

## **Modelagem da Erosão Hídrica Utilizando o Modelo WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) para Cálculo de Perdas de Solo e Água**

Marcelo de Oliveira Latuf, doutorando em Geografia pelo Departamento de Geografia da Universidade Estadual Paulista/Campus Presidente Prudente.

[marcelo\\_latuf@yahoo.com.br](mailto:marcelo_latuf@yahoo.com.br)

João Batista Lopes da Silva, doutorando em Recursos Hídricos e Ambientais pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

[silvajbl@yahoo.com.br](mailto:silvajbl@yahoo.com.br)

O crescimento agrícola dos últimos 30 anos no Brasil trouxe incrementos econômicos, mas também grandes perdas ambientais, algumas jamais podendo ser recuperadas. Neste modelo implantado, o país buscou maior lucratividade, em detrimento à preservação dos recursos naturais, causando grandes problemas que podem ser observados até hoje. Entre os maiores problemas, ao meio ambiente, está a aceleração do processo erosivo. Foram várias as tentativas de mensuração do processo erosivo, sendo que a descrição físico-matemática do processo erosivo evoluiu muito a partir da década de 1950, com o surgimento da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), método em base empírica. Da evolução da USLE podemos citar a *Water Erosion Prediction Project* (Wepp), modelo capaz de estimar perdas de solo e água baseado em processos físicos, incluindo uma série de componentes conceituais. A bacia hidrográfica em questão está localizada no município de Viçosa – MG. Possui 3,99 ha de área, não apresenta curso de água permanente e tem predomínio de pastagem, como cobertura vegetal. Na extração das informações topográficas utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE) elaborado utilizando o software ArcGIS 9.0. Fez-se também a inclusão e edição do banco de dados da série histórica da estação climatológica de Viçosa, contando com uma série de 20 anos, o qual foi inserido no gerador climático Cligen (*Climate Generator*). As simulações de predição de perda de solo foram realizadas para um período de 100 anos. Os resultados com o modelo Wepp demonstram que há redução da perda de solo se a declividade diminui ao longo do perfil. Em geral, em todas as sub-bacias a taxa de perda de solo foi maior no final do perfil, o que mostra que o acúmulo da lâmina de escoamento superficial, causa maior taxa de perda de solo, em vista da maior energia de cisalhamento.

Palavras-chave: Modelagem, perdas de solo e água, WEPP, erosão hídrica.

The agricultural growth of the past 30 years in Brazil has impacts of economic increases, but also huge environmental losses, and some may never be recovered. Several attempts to measure the erosive process have been studying, and one of them was the first mathematical description of the erosive process, Universal Soil Loss Equation (USLE), based on empirical method. The evolution of USLE can cite the Water Erosion Prediction Project (Wepp), model able to estimate soil and water losses based on physical processes, including a series of conceptual components. Thus, the Wepp model was applied in a watershed located in Viçosa - MG. It has 3.99 ha, and shows pasture predominance as vegetation cover. To quantify the soil and water losses the basin has been divided in 6 sub-basins, according to the slope and relief. In the extraction of topographic information used to be the digital elevation model (DEM) developed by the software ArcGIS 9.0. Were used historical series of Viçosa climate station, with an extension of the 20 years, which was inserted into the climate generator Cligen (Climate Generator). The simulations to predict soil and water losses were held for a period of 100 years. The results with the Wepp model show that there is reduction in soil loss where the slope falls along the profile. In general, in all sub-basins the soil loss rate was higher at the end of the profile, which shows that the runoff accumulation cause a higher soil loss, in associate with higher shear energy.

Keywords: Modelling, soil and water losses, WEPP, water erosion.

