

# VALORAÇÃO AMBIENTAL DO EFEITO EXTERNO DA EROSIÃO EM DUAS SUB-BACIAS COM DIFERENTES PERCENTUAIS DE MATA ATLÂNTICA

## VALUATION OF ENVIRONMENTAL EFFECTS OF EROSION IN EXTERNAL TWO SUB-WATERSHEDS WITH DIFFERENT PERCENTAGES OF FOREST ATLANTIC

Milton Marques FERNANDES<sup>1</sup>; Daniel Fonseca de CARVALHO<sup>2</sup>; Marcos Bacis CEDDIA<sup>3</sup>; Márcio Rocha FRANCELINO<sup>4</sup>

1. Professor, Doutor, Departamento Ciências Florestais, Universidade Federal do Sergipe – UFS, São Cristóvão, SE, Brasil. [miltonmf@gmail.com](mailto:miltonmf@gmail.com); 2. Professor, Doutor, Departamento de Engenharia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil; 3. Professor, Doutor, Departamento de Solos – UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil; 4. Professor, Doutor, Departamento de Silvicultura – UFRRJ, Seropédica, RJ, Brasil.

**RESUMO:** A equação universal de perda de solo (USLE) vem sendo utilizada para valorar os serviços ambientais de práticas conservacionistas e uso do solo em sub-bacias na quantificação da erosão e aporte de sedimentos. Neste sentido este trabalho objetivou comparar os resultados de perda de solo e de valoração ambiental obtido a partir da USLE com os valores mensurados no exutório de duas sub-bacias. A perda total de solo foi calculada utilizando técnicas de geoprocessamento e transformada em aporte de sedimentos e comparado ao aporte de sedimento observado no exutório da sub-bacias. A produção de sedimentos calculada e observada foi valorada considerando o custo de remoção de sedimentos do sistema de captação de água das microbacias. De forma geral, o modelo utilizado não apresentou bom ajuste para a quantificação do aporte de sedimentos nas sub-bacias Glória e Palmital, superestimando os valores medidos nas respectivas áreas. De acordo com a valoração ambiental pelo custo de retirada de sedimentos observou-se que a microbacia com maior cobertura florestal reduz o aporte de sedimentos e gera mais serviços ambientais reduzindo os custos de retirada de sedimentos na captação de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Perda de solo. Cobertura Florestal. Tratamento de água.

### INTRODUÇÃO

Para se realizar a valoração ambiental dos efeitos do processo erosivo é necessária uma compreensão prévia dos impactos ambientais causados pelo agente degradador. De modo geral, os efeitos da erosão classificados como externos são aqueles que incidem além dos limites de uma propriedade rural ou bacia hidrográfica, como por exemplo, o assoreamento dos recursos hídricos (RODRIGUES et al, 2005).

O processo de assoreamento reduz a disponibilidade de recursos hídricos para outros agentes econômicos que compartilham o recurso ambiental fora da bacia. Assim, o processo de erosão causa, indiretamente, o aumento no custo de geração de energia elétrica e no custo da captação de água para o abastecimento urbano e pode reduzir a disponibilidade de recursos hídricos para regiões fora da bacia que necessitam de projetos de irrigação (RODRIGUES, 2001).

Um dos métodos utilizados na valoração econômica do processo erosivo é o método dose-resposta. Esse método procura valorar a relação existente entre um impacto ambiental (dose) sobre o nível de produção ou bem-estar final (resposta). De acordo com Maia et al. (2004), a construção da função dose–resposta envolve duas etapas básicas: a

primeira exige a elaboração de uma função física dos danos, relacionando a dose de poluição ou degradação à resposta do ativo ambiental poluído ou degradado na produção; e a segunda corresponde a formulação de um modelo econômico que mensure o impacto financeiro destas alterações no processo produtivo.

Na valoração dos efeitos externos da erosão, é necessário medir ou estimar a perda de solo ou a deposição de sedimentos em corpos hídricos. Embora os dados medidos sejam mais adequados para a valoração, nem sempre os mesmos estão disponíveis para uma determinada área, sendo necessário o uso de modelos de predição de erosão hídrica. Dentre eles, o mais utilizado é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE – *Unviversal Soil Loss Equation*) (WISCHMEIER; SMITH, 1978), desenvolvido para predição de erosão em sulcos e entre sulcos em encostas, podendo ser facilmente integrado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) (FISTIKOGLU; HARMANCIOGLU, 2002).

