

ANÁLISE DE RESULTADOS DE EROSÃO DO SOLO ENTRE OS MODELOS USLE E WEPP.

Pedro Roberto de Luca Junior, Marcílio Vieira Martins Filho, Flávio Belluomini Cotrin, Nilceu Piffer Cardozo, Jacqueline Toniolo da Costa – Agronomia – Departamento de Solos e Adubos – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

A tendência mundial atual é pela quantificação dos processos de degradação ambiental como a erosão, a qual só pode ser realizada com o uso de modelos. Nesse sentido dois modelos têm sido os mais utilizados, por planejadores da área de conservação do solo e da água, para as estimativas da erosão do solo: 1) Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) e 2) *Water Erosion Prediction Project* (WEPP). Segundo MARTINS FILHO (1999), a grande vantagem em utilizar modelos de predição da erosão do solo com embasamento físico, caso do WEPP, sobre os empíricos, como a USLE, é que estes permitem estimativas temporais e espaciais da erodibilidade, aplicações em condições diferenciadas de clima, topografia e cultivo do solo. Os modelos empíricos não permitem a predição da erosão, para eventos individuais de chuvas e tampouco expressam, adequadamente, a deposição de sedimentos (MARTINS FILHO, 1999).

Em função do exposto, o objetivo do presente trabalho é o de reavaliar informações sobre a taxa de erosão obtidas por MARTINS FILHO (1994) e MARTINS FILHO et al. (2001), em condições normais e em diferentes níveis de compactação do solo, sob condições de chuvas simuladas, num Latossolo Vermelho, em parcelas experimentais aptas para a obtenção de informações básicas para uso na USLE e WEPP, com o intuito de correlacionar as diferentes metodologias empregadas na determinação da erodibilidade (K) e do fator cobertura e manejo do solo (C).

A conversão de resultados entre os modelos WEPP e USLE foi organizada em três métodos designados por I, II e III. Os referidos métodos são descritos como segue: Método I : Erosão entressulcos - Dados de erosão entressulcos (D_e , $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$) obtidos por MARTINS FILHO (1994), em parcelas entressulcos sob chuva simulada, foram convertidos para perdas de solo em toneladas por hectare (A). Com os valores das intensidades de chuva (I , mm h^{-1}), aplicados nas referidas parcelas, foram obtidas as erosividades de cada chuva, fator R. Os valores de R e LS foram determinados como proposto por WISCHMEIER & SMITH (1978). O fator LS foi obtido a partir da declividade ($d\%$) e do comprimento das parcelas. Os fatores C e P foram considerados unitários, pelo fato do solo estar descoberto e preparado no sentido do declive, quando não compactado e fator K ($K = A / (R \text{ LS})$). Método II : Erosão em sulcos com desconto da erosão entressulcos - Os dados de erosão em sulcos (D_r , $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$) obtidos por MARTINS FILHO (1994), em parcelas em sulcos, sob fluxo de água limpa, foram convertidos para perdas de solo em toneladas por hectare (A). Com os valores das intensidades de chuva (I , mm h^{-1}), aplicados nos sulcos, foram obtidas as erosividades de cada chuva, fator R. Os fatores C e P foram considerados unitários, pelo fato do solo estar descoberto e preparado no sentido do declive, quando não compactado e fator K ($K = A / (R \text{ LS})$). A taxa de erosão em sulcos foi determinada como $D_r = D_e - E$, em que E é a taxa de erosão entressulcos na área do sulco. Método III: Erosão em sulcos sem desconto da erosão entressulcos - Os dados de erosão em sulcos (D_e , $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$) obtidos por MARTINS FILHO (1994), em parcelas em sulcos, sob fluxo de água limpa, os quais foram convertidos para perdas em toneladas por hectare (A). Com os valores das intensidades de chuva (I , mm h^{-1}), aplicados nos sulcos, foram obtidas as erosividades de cada chuva, fator R. Os fatores C e P foram considerados unitários, pelo fato do solo estar descoberto e preparado no sentido do declive, quando não compactado e fator K ($K = A / (R \text{ LS})$). Já o fator C foi estimado como (MARTINS FILHO et al., 2001): $C = 0,0688 \rho_{\text{rel.}} / (-0,8718 + \rho_{\text{rel.}})$, em que, $\rho_{\text{rel.}}$ = densidade relativa do solo. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico STATISTICA (STATSOFT, 1994). O programa foi utilizado, ainda, para realizações de análises de variâncias e regressões lineares. Parâmetros estatísticos propostos por LOAGUE & GREEN (1991) e LENGNICK & FOX (1994), para testes adicionais de comparação de modelos:

$$\text{RMSE} = \sum_{i=1}^n [(P_i - O_i)^2 / n]^{0,5} (100/O) \quad (1)$$

$$MD = \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) / n \quad (2)$$

em que, RMSE é erro padrão da estimativa normalizado, %; MD é a diferença média; P_i é valor estimado; O_i é valor observado; O é a média dos valores observados; e n é espaço amostral.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados relativos às análises estatísticas dos valores de erodibilidade K_{USLE} e K_{WEPP} obtidos pelos três métodos de determinação.