## 1. Introdução

O crescimento agrícola dos últimos 30 anos no Brasil trouxe incrementos econômicos, mas também grandes perdas ambientais, algumas jamais podendo ser recuperadas. Segundo Hermani (2003) “nos anos 70 e 80, diante da necessidade da produção de alimentos e, especialmente, do aumento da exportação desses produtos, os produtores rurais, estimulados por incentivos fiscais, voltaram-se para a exploração das terras cobertas, causando grandes desmatamentos”. Porém, esta exploração do solo, fez-se sem um planejamento adequado, causando a rápida e intensa degradação do ambiente – solo, água e vegetação – e perda da biodiversidade.

Neste modelo implantado, o país buscou maior lucratividade, em detrimento à preservação dos recursos naturais, causando grandes problemas que podem ser observados até hoje. Entre os maiores problemas, ao meio ambiente, está a aceleração do processo erosivo.

De acordo com Hernani (2003) “a erosão hídrica é um processo natural e ocorre mesmo em condições de solo coberto por matas primárias não exploradas pelo homem, ou seja, em ecossistemas em equilíbrio. Na escala geológica de tempo, molda as formas do relevo e as paisagens. A intervenção humana eleva a taxa de incidência desse processo gerando erosão acelerada. Em que sua intensidade está associada às características do solo, condições climáticas e uso e manejo dos recursos naturais”.

Este mau uso do solo, tanto nas áreas rurais quanto urbanas, vem sendo um dos principais fatores agravantes da aceleração do processo erosivo, acarretando assim, grandes prejuízos para toda a sociedade. Como exemplos destes agravantes, podem-se citar: a perda de fertilidade de solos agricultáveis; poluição dos corpos hídricos, alterando padrões de qualidade de água; assoreamento de barragens; enchentes nos centros urbanos e rurais; e aumento dos custos de tratamento de água.

Foram várias tentativas de mensuração do processo erosivo, sendo que a descrição físico-matemática do processo erosivo evoluiu muito a partir da década de 1950, com o surgimento da Equação Universal de Perda de Solo (Usle). Este método constituiu em um marco na predição do processo erosivo, pois até o seu desenvolvimento não existia um modelo ou processo que estimasse essa predição, determinando assim, toda uma evolução da mensuração a partir da mesma. Porém, na época, “a grande limitação de processos que permitissem a solução de equações matemáticas induziam a utilização de procedimentos fundamentados em bases empíricas, como é o caso deste método” (Pruski, 1996).

Da evolução da Usle podemos citar a *Water Erosion Prediction Project* (Wepp), modelo capaz de estimar perdas de solo e água baseado em processos físicos. A predição e quantificação do processo erosivo na Wepp são baseadas nas teorias fundamentadas de infiltração, hidrologia, hidráulica, física do solo, mecânica de erosão e fitotecnia, diferentemente da Equação Universal de Perda de Solo (Usle).

O modelo desenvolvido no Wepp inclui uma série de componentes conceituais para estimar o desprendimento e a deposição de partículas de solo (Pruski, 1996). Esses componentes são: clima (parâmetros de chuva, temperatura, radiação solar e vento); dinâmica da neve (congelamento-descongelamento, acúmulo de neve e fusão da neve); irrigação (aspersão convencional e em sulcos); hidrologia (infiltração, armazenamento e escoamento superficial); balanço de água (evapotranspiração, percolação e drenagem); solos (tipos e propriedades); crescimento de culturas (diversos cultivos, pastagens e florestas); manejo e decomposição de resíduos; impactos do preparo do solo (compactação e erodibilidade); erosão (entre sulcos, no sulco e em canais); deposição de sedimentos (nos sulcos, canais e terreno); e liberação e capacidade de transporte de sedimentos.

O Wepp é apresentado em três versões: encosta, malha e bacia hidrográfica. A versão encosta é uma substituição direta da Usle, acrescentando-se, somente, a capacidade de estimar a deposição de sedimentos ao longo do terreno. Na versão bacia hidrográfica possibilita a determinação do desprendimento, transporte e deposição de sedimentos ao longo das diversas encostas até os cursos d'água. Enquanto a versão malha é aplicável nas áreas em que os limites não coincidem com os limites da bacia (Amorim, 2004).