Apesar de sua simplicidade e facilidade de implementação em SIG, a USLE apresenta uma série de limitações que devem ser consideradas, principalmente quando associada a estudos de erosão em bacias hidrográficas. Wischmeier e Smith (1978) e Morgan (2005) alertam para o fato de que a

USLE não estima a deposição de material e/ou incorpora a taxa de saída de sedimentos. Assim, o seu uso para predição de erosão em bacias hidrográficas pode implicar em estimativas de valores incorretos. Tendo em vista que em estudos de valoração ambiental, a quantificação do sedimento é fundamental para a aplicação do método dose-resposta, o uso da USLE pode comprometer a confiabilidade do valor do serviço ambiental.

O programa de serviços ambientais denominado Produtor de Águas (ANA, 2003) se baseia nas alterações do uso e cobertura do solo e propõe incentivos financeiros proporcionais aos benefícios associados à redução do processo erosivo como resultado da implementação de projetos de conservação do solo e água. Neste programa, a USLE é adotada, de forma simplificada, apoiando-se nos fatores antrópicos C (uso e manejo do solo) e P (práticas conservacionistas) (CHAVES et al., 2004; CHAVES, 2010).

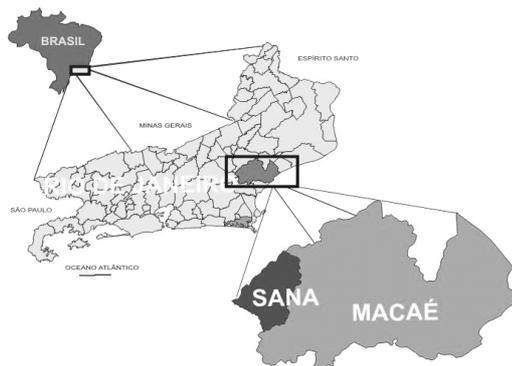
Considerando a importância da USLE na quantificação da produção de sedimentos e a valoração dos serviços ambientais em bacias

hidrográficas de diferentes usos do solo sobre a produção de sedimentos, este trabalho teve como objetivo comparar os resultados da valoração ambiental em duas sub-bacias, considerando as perdas de solo estimadas pelo modelo USLE e os valores medidos no exutório das bacias.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização e caracterização ambiental da área

O presente estudo foi desenvolvido na área de proteção ambiental (APA) do rio Sana, localizada no município de Macaé-RJ (Figura 1), numa região de Floresta Ombrófila Densa, que originalmente revestia, de forma contínua, quase toda a área da Serra do Mar, caracterizando-se como Mata Atlântica. Segundo a classificação de Köppen, a região se enquadra na classe Kw, com clima quente, semi-úmido, com estação seca bem definida e com amplitude térmica de 6°C a 35°C. A precipitação média anual é de 2.128 mm, sendo o período de maior precipitação de outubro a março e o período de menor precipitação de julho a agosto (JERONYMO; SILVA, 2011).



**Figura 1:** Localização da área de estudo na APA do rio Sana-Macaé-RJ (Fernandes, 2009).

Na APA do rio Sana foram adotadas duas sub-bacias, denominadas Palmital e Glória, que, com exceção da área e perímetro, apresentam características fisiográficas relativamente similares. A principal diferença entre elas está no uso e

cobertura do solo, sendo a primeira coberta predominantemente por Mata Atlântica (61,6%), enquanto a segunda encontra-se ocupada predominantemente por pastagem (35,8%) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Uso e cobertura do solo e características fisiográficas das sub-bacias.

Sub bacia	Uso e cobertura do Solo					
	Agricultura	Antrópico	Mata	Pastagem	Regeneração	Solo exposto
Palmital	0,2	0,2	61,6	26,5	11,2	0,3
Glória	1,0	2,1	35,8	51,0	9,2	0,9
Sub bacia	Características fisiográficas das microbacias					
	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	kc <sup>1</sup>	kf <sup>2</sup>	Dd <sup>3</sup> (km km <sup>-2</sup> )	Declividade média
Palmital	1.742.512	6.315	1,35	0,28	3,69	25,6 %
Glória	3.196.394	8.608	1,36	0,37	2,49	25,0 %

<sup>1</sup> kc: coeficiente de compacidade; <sup>2</sup> kf: fator de forma; <sup>3</sup> Dd: densidade de drenagem (Villela & Matos, 1975)

### Estimativa dos parâmetros da Equação de Universal de Perdas de Solo (USLE)

A estimativa da perda mensal e anual de solo foi realizada pela USLE, apresentada conforme equação 1:

$$A = R K L S C P \quad (\text{Eq. 01})$$

em que:

- A – perda média anual de solo ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );
- R – fator erosividade ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );
- K – fator erodibilidade ( $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ );
- L – fator comprimento total do declive (m);
- S – fator grau de declive (%);
- C – fator uso e manejo do solo;
- P – fator práticas conservacionistas;

Para o cálculo do valor anual e mensal de perda de solo, cada fator do modelo foi trabalhado isoladamente, sendo posteriormente, realizada a multiplicação dos mesmos utilizando o software Arcgis 10 (ESRI).

