loco, a bacia não apresenta nenhuma prática conservacionista de manejo no uso do solo.

2.2.6 Taxa de transporte de sedimentos

A equação universal de perda de solo, USLE, é um modelo que quantifica apenas a erosão total que ocorre na bacia. Em virtude disso, os autores do modelo (WISCHMEIER & SMITH, 1965) sugerem a aplicação de uma taxa de transporte (Sediment Delivery Ratio – SDR) a fim de quantificar os sedimentos produzidos e transportados pelo escoamento superficial até o córrego principal da bacia. Assim, de posse da quantidade de erosão bruta da bacia, estimada pela USLE, é necessário determinar o SDR, que foi estimada através da Equação 7 proposta por Vanoni (1975).

$$SDR = 0,473 \times Ad^{-0,125} \quad (7)$$

Sendo, Ad área de drenagem da bacia (mi^2). Vanoni (1975) foi um dos primeiros autores a relacionar a taxa de entrega com as características geomorfológicas de uma bacia hidrográfica. O autor realizou pesquisas em 300 bacias hidrográficas de regiões semiáridas em todo o mundo para desenvolver um modelo que expressasse a taxa de produção de sedimentos em função da potência da área de drenagem da bacia hidrográfica.

Assim, para se determinar a produção de sedimentos, q_s (Equação 8) a partir da USLE, é necessário multiplicar a perda de solo, A (Equação 1) por SDR (Equação 7).

$$q_s = SDR \times A \quad (8)$$

2.3 Modelo Langbein-Schumm

O modelo de Langbein-Schumm (1958) quantifica a produção de sedimentos a partir de dados de precipitações efetivas anuais em relação à ausência e presença de vegetação (Eq. 9). O fator $10P^{2,3}$ descreve a ação erosiva da precipitação na ausência de vegetação. Já o fator $[1/(1+0,0007P^{3,33})]$ representa a ação protetora da vegetação sobre o solo contra a ação erosiva da chuva. O fator, $10P^{2,3}$, aumenta com a intensidade da precipitação, P , enquanto que o fator $[1/(1+0,0007P^{3,33})]$ diminui com o aumento da precipitação.

$$q_s = 10P^{2,3} \times \left(\frac{1}{1 + 0,0007P^{3,33}} \right) \quad (9)$$

Sendo, q_s a produção de sedimentos anual ($t \text{ mi}^{-2}$) e P a precipitação efetiva anual (Pol).

2.3.1 Precipitação efetiva

Para se determinar a precipitação efetiva (Eq. 10) foi utilizado o método proposto pelo *Soil Conservation Service* (SCS, 1975), atual *National Resources Conservation Service* (NRCS). É um modelo que calcula hidrogramas de cheias e chuva excedente a partir de dados de entrada de precipitação, características do solo e uso da terra. Dessa forma, a precipitação efetiva pode ser calculada pela Equação 10.

$$P_{efetiva} = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad \text{com} \quad P > 0,2S \quad (10)$$

Sendo, P a precipitação total (mm) e S o potencial de infiltração ou a retenção potencial máxima do solo.

A condição estabelecida pela Equação 10 de $P > 0,2S$, é devido ao potencial máximo de retenção da bacia, como, por exemplo, interceptação, evaporação, infiltração e o armazenamento

superficial, pois nem toda precipitação total produzirá escoamento superficial. Logo, se $P < 0,2.S$, não há escoamento superficial. Para se determinar o valor de S , foi utilizada a Equação 11, que relaciona o parâmetro S com o fator CN (Número da Curva), que é um fator referente ao uso e manejo do solo.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (11)$$

O valor de CN foi encontrado baseando-se na análise de classificação dos grupos hidrológicos. Apoiado neste método e em uma calibração feita para o solo da bacia do Igarapé da Prata, o qual foi enquadrado no grupo hidrológico B (solos arenosos, com predominância de uso para pastagem); CN foi determinado igual a igual a 54,74 (Cariello *et al.*, 2014).