Em virtude da necessidade de quantificação do processo erosivo, neste presente trabalho objetivou-se a quantificação das perdas de solo e água por erosão laminar, por meio da utilização do modelo Wepp, bem como a comparação com os resultados do modelo Rusle (Equação Universal de Perda de Solo Revisada) obtidos por Silva e Latuf (2004).

## **2. Material e métodos**

A bacia hidrográfica em estudo é uma bacia experimental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, na localidade de Palmital no município de Viçosa – MG. Esta bacia possui área de 3,99 ha, não apresenta curso d'água permanente e tem predomínio de pastagem, como cobertura vegetal. Localiza-se entre as coordenadas UTM X: 720912 e 721179 e Y: 7695856 e 7696143, Zona 23S.

Para predição da perda de solo e água na bacia hidrográfica experimental utilizou-se o modelo Wepp, desenvolvido pelas seguintes instituições norte-americanas: USDA – *Agricultural Research Service*, USDA – *Natural Resources Conservation Service*, USDA – *Forest Service*, USDI – *Bureau of Land Reclamation*, *Purdue University* e *Soil and Water Conservation Society*. Teve como objetivo o desenvolvimento de uma tecnologia para o planejamento ambiental e conservação da água e do solo, a fim de permitir a predição dos impactos do uso do solo durante a erosão, resultante das práticas de manejo de terras para produção agrícola, pastagens e áreas florestais (Pruski, 1996).

No presente trabalho a bacia hidrográfica experimental foi dividida em 6 sub-bacias (Figura 1), em função da declividade. As características das 6 sub-bacias utilizadas para a alimentação do modelo estão descritas nas Tabelas 1 e 2.

A geração do modelo digital de elevação (MDE) e as extrações de informações dos perfis topográficos, comprimentos de rampa e demais cálculos, foram elaborados a partir da utilização do software ArcGIS 9.0.

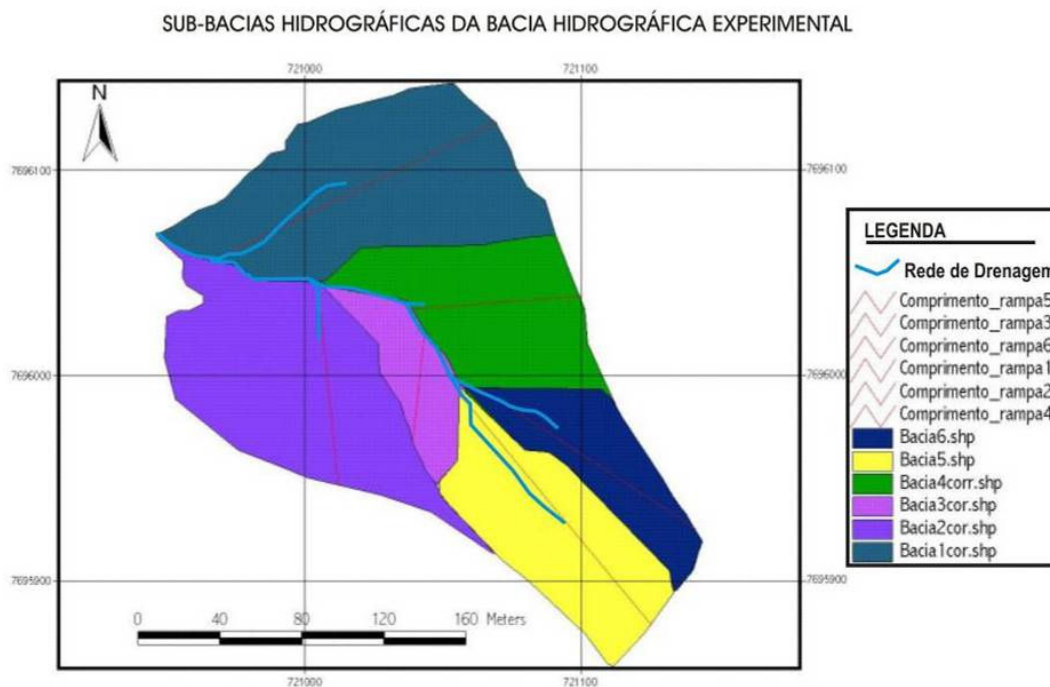


Figura 1 - Sub-bacias hidrográficas propostas.