O fator erosividade (R) foi estimado a partir de dados de precipitação média da área de estudo, empregando o modelo proposto por Montebeller et al. (2005), para a região de Macaé-RJ:

$$EI_{30} = 4,2690 p - 14,835 \quad (\text{Eq. 02})$$

em que “p” é a precipitação média mensal, em mm. O valor de R anual foi obtido somando os valores mensais obtidos pela equação 2. Os dados de precipitação utilizados no cálculo de R foram obtidos no período de janeiro de 2008 a dezembro de 2008, a partir das leituras de três pluviômetros instalados em pontos equidistantes nas sub - bacias localizadas na latitude Sul  $22^{\circ} 24' 02''$  e longitude Oeste  $42^{\circ} 11' 00''$ .

Apesar de constituir uma propriedade do solo, resultante da interação entre suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas (AMORIM et al., 2009), do fator erodibilidade do solo (K) neste estudo foi obtido por método indireto, tendo em vista a extensão e dificuldade de obtenção de dados de campo por causa do relevo declivoso das sub-bacias. Assim, utilizou-se o método preconizado por Bertoni e Lombardi Neto (1999), aplicando-se a equação de Bouyoucos (equação 3):

$$K = \left[ \frac{(\% \text{Areia} + \% \text{Silte})}{\frac{(\% \text{Argila})}{100}} \right] \quad (\text{Eq. 03})$$

em que % areia, % silte e % argila representaram as porcentagens das respectivas frações para cada subhorizonte. Assim, foi calculado o fator K de cada

classe de solo em cada sub – bacia por meio da média aritmética entre os valores dos subhorizontes de cada perfil representativo das unidades de mapeamento (A e B, ou C quando o solo não apresentava o horizonte B). Após as coletas de amostras de solo, analisou-se em laboratório e posteriormente procedeu o mapa de solo para cada sub – bacia. Em cada classe de solo na respectiva sub – bacia cada pixel recebeu valor numérico correspondente a erodibilidade do solo. Após a classificação de cada classe de solo quanto à sua erodibilidade (K), foi espacializado, para cada microbacia, um plano de informação da erodibilidade do solo no ARGIS 9.3.

O fator LS (comprimento de rampa e declividade do terreno) reflete os efeitos da topografia nas perdas de solo causadas pela erosão hídrica. Mais especificamente, L é definido como a distância do ponto de origem do fluxo (divisor de águas no caso de bacias hidrográficas) ao ponto onde, por diminuição do declive, ocorre a deposição ou o fluxo ocorre em canais bem definidos (WISCHMEIER; SMITH, 1978), enquanto S representa a influência do gradiente de declividade nas perdas de solo. Para o cálculo do fator LS foi gerado o Modelo de Elevação Digital (MED) com resolução de 10 m (equação 4). A partir do MED, obteve-se o mapa de declividade e o comprimento de rampa foi determinado de acordo com o tamanho do pixel, fixado em 10 m. O fator comprimento de rampa (L) foi obtido através da equação 04 (RENARD et al., 1997; BHATTARAI; DUTRA, 2007; KOULI et al., 2009).

$$L = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad (\text{Eq. 04})$$

em que  $\lambda$  é o tamanho da célula, que para o estudo adotou-se 10; e m é o expoente relacionado à taxa  $\beta$  da erosão em sulcos (causada pelo fluxo) e da erosão em entre-sulcos (causada, principalmente, pelo impacto da gota de chuva), calculado pelas seguintes equações (FOSTER et al., 1977; MCCOOL et al., 1989):

$$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \quad (\text{Eq. 05})$$

$$\beta = \left[ \frac{\left( \frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right)}{3 \cdot (\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56} \right] \quad (\text{Eq. 06})$$

em que  $\beta$  é o quociente entre a erosão em sulcos e a erosão entre sulcos e  $\theta$  (graus) é o ângulo de declive da pendente.