2.3.2 Dados de chuva e sedimentos em suspensão da pequena bacia hidrográfica

Para se determinar as precipitações efetivas e a quantidade de sedimentos em suspensão, foram utilizados dados da estação hidrossedimentológica instalada no exutório da bacia (Figura 5). Essa estação está instalada às proximidades da estação fluviométrica Marambaia (Figura 1). A estação é composta de um sensor de precipitação (SL 2000-P); um sensor de turbidez e sedimentos (SL 2000-TS), calibrado com dados de solo da bacia; um *data logger*, que armazena os dados medidos pelos sensores; e um painel solar, cuja função é fornecer energia à estação. Os dados de chuva usados para determinação da precipitação efetiva, a qual serviu tanto para o modelo de Langbein-Schumm (1958), como para a determinação do volume escoado; foram tomados em intervalos de 30 min. O volume escoado foi multiplicado pela concentração de sedimentos em suspensão (CSS), contabilizando a quantidade de sedimentos observados na bacia (Tabela 4).

Tabela 4 – Dados de sedimentos observados da bacia hidrográfica – 2012

Eventos	CSS (mg L ⁻¹)	Q (m ³)	Sed. Obs. (t)
20/01/2012	8602,260	91531,68	787,38500
24/01/2012	2385,520	4576,450	8,179000
28/01/2012	3679,950	10081,37	37,09900
01/02/2012	2137,930	5598,870	11,97000
13/03/2012	11938,23	97849,38	1168,149
21/03/2012	1209,800	12,96000	0,016000
23/03/2012	44182,27	18707,18	826,5250
24/09/2012	11632,82	97849,45	1138,265
Total			3977,588

a) Visão geral da estação

b) Pluviômetro e painel solar



c) Data logger



d) Sensor de turbidez e sedimentos

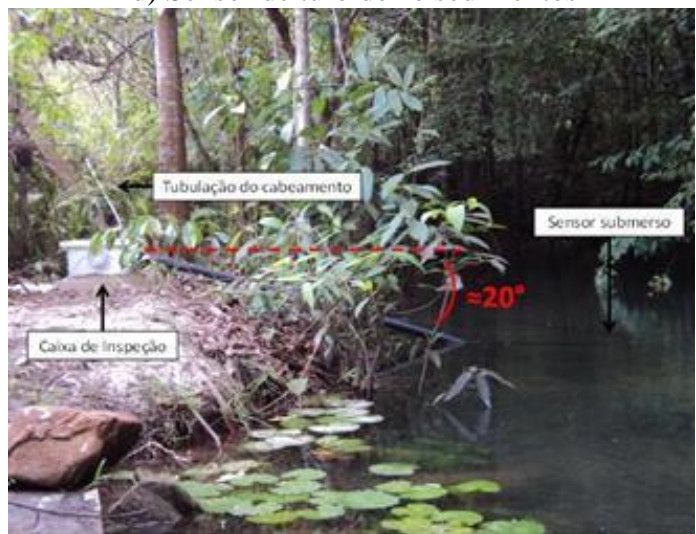


Figura 5 - Estrutura da Estação hidrossedimentológica da bacia do igarapé da Prata

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Parâmetros do modelo USLE

O fator de erosividade da chuva (R) foi estimado através da Equação 3 de Morais *et al.* (1991), a partir de dados de precipitações, médias anuais e médias mensais, da estação de Ourém, controlada pela ANA, distante 15 km da área de estudo, sendo seu uso justificado por Blanco *et al.* (2007). Com isso, a série coletada remete-se aos anos de 1988 a 2011. Os resultados obtidos para o fator R estão representados na Figura 6, bem como os totais anuais de precipitação. De onde, percebe-se que o fator R , como era esperado, varia de acordo com o regime de chuvas da região.