Tabela 1 - Perfil dos comprimentos de rampa para cada sub-bacia

Sub-bacia	Área (ha)	Declividade média (m/m)	Comprimento de rampa (m)	Trechos		
				Nº	Comprimento (m)	Declividade (%)
1	1,06	0,55	153	1	58	52,5
				2	49	24,5
				3	22	27,5
				4	24	25,0
2	0,98	0,56	97	1	25	44,5
				2	40	61,0
				3	32	54,5
3	0,27	0,63	53	1	19	58,5
				2	16	74,0
				3	18	59,5
4	0,63	0,65	78	1	23	69,0
				2	18	64,5
				3	24	61,0
				4	13	48,0
5	0,39	0,50	126	1	27	46,0
				2	40	33,0
				3	26	45,5
				4	33	62,0
6	0,66	0,51	147	1	22	31,5
				2	24	61,0
				3	22	30,5
				4	39	37,0

Tabela 2 - Dados de entrada do módulo Solo

Profundidade (mm)	Areia	Argila	M. O.	CTC	Classe textural
	dag kg <sup>-1</sup>			Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
0 - 200	58,5	23,5	2,64	4,13	Franco-argilo-arenosa
200 - 480	60	24	2,12	2,68	Franco-argilo-arenosa
480 - 750	46	32	1,77	2,67	Franco-argilo-arenosa
750 - 1000	58	22	1,66	2,27	Franco-argilo-arenosa
1000 - 2000	82	10	1,55	1,95	Areia-siltosa

Fonte: Silva (2002) e Amorim (2004).

Fez-se também a inclusão e edição do banco de dados da série histórica da estação climatológica de Viçosa, contando com uma série de 20 anos, o qual foi inserido no gerador climático Cligen (*Climate Generator*), módulo já embutido no software Wepp. A partir deste

módulo fez-se a geração de uma séria climática de 100 anos. Assim, as simulações de predição de perda de solo foram realizadas em um período de 100 anos, pois há a necessidade de períodos maiores de tempo para visualizarem-se os danos significativos ocorridos pelo aceleração da erosão provocada por atividades antrópicas.

Os resultados das simulações da perda de solo pela Rusle para a comparação com os resultados obtidos pela Wepp, foram extraídos de Silva e Latuf (2004).

### **3. Resultados e discussões**

Na Figura 2 pode-se observar o comportamento do processo erosivo em cada sub-bacia, onde as linhas vermelhas representam os perfis das encostas atuais (*hillslope profile*) e os perfis de simulação das encostas apresentam-se na cor verde (*relative erosion*). Ainda na mesma figura, pode-se, também, visualizar as taxas de perda de solo ao longo do perfil da encosta, sendo representadas pela área cinza abaixo do eixo das abscissas, em que, maior largura nessa faixa, responde a maior perda de solo no ponto.

Para a sub-bacia 1 houve diminuição da perda de solo, em decorrência da redução da declividade da encosta, aproximadamente a 60 metros a partir do início da rampa. Entretanto, longo após a “nova” declividade ocorre retomada da perda de solo, mas nesta o comprimento da rampa torna-se o principal mecanismo de desagregação do solo, influenciado pelo aumento da lâmina de escoamento superficial e, conseqüentemente, da força de cisalhamento.

Já na sub-bacia 5 pode-se observar com o aumento da declividade da rampa, aproximadamente no ponto de 70 metros, houve incremento da taxa de perda solo. Isto mostra, que a acentuação da declividade em associação a extenso comprimento de rampa, atuam, significativamente, no aumento das taxas de perda de solo.