O fator declividade de rampa (S) foi determinado segundo MCCOOL et al. (1989), por meio das equações 07 e 08.

$$S = 10,8 \times \sin\theta + 0,03 \text{ (para declives } < 9\%) \text{ (Eq. 07)}$$

$$S = 16,8 \times \sin\theta - 0,50 \text{ (para declives } \geq 9\%) \text{ (Eq. 08)}$$

Para obtenção dos fatores C e P ocorrentes em cada sub - bacia utilizou-se um mapa de uso do solo gerado a partir de uma imagem de satélite do sensor Ikonos II, obtida no mês de agosto de 2008 e que apresentavam resolução espacial de 1m e datum SAD 69. Foi gerado um plano de informação do fator CP para cada classe de uso do solo que foram transformados em valor de CP tabelado de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999) no ARGIS 9.3.

Após a implementação de cada plano de informação, correspondente aos fatores da USLE, os arquivos em formato shapefile foram convertidos para formato grid, com pixel de 10 m de resolução. Em formato grid, os planos foram processados no módulo Álgebra de mapas, utilizando a equação 01. Para cada sub - bacia, os mapas de perda anual de solos foram gerados em escala 1:50.000.

A fim de validar os resultados, os valores da perda anual e mensal (erosão atual) depois de transformados em aporte de sedimento (AS), conforme equação 9, foram comparados aos dados de aporte de sedimentos quantificados no exutório das sub - bacias.

$$AS = \frac{Y}{E} \quad \text{(Eq. 09)}$$

em que Y é a produção de sedimento no exutório da microbacia, e E a erosão total da microbacia. Nas duas sub - bacias, os sedimentos foram quantificados nos seus exutórios a partir da medição da vazão que foi realizada por meio de um vertedor retangular, com leituras realizadas diariamente no período de janeiro a dezembro de 2008. A equação utilizada no cálculo de vazão é apresentada abaixo (AZEVEDO NETO, 1973), para vertedores com duas contrações laterais:

$$Q = 1,838(L - 0,2H)H^{1,5} \quad \text{(Eq. 10)}$$

em que:

Q = vazão, em  $m^3 s^{-1}$ ;

L = largura do vertedor, em m; e

H = lâmina d'água acima da soleira, em m.

A produção de sedimentos foi calculada de acordo com o modelo descrito por Ranzini e Lima (2002):

$$Fn = D Cn \frac{0,001}{t} \quad \text{(Eq. 11)}$$

em que:

Fn = fluxo de sedimentos, em  $kg ha^{-1} tempo^{-1}$  (diário, mensal, anual ...);

D = valores de deflúvio, em mm;

Cn = concentração de sedimentos na água do deflúvio, em  $mg L^{-1}$ ;

t = tempo decorrido (diário, mensal, anual)

A validação da USLE foi realizada utilizando três indicadores de acurácia: (a) o gráfico de dispersão entre os valores de aporte de sedimentos mensais observados ( $Y_o$ ) e calculados ( $Y_c$ ) no período de validação; (b) o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os valores mensais de ( $Y_o$ ) e ( $Y_c$ ) no período de validação; (c) o coeficiente de eficiência de NASH e SUTCLIFFE (1970) entre os valores mensais de ( $Y_o$ ) e ( $Y_c$ ) no período de validação. Este último é mais restritivo que o coeficiente de determinação (KRAUSE et al., 2005), sendo dado pela seguinte equação:

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Y_o - Y_c)^2}{\sum_{t=1}^T (Y_o - \bar{Y}_o)^2} \quad \text{(Eq.12)}$$

em que  $Y_o(t)$  é o aporte de sedimento mensal observado;  $Y_c(t)$  é o aporte de sedimento mensal calculado pela USLE;  $\bar{Y}_o$  é o aporte de sedimento médio, observado nos meses analisados; e T é o número total de meses analisados. O coeficiente E varia de  $-\infty$  a 1, e o ajuste será melhor à medida que se aproxima de 1,0 (NASH; SUTCLIFFE, 1970), sendo considerado satisfatório quando  $E > 0,5$  (MORIASI et al., 2007).

#### Valoração ambiental da erosão do solo

Para a valoração econômica do processo erosivo foi utilizado o método dose - reposta dos efeitos externos da erosão hídrica de acordo conforme Rodrigues et al(2005), com base nos valores de aporte de sedimentos calculados pela USLE (Eq. 9) e no aporte de sedimentos observados, obtido diretamente nos exutórios das sub - bacias (Eq. 11).

$$VAEU = 8,97 Fn \quad \text{(Eq. 13)}$$

$$VAEM = 8,97 AS \quad \text{(Eq. 14)}$$

em que:

VAEU = valoração econômica do processo erosivo estimado pela USLE, em  $R\$ ha^{-1} ano^{-1}$ ;

VAEM = valoração econômica do processo erosivo medido na bacia, em  $R\$ ha^{-1} ano^{-1}$ ;

8,97 = valor em R\$ correspondente ao custo de remoção de uma tonelada de sedimentos

(Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro - CEDAE).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Perdas de solo pela USLE

A Tabela 2 apresenta o resultado da perda de solo anual estimada pela USLE para área de estudo. Na sub - bacia Palmital observa-se que 87,71% de sua área apresentam perda de solo na faixa de 3-5 ton. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> que representa baixo potencial de erosão, enquanto na sub - bacia Gloria, 77,87% da sua área apresenta perda na faixa de 5 –

10 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. As demais classes de perda de solo apresentaram baixos percentuais (Tabela 2).