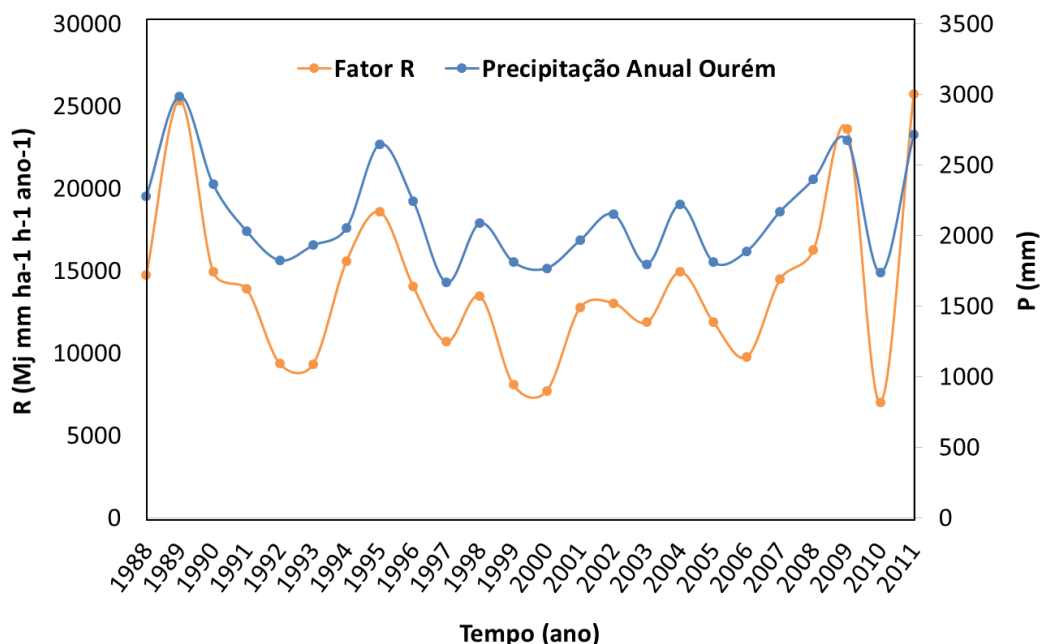


Figura 6 - Variação do fator R e das precipitações no período de 1988-2011

O fator de erodibilidade do solo K foi estimado através das Equações 4 e 5 com auxílio da Tabela 1. Com isso, o valor do fator K e suas variáveis dependentes, para o solo da bacia, estão na Tabela 5.

Tabela 5 - Fator de erodibilidade do solo para a bacia do Igarapé da Prata

Variável	Valor obtido
M	3,87
Permeabilidade do solo, p	2 (moderada e rápida)
Diâmetro médio ponderado das partículas, DMP (mm)	0,56
R	1
K (t.h MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	0,026

Fonte: Cariello *et al.* (2012)

Segundo a classificação de Foster *et al.* (1981), o solo da bacia do Igarapé da Prata é classificado como de baixa a moderada erodibilidade (0,01 – 0,03 t h MJ⁻¹ mm⁻¹).

No caso do fator C, foi considerado seu valor médio, que é igual a 0,031 (SANTOS, 2013). Para o fator de práticas conservacionista P, foi adotado seu valor máximo (P = 1). O fator conjunto de comprimento e grau de declividade, LS, também foi obtido através do trabalho de Santos (2013), sendo seu valor igual a 0,38. Na Tabela 6, são apresentados os parâmetros utilizados para simulação com a USLE, exceto o fator R, que foi determinado anualmente (Figura 6).