Em geral, pelos resultados da Figura 2, em todas as sub-bacias a taxa de perda de solo foi maior no final do perfil, o que mostra que o acúmulo da lâmina de escoamento superficial ao longo do comprimento da rampa, causa maior taxa de perda de solo, em vista da maior energia de cisalhamento e altura da lâmina. Vale ressaltar, quando a acentuação da declividade ocorre ao final da rampa, quando a lâmina de escoamento é maior e a energia de cisalhamento é maior, ocorre maior taxa de perda de solo nesta situação.

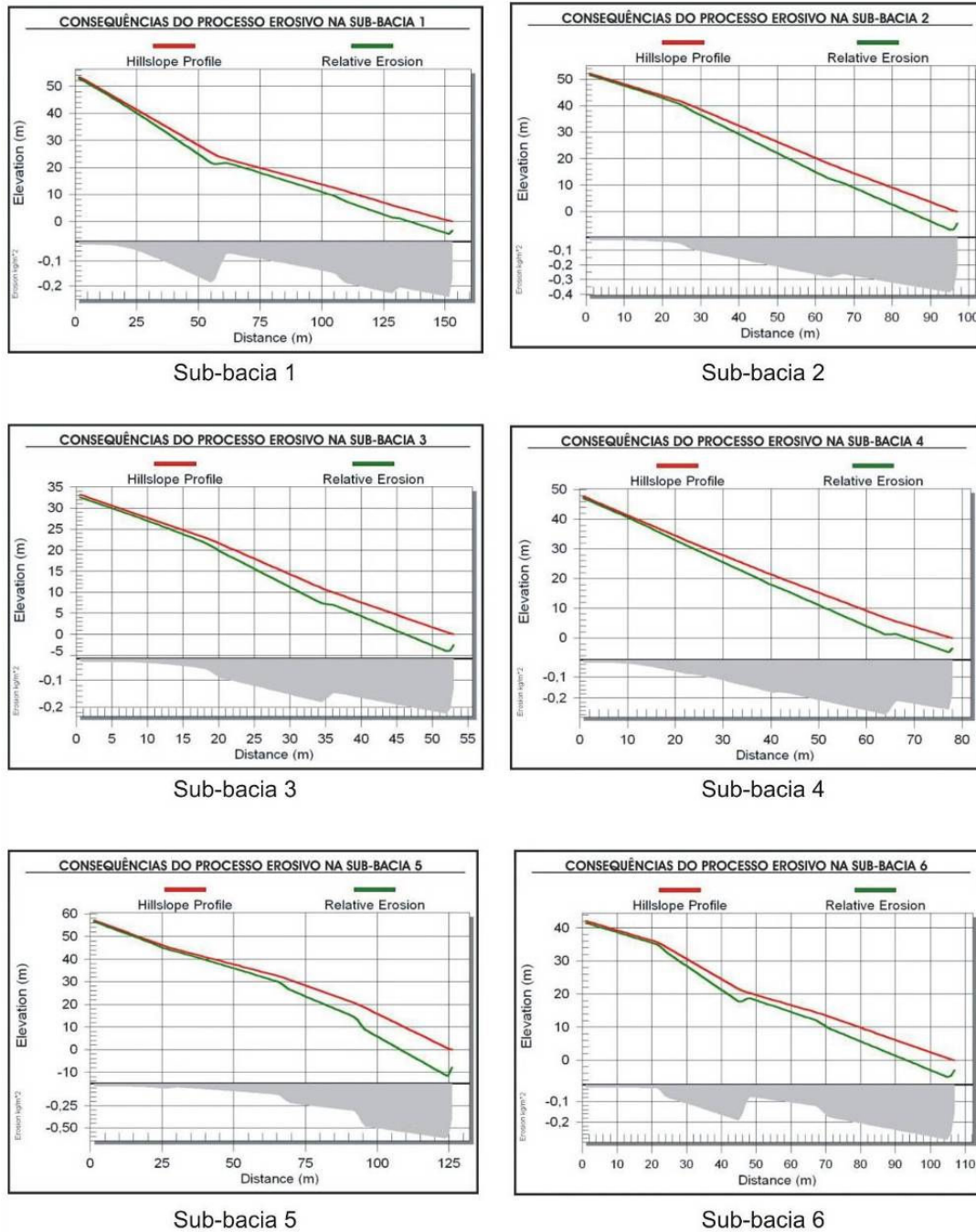


Figura 2 - Comportamento estimado do processo erosivo.

As taxas de perda de solo ( $\text{ton ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) para cada sub-bacia estão ilustradas na Figura 3, em que as sub-bacias 5 e 3 obtiveram, respectivamente, as maiores e menores perdas de solo. Este comportamento é devido ao da sub-bacia 5 possuir maior declividade ao final da rampa e a sub-bacia 3 por apresentar menor declividade e comprimento de rampa.