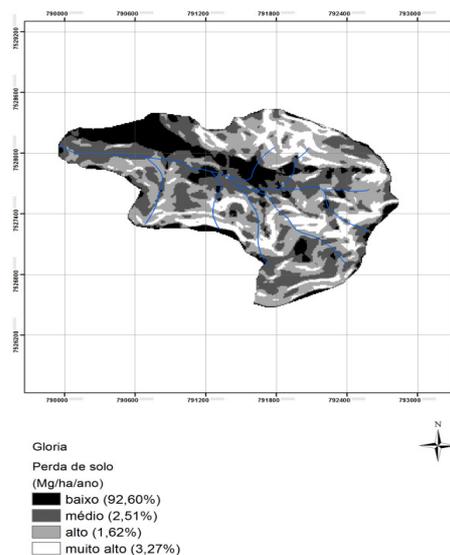
Segundo a classificação de erosão hídrica pela FAO (1967) observa-se 92,60% da sub – bacia Gloria apresenta baixa perda de solo (0-10 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e respectivamente médio de 2,51% (10 - 50 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), alto de 1,62% (50-200 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e muito alto de 3,27% (>200 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Na sub – bacia Palmital apresenta 94,18% com baixa perda de solo (0-10 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e respectivamente médio de 3,14% (10 - 50 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), alto de 1,72% (50-200 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e muito alto de 0,96% (>200 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (Figuras 2 e 3).

**Tabela 2** - Perda de Solo das sub - bacias Gloria e Palmital.

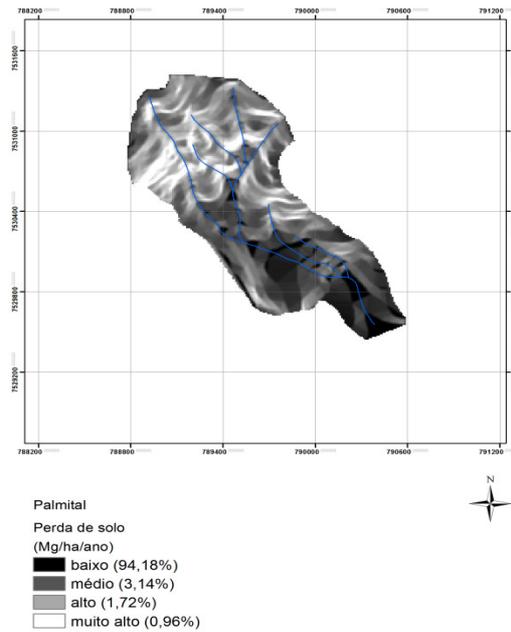
Classe de perda de solo (Mg. ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Gloria		Palmital	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
0-1	0,00	0,00	0,00	0,00
1-3	0,00	0,00	0,00	0,00
3-5	47,12	14,73	152,62	87,71
5-10	249,20	77,87	11,25	6,46
10-50	8,03	2,51	5,46	3,14
50-200	5,18	1,62	2,99	1,73
>200	10,46	3,27	1,67	0,96

De acordo com Fernandes (2009), dentre os parâmetros da USLE o CP é o que mais influencia a perda de solo nas sub-bacias estudadas. Os valores de CP para pastagem e floresta são respectivamente 0,02 e 0,0002 sendo a cobertura vegetal predominante na sub-bacia Gloria a pastagem e na Palmital é a Mata Atlântica (Tabela 1). Sendo a USLE uma equação linear, onde os parâmetros são multiplicados entre si, os valores de CP apresentam expressiva contribuição na obtenção de baixo potencial erosivo nas sub-bacias.

Tavares et al. (2003) observaram em uma bacia com predomínio de pastagem e floresta, que 44% da sua área apresentava valores de perda de solo na faixa de 0 - 8 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e, em 30% da área, valores superiores a 80 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Paranhos Filho et al. (2003), avaliando a perda de solo em uma bacia com ocupação de 33% de floresta e 63% de agricultura, encontraram uma perda média de 8,65 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Mapa de perda de solo na sub - bacia Gloria.



