

ÍNDICES DE EROSIVIDADE DA CHUVA, PERDAS DE SOLO E FATOR ERODIBILIDADE PARA DOIS SOLOS DA REGIÃO DOS CERRADOS - PRIMEIRA APROXIMAÇÃO⁽¹⁾

J.J.G.S.M. MARQUES⁽²⁾, R.C. ALVARENGA⁽³⁾, N. CURI⁽⁴⁾,
D.P. SANTANA⁽³⁾ & M.L.N. SILVA⁽⁵⁾

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram: testar a adequação de diferentes índices de erosividade das chuvas, comparar duas equações propostas para cálculo da energia cinética das chuvas e estimar o fator K (erodibilidade) da equação universal de perdas de solo (EUPS) para um latossolo vermelho-escuro (LE) álico muito argiloso e um podzólico vermelho-amarelo (PV) álico muito argiloso da região de Sete Lagoas (MG). Não houve diferença significativa entre as duas equações testadas para cálculo da energia cinética das chuvas. O índice EI_{30} mostrou ser um bom estimador da erosividade da chuva e pode continuar sendo utilizado como fator R (erosividade) da EUPS para a região estudada. Os valores do fator K, para o LE e o PV da região de Sete Lagoas, foram, respectivamente, 0,002 e 0,033 t h (MJ mm)⁻¹.

Termos de indexação: fator R, fator K, erosão, equação universal de perdas de solo (EUPS).

SUMMARY: RAINFALL EROSIVITY INDICES, SOIL LOSSES AND ERODIBILITY FACTOR FOR TWO SOILS FROM THE CERRADO REGION - FIRST APPROXIMATION

The objectives of this paper were: to verify the adequacy of different rainfall erosivity indices, to compare two equations to calculate the rainfall kinetic energy and to estimate the USLE K-factor (soil erodibility) of two soils (Dark - Red Latosol and Red - Yellow Podzolic soil) from the Sete Lagoas (MG) region. There was not a significant difference between the studied equations to calculate rainfall kinetic energy. The EI_{30} index showed to be a good rainfall erosivity predictor and can continue being used to determine the R-factor for the studied region. The K-factor values for the Dark - Red Latosol and Red - Yellow Podzolic soils from the Sete Lagoas region were 0.002 and 0.033 t h (MJ mm)⁻¹, respectively.

Index terms: R-factor, K-factor, erosion, universal soil loss equation (USLE).

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Trabalho apresentado no XIII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, Águas de Lindóia, 4 a 8 de agosto de 1996. Recebido para publicação em abril de 1996 e aprovado em maio de 1997.

⁽²⁾ Aluno de Mestrado do CPGSNP-Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG).

⁽³⁾ Pesquisador, EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas (MG).

⁽⁴⁾ Professor, UFLA - Departamento de Ciência do Solo, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG).

⁽⁵⁾ Pesquisador, EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ).

INTRODUÇÃO

A morosidade na determinação das perdas de solo por erosão, por meio de métodos diretos, é a principal causa do crescente interesse pelos modelos de predição da erosão. Tais modelos permitem identificar áreas de maior risco e auxiliar na escolha de práticas de manejo mais adequadas (Foster et al., 1985). A equação universal de perdas de solo - EUPS - (Wischmeier & Smith, 1978), considerada uma das mais importantes ferramentas de predição de perdas de solo, é utilizada com sucesso em regiões e para finalidades completamente distintas (Albaladejo Montoro & Stocking, 1989; Toy & Osterkamp, 1995) daquelas para as quais foi projetada (Wischmeier, 1976).

Entre os fatores da EUPS, apenas o R (erosividade) é computado diretamente, a partir de registros pluviográficos, enquanto os demais são relativos à parcela-padrão proposta por Wischmeier & Smith (1978). Baseando-se na relação entre intensidade da chuva e distribuição de gotas por tamanho, Wischmeier & Smith (1958) estabeleceram a seguinte equação para cálculo da energia cinética das chuvas (após modificação de Foster et al., 1981):

$$EC_{ws} = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (1)$$

onde: EC é a energia cinética, em MJ (ha mm)⁻¹, e I, a intensidade da chuva, em mm h⁻¹. Para o desenvolvimento dessa equação, foram consideradas chuvas do tipo convectivas e frontais. A relação entre intensidade e distribuição de gotas por tamanho é específica a cada local (Kinnel, 1981), o que levou Hudson (1977) e Wagner & Massambani (1988) a desenvolverem diferentes relações entre energia cinética e intensidade, as quais são, respectivamente:

$$EC_h = 0,298 - 1,275 I^{-1} \quad (2)$$

$$EC_{wm} = 0,153 + 0,0645 \log I \quad (3)$$

A equação (2) foi desenvolvida para as condições da África austral (Hudson, 1977) e a (3), a partir de três chuvas convectivas na região central do Estado de São Paulo (Wagner & Massambani, 1988).