Tabela 6 - Fatores da USLE

Fator	Valor
Erodibilidade do solo (K) (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	0,026

Conjunto de Comprimento e grau de declividade (LS)	0,380
Uso e manejo do solo (C)	0,310
Práticas conservacionistas (P)	1,000

A USLE simula apenas a perda de solo, contabilizando, o que foi erodido e não o que foi transportado até o corpo hídrico. Para determinação do que chega ao corpo hídrico, ou seja, a produção de sedimentos (Equação 8), é necessário associar ao SDR (Equação 7), que traduz a diminuição da produção bruta de sedimentos. Assim, com o auxílio da Equação 7, aplicada a bacia de estudo, o valor de DSR é igual a 0,339, que foi aplicado à Equação 8, para obter a produção de sedimento q_s (Figura 7). Sendo q_s igual a 34% de A , sendo esse o percentual de sedimentos que, chega ao igarapé da Prata, o qual pode sedimentar no igarapé ou ser transportado até o Rio Guamá, dependendo da hidrodinâmica fluvial.

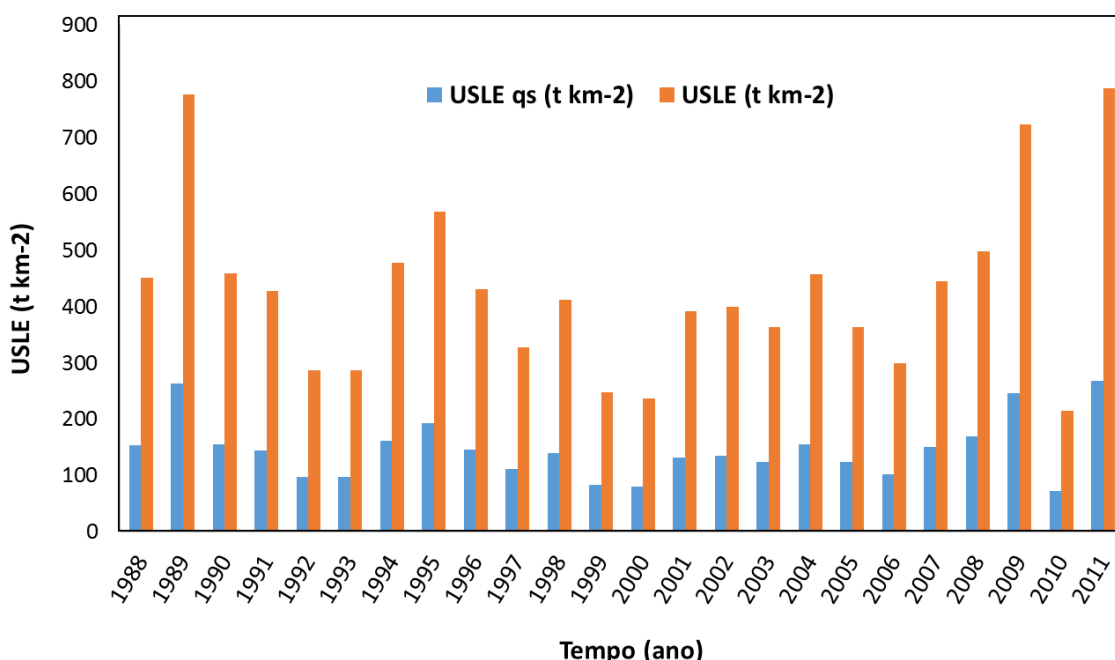


Figura 7 - Erosão bruta e produção de sedimentos via USLE no período de 1988-2011

3.2 Parâmetros do modelo de Langbein-Schumm

A estimativa da produção de sedimentos via modelo de Langbein-Schumm, foi realizada a partir dos dados de chuva dos anos de 2012 e 2013 da estação instalada no exutório da bacia. Esses dados foram aplicados à Equação 10 para determinação da precipitação efetiva geradora do escoamento superficial. Com isso, as precipitações efetivas encontradas foram divididas pela precipitação total anual, da mesma estação, obtendo-se um valor percentual de 5,38%. Sendo esse valor, multiplicado pelo valor total precipitado de cada ano para os dados de precipitação da estação de Ourém. Assim, obteve-se uma série maior de chuva, pois a estação do exutório da bacia apresenta apenas dois anos de registros de chuvas. Na Tabela 7, estão as precipitações anuais e efetivas anuais da bacia de estudo. Estas últimas estimadas com o percentual anteriormente analisado.