**Figura 3.** Mapa de perda de solo na sub - bacia Palmital.

As perdas médias de solo nas sub - bacias Gloria e Palmital, estimadas pela USLE, foram de 5,2385 Mg. ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 2,7254 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses valores são considerados baixos quando comparados ao estimado por Silva et al. (2005), em uma sub-bacia coberta por Mata Atlântica (5,10 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Entretanto, Martins et al. (2010) observaram valores, em média, de 0,04 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em área de Mata Atlântica, e de 25,55 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em área com solo preparado convencionalmente e mantido descoberto.

**Aporte de sedimentos medida no exutório das microbacias**

O aporte de sedimentos medido no exutório das sub - bacias Glória e Palmital no período anual foram de 0,4659 Mg.ha<sup>-1</sup> e 0,110 Mg. ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em relação ao calculado pela USLE observa-se que o aporte de sedimento anual na sub - bacia Gloria foi de 5,2385 e na sub - bacia Palmital de 2,7254 Mg. ha<sup>-1</sup>. O valor calculado foi 11,24 vezes maior que o observado na sub - bacia Gloria e na sub - bacia Palmital 24,77 vezes maior (Tabela 3).

**Tabela 3.** Produção de sedimentos média mensal calculado pela USLE e observado no exutório das sub - bacias Gloria e Palmital.

Meses	Gloria		Palmital	
	(Mg. ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup> )			
	Calculado*	Observado**	Calculado*	Observado**
Janeiro	0,0012	0,0415	0,1040	0,0515
Fevereiro	0,2209	0,0513	0,1677	0,0128
Março	0,3510	0,0470	0,1156	0,0051
Abril	3,3004	0,0736	0,7142	0,0060
Mai	0,3542	0,0079	0,5347	0,0090
Junho	0,0464	0,0029	0,2777	0,0060
Julho	0,0480	0,0030	0,2427	0,0050
Agosto	0,1778	0,0135	0,0728	0,0015
Setembro	0,0464	0,0029	0,0925	0,0020
Outubro	0,5044	0,0225	0,3896	0,0060
Novembro	0,1238	0,0857	0,0087	0,0020
Dezembro	0,0640	0,1141	0,0052	0,0031
Total	5,2385	0,4659	2,7254	0,1100
E		-0,07		-0,03
D <sub>v</sub>		-1,44		-3,58

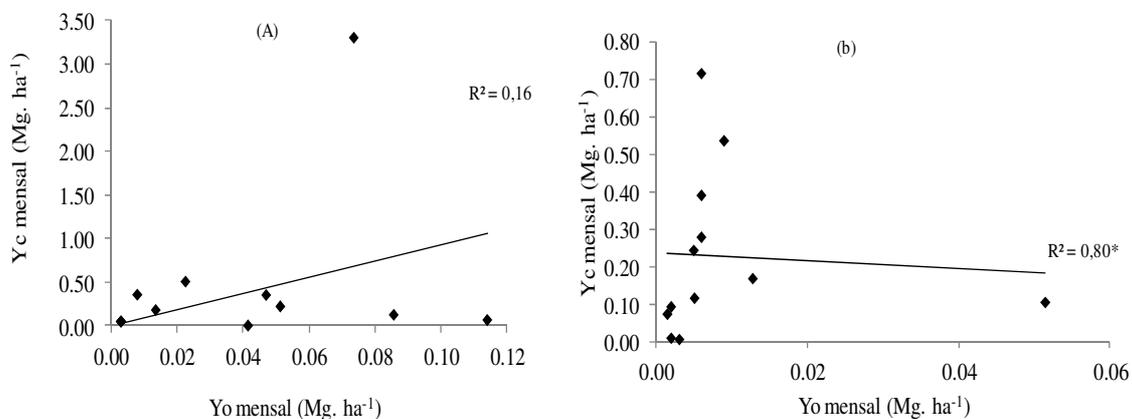
\* Pelo modelo USLE. \*\* Observado com os dados do exutório.