O índice de erosividade originalmente proposto (fator R) foi o EI₃₀ (Wischmeier & Smith, 1978). O EI₃₀ é o produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de 30 minutos consecutivos. Considera-se que esse índice representa, adequadamente, o efeito erosivo do impacto da gota de chuva, bem como o da enxurrada (Lal, 1988). Hudson (1977), trabalhando na África austral, observou que chuvas com intensidade abaixo de 25 mm h⁻¹ não produziam perdas de solo significativas. Esse autor propôs que o índice mais adequado para estimar a erosividade em regiões tropicais seria o KE > 25, que representa a soma da energia cinética dos segmentos de chuva com intensidade superior a 25 mm h⁻¹. O índice KE > 10 é uma adaptação às condições pluviométricas da Inglaterra (Reyes & Gayle, 1995). Lal (1988) constatou que, para chuvas tropicais de alta intensidade, os índices que melhor se correlacionaram com as perdas de solo foram os de tipo PI_m, que representam o

produto da quantidade de chuva precipitada pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de "m" minutos consecutivos.

Diversos trabalhos têm procurado definir o melhor índice de erosividade para as diferentes condições brasileiras. Tal índice seria aquele que melhor se correlacionasse com as perdas de solo, como feito por Wischmeier & Smith (1958). Embora os coeficientes de correlação entre o EI₃₀ e as perdas de solo no Brasil sejam comumente inferiores aos encontrados em outros países (Morais, 1986), eles ainda assim são superiores aos obtidos com o uso do KE > 25 (Quadro 1). Não obstante, geralmente não é observada diferença estatística entre ambos. Índices do tipo PI_m são pouco estudados, sendo, portanto, arriscado generalizar sobre sua aplicação no Brasil.

A erodibilidade do solo representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em face aos processos erosivos (Lal, 1988). Todavia, o fator K (perdas de solo por unidade de índice de erosividade) da EUPS não representa integralmente a erodibilidade do solo (Römkens, 1987). Para aumentar sua praticidade e utilidade, foi necessário impor-lhe algumas restrições, principalmente no que concerne ao tamanho e condições das parcelas usadas para sua determinação (Bryan et al., 1989; Renard & Ferreira, 1993; Loch & Pocknee, 1995). Tendo em vista a maior amplitude de valores que a erodibilidade (fator K) pode apresentar, de local para local, afirma-se que ela possui importância ligeiramente superior à da erosividade (fator R), não tão variável para a predição de perdas de solo através da EUPS (Renard et al., 1991).

No Brasil, um número considerável de solos já tem seu valor de erodibilidade determinado, principalmente com uso do simulador de chuvas. Conforme levantamento feito por Denardin (1990), a erodibilidade de solos com horizonte B latossólico varia de 0,002 a 0,034 t h (MJ mm)⁻¹, ao passo que a dos solos que possuem horizonte B textural fica entre 0,004 e 0,044 t h (MJ mm)⁻¹. Esses valores colocam os solos do primeiro grupamento nas classes de erodibilidade muito baixa e baixa e, os do segundo, nas classes muito baixa, baixa e moderada (Freire & Pessotti, 1974, após correção de Foster et al., 1981). Apesar de a tendência geral dos solos mais intemperizados apresentar menor erodibilidade, a variação nos valores, principalmente em se tratando de solos de regiões tropicais, é tamanha que se torna demasiado arriscado estimar um valor de erodibilidade, baseando-se, unicamente, na classificação do solo (El-Swaify & Dangler, 1982).

Diante da premência de dados sobre erosão na região dos cerrados, em consonância com sua importância agrícola, os objetivos deste trabalho foram: (a) testar as equações para cálculo da energia cinética propostas por Wischmeier & Smith (1958) e Wagner & Massambani (1988); (b) testar a adequação de diferentes índices de erosividade; e (c) estimar o fator K para dois solos da região de Sete Lagoas (MG).