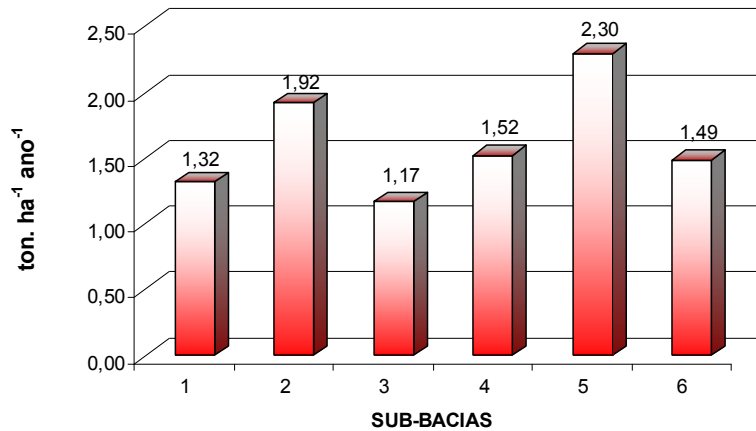


Figura 3 - Taxas de perda de solo nas sub-bacias (ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

Pela Figura 4 observam-se as estimativas das taxas médias de perdas de lâminas de água (mm) geradas no primeiro ano de simulação. Nota-se que a perda de água em todas as sub-bacias ficaram próximas, isto devido ao mesmo tipo de solo, cobertura e manejo adotados.

Na sub-bacia 3 observa-se (figuras 3 e 4) que ocorreu menores perdas de solo, em contrapartida, maiores perdas de água. Este fato se explica pela declividade acentuada, o que prejudica o processo de infiltração, resultando maiores perdas de água. Enquanto a menor perda de solo deduz-se ao fato da lâmina de escoamento superficial não obter energia suficiente para o desprendimento e arraste de partículas de solo, devido ao pequeno comprimento de rampa.

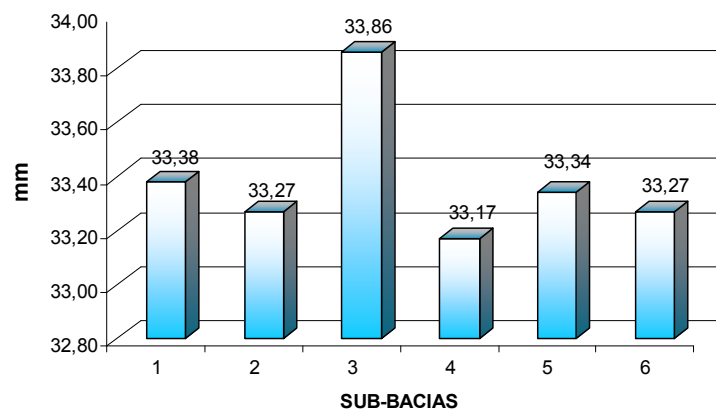


Figura 4 - Taxas de perda de água por lâmina de escoamento superficial.