As estimativas da perda de solo pela USLE se apresentaram discrepantes em relação aos dados observados. O coeficiente E indicou que a USLE não foi um bom preditor do aporte de sedimentos apresentando -0,07 para a sub - bacia Gloria e -0,03 na sub - bacia Palmital. Os valores negativos de  $D_v$  (-1,44 para a sub - bacia Gloria e -3,58 na sub - bacia Palmital) demonstram que a produção de sedimento calculada superou o valor total observado (Tabela 3)

O diagrama de dispersão entre a produção de sedimentos calculados pela USLE e observados no exutório nas sub - bacias Gloria e Palmital é apresentado na Figura 4. Os valores mensais da produção de sedimentos calculados tiveram uma baixa correlação com os valores observados na sub - bacia Gloria, sendo o valor de  $R^2$  entre as variáveis de 0,16 e não significativo com desvio padrão de

1,02  $Mg. ha^{-1}$ . A sub - bacia Palmital apresentou boa correlação entre os valores mensais da produção de sedimentos calculados e os valores observados com valor de  $R^2$  de 0,80, apesar do apresentou alto desvio padrão de 0,25  $Mg. ha^{-1}$  (Figura 4).

O diagrama de dispersão dos valores mensais da produção de sedimentos calculados e os valores observados da sub - bacia Gloria está de acordo com os dados do coeficiente E, indicando que a USLE não foi um modelo adequado para a predição da produção de sedimentos. Em desacordo com o coeficiente E, o diagrama de dispersão da sub - bacia Palmital representou razoavelmente a variação da produção de sedimentos. De forma geral, durante todo período avaliado nas duas sub - bacias sedimentos foram superestimados em relação aos dados observados (Figura 4 e Tabela 3).



**Figura 4.** Diagrama de dispersão entre a produção de sedimentos observada e a calculada, para as sub - bacias Gloria (A) e Palmital (B).

#### Valoração das perdas de solo

A Tabela 04 apresenta os resultados da valoração ambiental do custo de retirada de sedimentos nas sub - bacias Glória e Palmital no período anual. Observa-se que a sub - bacia

Palmital, com maior cobertura florestal, apresenta custos de remoção de sedimentos estimados pela USLE e medida no exutório menores que a sub - bacia Gloria que apresenta maior cobertura por pastagem.

**Tabela 4.** Valoração ambiental do aporte de sedimentos calculado pela USLE e observado no exutório das microbacias Glória e Palmital.

Método	Custo total (Sub - bacias em R\$ $ha^{-1} ano^{-1}$ )	
	Glória	Palmital
Estimada pela USLE	46,98	24,44
Medida no exutório	4,17	0,98

Os valores econômicos da remoção do sedimento aportado calculado a partir dos resultados encontrados pela USLE e medidos no exutório das sub - bacias diferiram expressivamente. A sub - bacia Palmital, com maior percentual de Mata Atlântica, apresenta maior geração de serviço ambiental com um menor aporte de sedimentos em

termos de valor econômico. Por outro lado, a redução da Mata Atlântica na sub - bacia Glória acarretou em perda de serviço ambiental, implicando numa maior perda econômica devido à produção de sedimentos acarretando maior custo de remoção de sedimentos pelo sistema de captação de água. Chaves e Piau (2008) observaram que a

manutenção da cobertura florestal promoveu menor aporte de sedimentos em comparação à conversão da bacia para plantio convencional que aumenta o aporte de sedimentos de uma bacia no Distrito Federal.

## CONCLUSÕES

De forma geral, o modelo utilizado não apresentou bom ajuste para a quantificação do

aporte de sedimentos nas sub-bacias Glória e Palmital, superestimando os valores medidos nas respectivas áreas.

De acordo com a valoração ambiental pelo custo de retirada de sedimentos observou-se que a sub - bacia com maior cobertura florestal reduz o aporte de sedimentos e gera mais serviços ambientais reduzindo os custos de retirada de sedimentos na captação de água.

---

**ABSTRACT:** The Universal Soil Loss Equation (USLE) has been used to appraise the environmental services of the conservation practices and land use in sub - watersheds in the quantification of erosion and sediment delivery. In this sense this study compares the results of soil loss and environmental valuation obtained from the USLE model with the values measured in the discharge of water of both watersheds. The total soil loss was calculated using GIS techniques and transformed into sediment delivery and then compared to the production of sediment observed in the discharge watersheds. The sediment production rate was calculated and valued considering the cost of sediment removal from water catchment system. In general, the model used did not show goodfit for quantification of sediment delivery in sub - watersheds Gloria and Palmital, overestimating the values measured in the respective areas. According to evaluation by environmental cost of removing sediment was observed that the more sub – watershed forest cover reduces the accumulation of sediments creates more environmental services and reducing the costs of removal of sediment in the water uptake.

**KEYWORDS:** Loss of soil. Forest cover. Water treatment.

---

## REFERENCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual Operativo do Programa “Produtor de Água”**. Brasília, 65p. 2003.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: Pruski, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2.ed. Viçosa: Ed. UFV. 2009. 279p.

AZEVEDO NETO, J. M. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgard Blucher, p. 345-380, 1973.