TABELA 1. Valores de erodibilidade K_{USLE} e K_{WEPP} obtidos por três métodos de determinação.

Erodibilidade (Fator K)	Método I	Método II	Método III
K_{USLE}	0,018 a	0,035 a	0,043 a
K_{WEPP}	0,011 a	0,011 a	0,011 b

Método I – K_{USLE} determinado a partir de taxas de erosão entressulcos; Método II – K_{USLE} determinado a partir de taxas de erosão em sulcos com desconto da taxa de erosão entressulcos; Método III - K_{USLE} determinado a partir de taxas de erosão em sulcos sem desconto da taxa de erosão entressulcos; Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem, significativamente, pelo teste Tukey ao nível de 5%.

A análise de variância para valores de K_{USLE} e K_{WEPP} considerando-se as parcelas entressulcos, Método I, demonstrou que não houve diferença significativa entre as médias K_{USLE} e K_{WEPP} (Tabela 1). Quando se realizou a análise de regressão para valores de K_{USLE} e K_{WEPP} esta foi positiva e significativa ($r^2 = 0,72^*$). Em princípio, pelos resultados obtidos, pode-se avaliar que as taxas de erosão entressulcos podem ser utilizados para estimativas do fator erodibilidade K da Equação Universal de Perdas de Solo (K_{USLE}). Para confirmar tal possibilidade uma associação entre valores observados e estimados foi testada comparando-se o intercepto (a) e a inclinação da regressão (b) com 0,0 e 1,0, respectivamente. Aplicando-se um teste t, determinou-se que o intercepto não difere de 0,0 e, que o coeficiente angular difere 1,0 (Tabela 2). Esta análise em associação com a determinação da diferença média (MD) entre K_{USLE} e K_{WEPP} , permitem pressupor que não há boa acuracidade das estimativas obtidas para o fator K com o método testado. LENGNICK & FOX (1994) descreveram que um sinal positivo para MD sugere, em média, que os valores estimados superestimam os observados (Tabela 2).

TABELA 2. Análise de regressão para a erodibilidade K_{USLE} e K_{WEPP} obtidos por três métodos de determinação ($K_{USLE} = a + b K_{WEPP}$).

Método	a	b	MD	RMSE	Coeficiente de determinação
I	-0,0188 ξ	1,732 \downarrow	0,000000161	35,74	$r^2 = 0,72^*$
II	0,0036 ξ	0,214 \downarrow	0,000067750	22,82	$r^2 = 0,82^*$
III	0,0020 ξ	0,212 \downarrow	-0,001946613	29,27	$r^2 = 0,81^*$

ξ = não difere de zero, estatisticamente, pelo teste t ao nível de 5%; \downarrow difere de um, estatisticamente, pelo teste t ao nível de 5%; MD - Diferença média (MD), t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹; RMSE – Erro padrão da estimativa normalizado, %; ** significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Para os dois métodos testados em relação a taxa de erosão em sulcos, aquele com desconto da erosão entressulcos parece ser o mais apropriado para as estimativas de K_{USLE} (Tabelas 1 e 2). A análise de variância para erosão em sulcos com desconto da entressulcos (Método II) demonstrou que não houve diferença significativa entre as médias K_{USLE} e K_{WEPP} (Tabela 1). O mesmo não ocorreu para o Método III entre as as médias K_{USLE} e K_{WEPP} , ou seja, houve diferença significativa entre as médias (Tabela 1). As análises de regressão para valores de K_{USLE} e K_{WEPP} foram positivas e significativas para os Método II e III ($r^2 = 0,82^*$ e $0,81^*$, respectivamente). A associação entre valores observados e estimados foi testada comparando-se o intercepto (a) e a inclinação da regressão (b) com 0,0 e 1,0, respectivamente. Aplicando-se um teste t, determinou-se que o intercepto não difere de 0,0, ao nível de 5%. Contudo o coeficiente angular difere de 1,0 (Tabela 2). Esta análise em associação com a determinação da diferença média (MD) entre Cobs. e Cest., permite pressupor que não há boa

acuracidade das estimativas obtidas para o fator K com a utilização dos Métodos II e III. LENGNICK & FOX (1994) descreveram que um sinal positivo para MD sugere, em média, que os valores estimados superestimam os observados (Tabela 2). Pode-se, então, observar que com o Método III os valores estimados tendem, em média, a subestimar os observados. Logo, não se pode concluir qual dos métodos, II ou III, é o melhor para ser utilizado em modelos como a USLE.

Em função dos resultados expostos, os métodos precisam ser melhor avaliados para utilização. Contudo, o método II numa eventualidade poderá ser o mais apropriado para uso visto o ser o que apresenta o menor erro padrão da estimativa normalizado (RMSE), comparativamente aos outros métodos. Contudo, deve-se ressaltar que todos os valores de RMSE são considerados altos, o que é bastante comum em resultados de taxas de erosão e erodibilidade como determinado por MARTINS FILHO (1999).