As comparações entre os resultados obtidos pelo modelo Wepp e pelo modelo Rusle, obtido por Silva e Latuf (2004), para a mesma bacia hidrográfica podem ser observados na Figura 5.

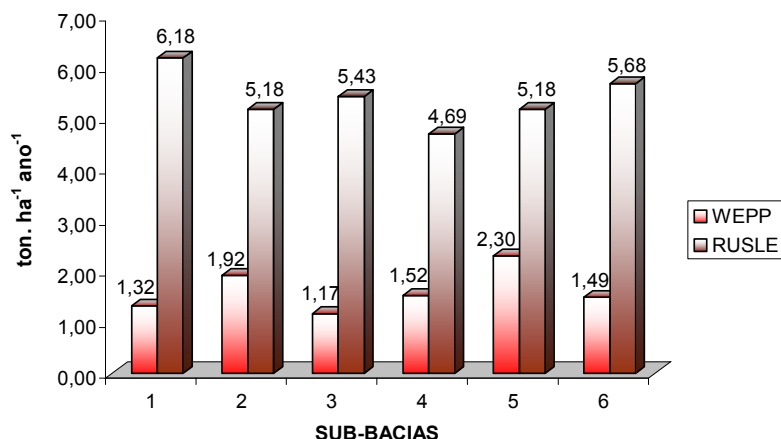


Figura 5 – Taxas de perda de solo estimadas pela Wepp e pela Rusle.

Quanto às diferenças nas taxas de perdas de solo estimadas pelos dois modelos utilizados, remete-se ao fato do modelo Wepp ser baseado em processos físicos, enquanto a Rusle ter bases empíricas. Em virtude destas observações, pode-se atribuir que o modelo Rusle superestimou a perda de solo para todas as sub-bacias analisadas em aproximadamente 3,5 vezes.

#### 4. Considerações finais

Comparativamente o Rusle superestimou em 3,5 vezes o valor das perdas de solo, quando comparadas com o Wepp, devido, principalmente, às diferenças técnicas e metodológicas entre os modelos – o Rusle baseado em dados empíricos e o Wepp em processos. Assim, ressalta-se que a aplicação dos modelos de bases empíricas deve ser realizada de maneira criteriosa, pois sua alimentação e utilização variam de localidade para localidade. Enquanto os modelos baseados em processos possuem maior flexibilidade de aplicação, pois são fundamentados em teorias gerais de várias áreas do conhecimento.

Neste sentido, conclui-se que o modelo Wepp, por ser baseado em processos, se ajusta melhor às condições tropicais, quando comparados ao modelo Rusle, que foi concebido em clima temperado e subtropical, diferente das condições climáticas brasileiras.

## 5. Referências bibliográficas

- Amorim, R. S. S. *Avaliação dos Modelos de Predição da Erosão Hídrica Usle, Rusle e Wepp para condições edafoclimáticas brasileiras*. Viçosa, MG: UFV, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.
- Hernani, L. C. O Manejo e Conservação de Solo e de Água. *Revista Ação Ambiental*. Editora UFV, Viçosa, nº 24, 2003.
- Pruski, F. F. *Curso por Tutoria à Distância: Gestão de Recursos Hídricos para o Desenvolvimento Sustentado de Projetos Hidroagrícolas. Módulo 7: Conservação de Água e Solo*. Brasília: ABEAS, 1996.
- Silva, J. B. L.; Latuf, M. O. *Relatório da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (Rusle 1.06)*. Viçosa: UFV. (Relatório técnico não publicado), 2004.
- Silva, J. M. A. *Modelo Hidrológico para o Cálculo do Balanço Hídrico e obtenção do Hidrograma de Escoamento Superficial em Bacias Hidrográficas: Desenvolvimento e Aplicação*. Viçosa, MG: UFV, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.
- WEPP. Water Erosion Prediction Project - United States Department of Agricultural (USDA), *Model documentation*, 2004.