Tabela 7 - Precipitação anual e efetiva da bacia

Ano	Precipitação Anual	Precipitação Efetiva Anual
	(mm)	
1988	2278,90	122,71
1989	2988,93	160,95
1990	2365,90	127,40
1991	2034,00	109,53
1992	1824,90	98,270
1993	1931,90	104,03
1994	2054,80	110,65
1995	2648,60	142,62
1996	2247,00	121,00
1997	1668,40	89,840
1998	2088,90	112,48
1999	1813,50	97,650
2000	1769,70	95,290
2001	1967,10	105,92
2002	2154,00	115,99
2003	1797,90	96,810
2004	2219,90	119,54
2005	1812,80	97,620
2006	1891,00	101,83
2007	2172,40	116,98
2008	2400,89	129,28
2009	2678,10	144,21
2010	1738,00	93,590
2011	2715,90	146,25
Média	2135,98	115,02

3.3 Análise comparativa entre os modelos e dados observados

Analisando os resultados obtidos para os modelos (Tabela 8), observa-se que a produção de sedimento via USLE foi mais elevada, com média de 146,08 ($t\ km^{-2}$). Resultado semelhante ao que foi encontrado por Guevara-Perez e Márquez (2007), que analisaram a bacia do Rio Caroni, na Venezuela. Entretanto, a produção de sedimento via USLE foi mais elevada devido à bacia de Capitão Poço ter uma área de drenagem (32,7 km^2) inferior ao da bacia do Rio Caroni (92.169,08 km^2). Conforme Ouyang e Bartholic (1997), bacias com grandes áreas de drenagem e comprimento de rampa muito longo, têm uma relação de baixa remoção de sedimentos. Isso ocorre, pois bacias muito extensas oferecem maior chance de apresentar barreiras, por exemplo, depressões, que impedem as partículas erodidas de chegarem ao corpo hídrico.

Tabela 8 - Produção de sedimentos estimados pelos modelos USLE e Langein-Schumm

Ano	USLE	Langbein-Schumm
1988	153,14	127,80
1989	263,45	203,42
1990	155,52	137,16
1991	144,86	102,18
1992	97,28	81,68
1993	97,11	91,97
1994	161,98	104,30
1995	193,13	167,79
1996	146,06	124,39
1997	111,17	67,50
1998	139,90	107,80
1999	83,99	80,61
2000	80,08	76,56
2001	132,63	95,45
2002	135,61	114,56
2003	123,55	79,16
2004	155,30	121,51
2005	123,51	80,55
2006	101,65	87,99
2007	150,82	116,50
2008	169,17	140,95
2009	245,64	170,96
2010	72,990	73,670
2011	267,39	175,01
Média	146,08	113,73

Observa-se também, que o modelo de Langbein-Schumm teve uma média de produção de sedimentos igual a 113,73 ($t\ km^{-2}$), sendo menor em relação ao valor estimado pela USLE. Os resultados da Tabela 8 foram determinados com os dados da estação de Ourém, pois a estação pluviométrica e hidrossedimentológica da bacia analisada tem pouco tempo de operação. Mesmo assim, foi realizada uma análise comparativa com as medidas da estação para o ano de 2012. Nesse caso, a produção de sedimentos observada foi igual a 121,64 ($t\ km^{-2}$), calculada com os dados da Tabela 4; a estimativa via USLE foi igual a 194,47 ($t\ km^{-2}$); e via Langbein-Schumm igual a 142,47 ($t\ km^{-2}$). Para as duas últimas estimativas, foi considerada a precipitação anual registrada pela estação, igual a 2135,65 mm. A comparação revelou que o modelo de Langbein-Schumm apresentou melhor desempenho comparado à USLE. Isso pode ser justificado pela presença de vegetação, que no caso da bacia de estudo, pode ser percebida pela mata ciliar razoavelmente preservada (Figura 8). Logo, a produção de sedimentos gerada pela chuva e transportada pelo escoamento superficial tende a diminuir, como tenta prever o modelo de Langbein-Schumm.