Quadro 1. Coeficientes de correlação (r) obtidos entre três índices de erosividade e perdas de solo em várias regiões do Brasil

Índices de erosividade			n	Local	Solo	Fonte
EI ₃₀	KE > 25	PI ₃₀				
0,77*			80	Ponta Grossa (PR)	LE ⁽¹⁾	Biscaia et al. (1981)
0,72*			108	Londrina (PR)	LR ⁽²⁾	Biscaia et al. (1981)
0,75**	0,71**	0,75**	109	Guaíba (RS)	PV ⁽³⁾	Morais (1986); Morais et al. (1988)
0,70**	0,61**	0,71**	118	Ijuí (RS)	LR	Morais (1986); Morais et al. (1988)
0,76**	0,69**	0,76**	102	Santa Maria (RS)	PV	Morais (1986); Morais et al. (1988)
0,67**	0,72**	0,66**	116	Planaltina (DF)	LE	Dedecek (1988)
0,80**	0,79**		1011	Mococa (SP)	PV	Carvalho et al. (1989)
0,70**			22	Lages (SC)	C ⁽⁴⁾	Bertol & Miquelutti (1993)
0,73**	0,63**		42	Caruaru (PE)	RE ⁽⁵⁾	Cantalice & Margolis (1993)
0,75**	0,65**		127	Glória do Goitá (PE)	PV	Cantalice & Margolis (1993)
0,68**	0,67**		499	Campinas (SP)	LR	Carvalho et al. (1993)
0,62**	0,56**	0,60**	80	Caruaru (PE)	RE	Albuquerque et al. (1994)
0,61**			317	Pindorama (SP)	PV	Carvalho et al. (1994)
	0,64*		234	Alagoinha (PB)	TR ⁽⁶⁾	Chaves & Nascimento (1994)
0,75 nd			nd	Ponta Grossa (PR)	LE	Jacobs et al. (1994)
0,78 nd			nd	Paranavaí (PR)	LE	Jacobs et al. (1994)

⁽¹⁾ Latossolo Vermelho-Escuro; ⁽²⁾ Latossolo Roxo; ⁽³⁾ Podzólico Vermelho-Amarelo; ⁽⁴⁾ Cambissolo; ⁽⁵⁾ Regossolo; ⁽⁶⁾ Terra Roxa Estruturada.
Nota: n = número de observações; nd = dado não disponível; níveis de significância: * 5% e ** 1%.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na área experimental do CNPMS-EMBRAPA, em Sete Lagoas (MG), na região dos cerrados (19°25' S e 44°15' W; 732 m de altitude). O clima, na classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical estacional de savana). A temperatura média anual é de 22,1°C, e as médias do mês mais frio e do mês mais quente são, 18,9°C (julho) e 24,0°C (fevereiro). A precipitação média anual é de 1.340 mm, sendo dezembro o mês mais chuvoso e agosto, o mais seco (Sans, 1986). O período de estudo foi de fevereiro de 1993 a dezembro de 1995. O primeiro ano após instalação do experimento (1992) foi ignorado, para garantir a decomposição dos resíduos vegetais anteriores (McGregor et al., 1969).

Os pluviogramas diários (modelo convencional) foram cotados manualmente em segmentos de intensidade uniforme, e os índices erosivos calculados pelo programa computacional proposto por Maria (1994), adaptado de Cataneo et al. (1982). Uma vez que esse programa faz distinção entre chuvas erosivas e não erosivas, todas as chuvas precipitadas durante o período foram registradas, deixando-se a cargo do programa fazer a distinção entre elas. O programa considerou como chuvas não erosivas as menores que 10 mm, com intensidade máxima em 15 minutos menor que 24 mm h⁻¹ ou energia cinética abaixo de 3,6 MJ ha⁻¹ (Maria, 1994). Foram consideradas chuvas distintas aquelas separadas por um período superior a seis horas com precipitação menor que 1 mm.

A energia cinética da chuva foi calculada conforme as equações (1) e (3). Como o diâmetro das gotas não aumenta quando a intensidade da chuva é maior que 76 mm h⁻¹, considerou-se como limite máximo para a energia cinética o valor 0,283 MJ (ha mm)⁻¹ (Reyes & Gayle, 1995). Os índices de erosividade (EI_m) calculados através da equação de energia cinética

proposta por Wischmeier & Smith (1958) receberam as iniciais "ws" e os calculados através da de Wagner & Massambani (1988) foram identificados pelas iniciais "wm".