TABELA 3. Análises estatísticas dos valores de C observados (Cobs.) e estimados (Cest.) para a erosão entressulcos não compactados (ENC) e compactados (EC).

Fator C	ENC	EC
Cobs.	1,000 a	0,242 a
Cest.	0,660 b	0,275 a
Média	0,830 A	0,259 B

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem, significativamente, pelo teste Tukey ao nível de 5%.

Análises estatísticas dos valores de C (Cobs.) observados e estimados (Cest.) demonstraram que houve diferença significativa entre os valores de Cobs. e Cest., apenas para entressulcos não compactados (Tabela 3). Já para os entressulcos compactados não houve diferença significativa, pelo teste Tukey ao nível de 5%. Desse modo foi realizada análise de correlação entre valores de fator C obtidos em entressulcos compactados para uso no modelo WEPP com os da USLE (Tabela 4).

O coeficiente de determinação entre valores observados foi significativo ($r^2 = 0,79^{**}$, Tabela 4). A associação entre valores observados e estimados foi testada comparando-se o intercepto (a) e a inclinação da regressão (b) com 0,0 e 1,0, respectivamente. Aplicando-se um teste t, determinou-se que o intercepto e o coeficiente angular diferem de 0,0 e 1,0, respectivamente (Tabela 4). Esta análise em associação com a determinação da diferença média (MD) entre Cobs. e Cest., permite pressupor que não há boa acuracidade das estimativas obtidas para o fator C com a equação (19). LENGNICK & FOX (1994) descreveram que um sinal positivo para MD sugere, em média, que os valores estimados superestimam os observados (Tabela 4). Logo, o melhor valor a ser utilizado em modelos como a USLE é média dos valores observados.

TABELA 4. Análise de regressão entre valores observados e estimados de fator C para entressulcos compactados (EC).

Tratamento	Intercepto (a)	Coeficiente angular (b)	MD	r^2
EC	-0,628 ζ	3,735 \downarrow	0,034	0,79**

ζ = difere de zero, estatisticamente, pelo teste t ao nível de 5%; \downarrow = difere de um, estatisticamente, pelo teste t ao nível de 5%; MD Diferença média (MD); ** significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Análises estatísticas dos valores de C (Cobs.) observados e estimados (Cest.) demonstraram que houve diferença significativa entre os valores de Cobs. e Cest., para sulcos não compactados e compactados (Tabela 5). Desse modo não foi realizada análise de correlação entre valores de fator C obtidos em sulcos para uso no modelo WEPP com os da USLE. Provavelmente, tal diferença se deva ao fato de que o manejo, no caso a compactação, interferiu na erodibilidade e na tensão cisalhante de modo complexo. Assim, experimentos futuros com o objetivo de avaliar a interferência do manejo em tais variações se fazem necessários. Logo, o modelo proposto por MARTINS FILHO et al. (2001) não é em princípio adequado para estimativas do fator C, utilizando-se dados oriundos de áreas para avaliação da erosão em sulcos.

TABELA 5. Análises estatísticas dos valores de C observados (Cobs.) e estimados (Cest.) para a erosão em sulcos não compactados (SNC) e compactados (SC).

Fator C	SNC	SC	Média
Cobs.	1,000 a	1,580 a	1,290 a
Cest.	0,628 b	0,275 b	0,452 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem, significativamente, pelo teste Tukey ao nível de 5%.

É possível concluir que: 1) Os métodos testados para a conversão de K_{USLE} e K_{WEPP} não apresentam boa acuracidade; 2) O fator C não pode ser confiavelmente estimado pelo modelo proposto por MARTINS FILHO et al. (2001); 3) Experimentos futuros são necessários para avaliar melhor a influência do manejo do solo, quando compactado, nos fatores C e K dos modelos WEPP e USLE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LENGNICK, L.L. ; FOX, R.H. Simulation by NCSWAP of seasonal nitrogen dynamics in corn: I. soil nitrate. **Agronomy Journal**, Madison, 87:167-75,1994.
- LOAGUE, K. ; GREEN, R.E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v.7, n.1, p.51-73, Jan. 1991.
- MARTINS FILHO, M.V. **Influência da compactação do solo nas perdas por erosão e na sua erodibilidade**. Jaboticabal: FCAV, 1987. 95p. (Trabalho - Graduação em Agronomia).
- MARTINS FILHO, M.V. **Erodibilidade inter e intra-sulcos dum latossolo vermelho-escuro textura argilosa da região de Jaboticabal - SP**. Piracicaba: ESALQ, 1994. 143p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MARTINS FILHO, M.V. **Modelagem do processo de erosão entressulcos em latossolos de Jaboticabal – SP**. Lavras: UFLA, 1999. 140p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MARTINS FILHO, M.V. Efeitos da densidade do solo na erosão de um latossolo devido ao tráfego. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.21, n.1, p.12-22, Jan. 2001.
- STATSOFT. **Statistica**: Quick reference. Tulsa: StatSoft, 1994. 148p.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1978. 58p. (USDA. Handbook, 537).