Figura 8 - Imagem de satélite da bacia do igarapé da Prata mostrando matas ciliares
Fonte: Google Earth (2013)

4. CONCLUSÕES

A USLE superestimou a produção de sedimentos quando comparada à produção de sedimentos estimada pelo modelo de Langbein-Schumm para os 24 anos de dados de chuva observados, mas os resultados são comparáveis. No caso da comparação dos valores estimados pelo modelos com a produção de sedimentos observada para o ano de 2012, o modelo de Langbein-Schumm aproximou-se mais da realidade da pequena bacia hidrográfica. Essa maior aproximação pode ser explicada pela formulação do modelo levar em consideração a ausência e a presença de vegetação, que é o caso da bacia do igarapé da Prata, a qual apesar de ser dotada, principalmente, de áreas de pastagem e agricultura, possui áreas de floresta preservada. No caso da USLE, não se tem como contabilizar a presença de florestas ou de outras vegetações, apenas usos, ocupações do solo; e práticas conservacionistas provenientes de áreas utilizadas para agricultura e agropecuária. Assim, para bacias com áreas preservadas de floresta ou outra vegetação, o modelo de Langbein-Schumm pode ser levado em consideração para a estimativa de produção de sedimentos. Entretanto, é necessário continuar a observação de dados para se comprovar melhor o desempenho do modelo.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro a este trabalho através de uma bolsa de mestrado e uma bolsa PNPd. Agradece-se também à FASPESPA – Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará pelo apoio financeiro a este trabalho através do projeto No 122/2009 e de uma bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. São Paulo: Ícone, Ed.7, p. 355, 2010.

BLANCO, C. J. C.; SECRETAN, Y.; FAVRE, A. *Análise, Aplicação e Transposição de um Modelo Chuva-Vazão para Simulação de Curvas de Permanência de Pequenas Bacias da Amazônia. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 12, p.205-216, 2007.*

CARIELLO, B. L.; BLANCO, C. J. C.; GOMIDE, I. S.; BARBOSA, A. J. S.; SANTOS, D. B. O. *Analysis of the Modified Universal Soil Loss Equation to estimate the sediment yield in a small Amazon catchment. SYLWAN, vol. 158, p. 347-359, 2014.*

DENARDIN, J. E. *Erodibilidade de Solo Estimada por Meio de Parâmetros Físicos e Químicos. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 1990.*

DIODATO, N.; VENITE, J.; BELLOCCHI, G.; GUERRIERO, L.; SORIANO, M.; FIORIOLLO, F.; REVELLINO, P.; GUADAGNO, F. M. *Estimating long-term Sediment Export using a Seasonal Rainfall-dependent Hydrological Model in the Glonn River. Geomorphology, vol. 228, p. 628-636, 2015.*

FLACKE, K. W.; AUERSWALD, F. K.; NEUFANG, M. L. *Combining a Modified Universal Soil Loss Equation with a Digital Terrain Model for Computing High Resolution Maps of Soil Loss Resulting from Rain Wash. CATENA, Vol. 17, p. 383-397, 1990.*

FOSTER, G. R.; MCCOOL, D.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. *Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Journal of Soil and Water Conservation Society of America, v.36, n.6, p. 355-539, 1981.*

FUJIHARA, A. K. *Predição de Erosão e Capacidade de Uso do Solo numa Microbacia do Oeste Paulista com Suporte do Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, p. 136, 2002.*

GALDINO, S. *Estimativa da Perda de Terra sob Pastagens Cultivadas em Solos Arenosos da Bacia Hidrográfica do Alto Taquari - MS/MT. Tese de Doutorado. UNICAMP/FEAGRI, Campinas, p. 115, 2012.*