Os índices do tipo EI_mws e EI_mwm foram originados a partir da multiplicação da energia cinética total (EC) das chuvas erosivas pela intensidade máxima verificada em qualquer período de "m" minutos consecutivos (I_m). De modo semelhante, os índices do tipo PI_m foram calculados, multiplicando a precipitação total ocorrida em cada evento erosivo (P) por I_m. O programa forneceu os valores de I_m, variando "m" de 5 a 60 em intervalos de 5 minutos. Os índices KE > 25 ws, KE > 25 wm, KE > 10 ws e KE > 10 wm são a soma da energia cinética dos segmentos de chuva com intensidade superior a 25 e 10 mm h⁻¹, respectivamente. Os valores diários, mensais e anuais da energia cinética (ECws e ECwm), dos índices KE > 25 ws, KE > 25 wm, KE > 10 ws e KE > 10 wm, das intensidades máximas (I_m), bem como a altura precipitada (P), foram fornecidos pelo programa desenvolvido por Maria (1994).

Instalaram-se as parcelas (3,5 x 21,7 m) sobre dois solos representativos da região: latossolo vermelho-escuro (LE) álico A moderado textura muito argilosa fase cerrado tropical subcaducifólio relevo ondulado e podzólico vermelho-amarelo (PV) Tb álico (epidistrófico) A moderado textura argilosa/muito argilosa fase floresta tropical subperenifólia relevo ondulado. As declividades médias são 0,091 e 0,104 mm⁻¹, respectivamente. Algumas características físicas e químicas dos solos são mostradas no quadro 2.

O sistema coletor de solo e enxurrada possuía uma caixa de decantação (0,5 m³) ligada por um divisor Geib (1/15) a uma caixa de armazenamento (1 m³). As parcelas, limitadas por chapas galvanizadas, foram mantidas dentro das condições preconizadas por Wischmeier & Smith (1978) para a parcela-padrão, a

Quadro 2. Características físicas e químicas dos solos estudados

Horizonte	Profundidade cm	Areia		Silte	Argila	C orgânico	Soma de bases mmol _c kg ⁻¹	Grau de estrutura
		Grossa	Fina					
Latossolo vermelho-escuro⁽¹⁾								
A	0-22	50	42	218	690	25	12	Fraco
B	22-195	55	42	145	758	13	1	Forte
Podzólico vermelho-amarelo								
A	0-20	62	47	366	525	21	79	Moderado
B	20-100	31	23	237	709	9	49	Moderado

⁽¹⁾ Fonte: Ker & Schaefer (1995).

fim de que os fatores C e P fossem equivalentes à unidade. Para toda chuva formadora de enxurrada, mediram-se o volume de enxurrada e a quantidade de sedimentos produzidos. A seguir, as caixas e todo o sistema coletor eram esvaziados e limpos.

Foram feitas correlações de Pearson, para ambos os solos, entre os valores mensais das perdas de solo e os dos índices de erosividade. Não foi feita correlação para eventos erosivos individuais em virtude de o pluviógrafo ter sido instalado junto às parcelas do PV, distante cerca de um quilômetro das parcelas do LE. As correlações foram comparadas quanto à sua significância pelo teste t de Student. Foi também efetuado teste, proposto por Graybill, visando verificar a homogeneidade dos coeficientes de correlação (r), quando comparados dois a dois (Albuquerque et al., 1994).

Para determinação do fator K, realizaram-se análises de regressão linear simples (Bertol, 1994). Nas equações obtidas do tipo $Y = a + bX$, Y corresponde às perdas de solo, X à erosividade, b, aos fatores KLS, e a, ao resultado da influência de outros fatores como: umidade antecedente ao início do evento, infiltração anterior ao começo da enxurrada e retenção devida à rugosidade superficial (Biscaia et al., 1981). Avaliou-se, também, um modelo cuja reta foi forçada a passar pela origem ($Y = bX$), tendo seus parâmetros o mesmo significado do modelo anterior (McGregor et al., 1969). Todas as equações foram submetidas ao teste F.

A correção topográfica (fator LS) foi feita para um comprimento de 22,1 m e declividade de 0,09 mm⁻¹, mediante a seguinte equação (Bertoni & Lombardi Neto, 1990):

$$LS = 0,01 L^{0,5} (1,36 + 0,97 S + 0,1385 S^2) \quad (4)$$

onde: LS é o fator topográfico, adimensional; L, o comprimento do declive, em metros, e S, o grau do declive, em porcentagem. Devido à heterogeneidade do grau do declive, realizou-se correção conforme Wischmeier & Smith (1978).