BHATTARAI, R.; DUTTA, D. Estimation of soil erosion and sediment yield using gis at catchment scale. **Water Resources Management**, New York, v. 21, n. 10, p. 1635-1647, Oct. 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 395p.

CHAVES, H. M. L.; BRAGA, B.; DOMINGUES, A. F.; DOS SANTOS, D. G. Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do produtor de Água” (ANA): I. Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 3. p. 05-14. 2004.

CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 333-343, 2008.

CHAVES, H. M. L. Relações de aporte de sedimento e implicações de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1469-1477, 2010.

- FERNANDES, M. M. **Valoração dos serviços ambientais da Floresta de Mata Atlântica na qualidade e quantidade de água na APA do Sana**. Seropédica, Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) – UFRRJ, p. 150, 2009.
- FISTIKOGLU, O.; HARMANCIOGLU, N. B. Integration of GIS with USLE in Assessment of Soil Erosion. **Water Resources Management**. Gewerbestrasse, v. 16. p. 447–467. 2002.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION F.A.O. La erosión del suelo por el agua. **Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Cuadernos de fomento agropecuario da Org. de Las Naciones Unidas-FAO**, Roma, n. 81, 207p. 1967.
- FOSTER, G. R.; MCCOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 355-359, Nov. 1981.
- JERONYMO, C. A. L.; SILVA, J. A. R. Proposta de manejo de paisagem na APA do Sana (Macaé-RJ). **Boletim do Observatorio Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Niterói**, v. 5 n. 2, p. 173-201, 2011.
- KOULI, M.; SOUPIO, P.; VALLIANATOS, F. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, NorthWestern Crete, Greece. **Environmental Geology**, Berlin, v. 57, n. 3, p. 483-497, Apr, 2009.
- KRAUSE, P.; BOYLE, D. P.; BASE, F. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. **Advancing Geoscience, Winsconsin**, n. 5, p. 89-97, 2005.
- MAIA, A. G.; ROMEIRO, A. D.; REYDON, B. P. Valoração de recursos ambientais – metodologias e recomendações, **Texto para Discussão, IE/UNICAMP, Campinas**, n. 116, mar. 2004.
- MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; FONSECA, S. Fator Cobertura e Manejo do Solo e Perdas de Solo e Água em Cultivo de Eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do Estado do Espírito Santo. **Scientia Forestalis (IPEF)**, Piracicaba, v. 38, p. 517-526, 2010.
- MCCOOL, D. K.; FOSTER, G. R.; MUTCHLER, C. K.; MEYER, L. D. Revised slope length factor for the universal soil loss equation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 5, p. 1571-1576, 1989.
- MONTEBELLER, C. A. **Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas do Estado do Rio de Janeiro**. Seropédica,. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo) – UFRRJ, 98p. 2005.
- MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transitions of the American Society Agriculture & Biology engineers**, St. Joseph, n. 50, p. 885-900, 2007.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. **Journal Hydrology**, Wallingford, n. 10, p. 282-290, 1970.
- PARANHOS FILHO, A. C.; FIORI, A. P.; DISPERATI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI, A.; LASTORIA, G. Avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do Rio Taquarizinho-MS, **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 52, p. 49-59, 2003.
- MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. Oxford, 3º Ed. Blackwell Publishing. 2005.
- RANZINI, M.; LIMA, W. P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucaliptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis, Piracicaba**, n. 61, p. 144-159, jun. 2002.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, 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)**. (S.1): Oxford, Government Printing Office, 1997.

RODRIGUES, W.; NOGUEIRA, IMBROISI, D. Avaliação econômica da agricultura sustentável: o caso dos Cerrados Brasileiros, **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 103-130, 2005.

RODRIGUES, W. **Tecnologias agrícolas sustentáveis no Cerrado**. Coleção Centro-Oeste de Estudos e Pesquisas. 13. Ministério da Integração Nacional & Universidade Estadual de Goiás, Brasília. 47p. 2001.

SILVA, A. M.; RANZINI, M.; GUANDIQUE, M. E. G.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Estudo integrado do processo erosivo numa microbacia experimental localizada no município de Cunha – SP, **Scientia Forestalis, Piracicaba**, v. 24, n. 1, p. 43-53, 2005.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide selection of practices for soil and water conservation**. Washington, DC, USDA, 1978.

TAVARES, A. C. F.; MORAES, J. F. L.; ADAMI, S. F.; LOMBARDI NETO, F.; VALERIANO, M. M. Expectativa de degradação dos recursos hídricos em microbacias hidrográficas com auxílio de sistemas de informações geográfica, **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 417-424, 2003.