GUEVARA-PÉREZ, E. & MÁRQUEZ, A. M. *Comparison of three models to predict annual sediment yield in Caroni River Basin, Venezuela. Journal of Urban and Environmental Engineering, v. 1, n. 1, p. 10-17, 2007.*

KINSELL, P. I. A. *The USLE-M and Modeling Erosion With in Catchments. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, selected papers from the 10th international soil conservation organization meeting held, p. 924-928, 1999.*

LANGEIN, W. B.; SCHUMM, S. A. *Yield of Sediment in Relation to Mean Annual Precipitation. Trans. Am. Geophys. Union, vol. 39, n°6, p. 1076-1084, 1958.*

LEVY, M. C. T. C. *Avaliação de Cenários da Produção Agrícola Visando a Sustentabilidade do Uso das Terras de Piracicaba (SP). Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 104 p, 1995.*

LIMA, S. R. M.; BLANCO, C. J. C.; GOMIDE, I. S.; BARBOSA, A. J. S.; GONCALVES, M. F. *Análise do Fator de Erosividade da Chuva para uma Pequena Bacia Hidrográfica da Amazônia. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 6, p. 184-191, 2014.*

LORD, M. L.; GERMANOSKI, D.; ALLMENDINGER, N. E. *Fluvial Geomorphology: Monitoring Stream Systems in Response to a Changing Environment. Geological Society of America, p. 69-103, 2009.*

MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURU, Y. E. *Análise Histórica das Transformações da Floresta Amazônica em Áreas Agrícolas na Bacia do Rio SUIA-MIÇU. Sociedade & Natureza, Uberlândia, vol. 20(1): 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v20n1/a01v20n1.pdf>> Acesso em: 13/07/2014.*

MARTINS, P. F. S. *Propriedades de Solos sob Floresta Natural e sua Alteração em Consequência do Desmatamento e Cultivo, na Amazônia Oriental. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, p. 233, 1987.*

MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T. M. C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S.; BOEL, E.; DURIGON, V. *Índice EI30 de Chuva e sua Relação com o Coeficiente de Chuva do Sudoeste de Mato Grosso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.15, p 339 – 344, 1991.*

OUYANG, D.; BARTHOLIC, J. *Predicting Sediment Delivery Ratio in Saginaw bay Watershed. Proceedings of the 22nd National Association of Environmental Professionals Conference, p.19-23, 1997.*

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R., WESSIES, G. A., MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook, vol. 703, USDA, Washington, 1997.*

SANTOS, D. B. O. *Aplicação da RUSLE a uma Pequena Bacia Hidrográfica da Amazônia. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém-PA, p. 71, 2013.*

SCS - Soil Conservation Service. *U. S. Dep. of Agric. National Engineering Handbook – Hydrology. Section 4, Supplement A, “The Hydrology Guide”, 1975.*

SILVA, A. M. *Rainfall Erosivity Map for Brazil. Catena. n.57. p. 251-259, 2004.*

SILVA, M. A. *Modelagem Espacial da Erosão Hídrica no Vale do Rio Doce, Região Centro-Oeste do Estado de Minas Gerais. Dissertação de mestrado. Lavras: Universidade Federal de Lavras, Brasil, 2009.*

SILVA, R. M. da; SANTOS, C. A. G. *Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2008. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12_n5/v12_n05a_13.pdf > Acesso em: 13/07/ 2014.*

VANONI, V. A. *Sedimentation Engineering. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, N° 54, 1975.*

WILLIAMS, J. R. *Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources. U.S. Dep. Agr. ARS-S40, p. 244-252, 1975.*

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agriculture Handbook no. 282, USDA, Washington DC, USA, 1965.*

WISCHMEIER, W. H; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. *A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites. Journal of Soil and Water Conservation, vol. 26, p. 189-193, 1971.*