Para cada solo, calculou-se, também, o limite máximo de perdas de solo anuais que podem ser toleradas sem prejuízo da produtividade. Para tal, usou-se o método proposto por Galindo & Margolis (1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período estudado, houve 95 eventos classificados como erosivos (33% do total), os quais foram responsáveis por 91% das perdas de solo do PV, sendo os 9 % restantes devidos a chuvas classificadas como não erosivas. O critério para separar as chuvas quanto ao caráter erosivo (Maria, 1994), embora amplamente usado, talvez não seja adequado para essa região. A omissão das chuvas não erosivas é justificável, pois, além de facilitar o processamento dos dados, tal artifício se fundamenta na necessidade de certa quantidade de chuva para começar o escoamento superficial (McGregor et al., 1995). No entanto, a inclusão de tais chuvas não alteraria significativamente o valor final da erosividade (McGregor et al., 1995) e eliminaria o problema de chuvas não erosivas contribuírem para a erosão. Além do mais, meios digitalizadores atuais tornam o processamento dos dados mais fácil e rápido.

No quadro 3 observam-se os coeficientes de correlação (r) de Pearson obtidos. Todos foram significativos ao nível de 1% pelo teste t de Student. Como se optou por fazer correlações com valores mensais, o número de pares de dados foi muito reduzido (n = 35), devendo-se a isso a ausência de diferença estatística entre os coeficientes de correlação pelo teste de homogeneidade de Graybill ao nível de 5%. As perdas do PV mostraram-se mais relacionadas à erosividade que as do LE. No entanto, os coeficientes de correlação mantiveram-se altos para ambos os solos. Deve ser escolhido, para cada região fisiográfica ou estado, um único índice de erosividade, tornando mais prática a avaliação do potencial erosivo e a confecção de mapas de linhas isoerosivas (Morais, 1986); por esse motivo, serão comentados os resultados referentes apenas aos valores médios dos coeficientes de correlação encontrados.

Tais coeficientes são semelhantes ou ligeiramente superiores aos obtidos para outras localidades brasileiras (Quadro 1). Como geralmente acontece, porém, foram inferiores aos alcançados em outros países (Cantalice & Margolis, 1993). É possível que outras variáveis, não contempladas ou não relacionadas aos índices testados, sejam mais diretamente

Quadro 3. Coeficientes de correlação (r) de Pearson entre perdas de dois solos e índices de erosividade mensais da chuva de Sete Lagoas (MG)

Índice de erosividade	LE ⁽¹⁾	PV ⁽²⁾	Média
Precipitação mensal	0,67 **	0,83 **	0,75 **
KE > 25 ws ⁽³⁾	0,66 **	0,89 **	0,78 **
KE > 25 wm ⁽⁴⁾	0,66 **	0,89 **	0,78 **
KE > 10 ws	0,60 **	0,89 **	0,75 **
KE > 10 wm	0,60 **	0,90 **	0,75 **
EI ₅ ws	0,66 **	0,90 **	0,78 **
EI ₁₀ ws	0,70 **	0,86 **	0,78 **
EI ₁₅ ws	0,72 **	0,84 **	0,78 **
EI ₂₀ ws	0,72 **	0,85 **	0,79 **
EI ₂₅ ws	0,73 **	0,86 **	0,80 **
EI ₃₀ ws	0,72 **	0,87 **	0,80 **
EI ₃₅ ws	0,72 **	0,88 **	0,80 **
EI ₄₀ ws	0,71 **	0,89 **	0,80 **
EI ₄₅ ws	0,71 **	0,89 **	0,80 **
EI ₅₀ ws	0,70 **	0,89 **	0,80 **
EI ₅₅ ws	0,70 **	0,89 **	0,80 **
EI ₆₀ ws	0,70 **	0,89 **	0,80 **
EI ₅ wm	0,66 **	0,90 **	0,78 **
EI ₁₀ wm	0,69 **	0,86 **	0,78 **
EI ₁₅ wm	0,72 **	0,84 **	0,78 **
EI ₂₀ wm	0,72 **	0,85 **	0,79 **
EI ₂₅ wm	0,72 **	0,86 **	0,79 **
EI ₃₀ wm	0,72 **	0,87 **	0,80 **
EI ₃₅ wm	0,72 **	0,87 **	0,80 **
EI ₄₀ wm	0,71 **	0,89 **	0,80 **
EI ₄₅ wm	0,70 **	0,89 **	0,80 **
EI ₅₀ wm	0,69 **	0,89 **	0,79 **
EI ₅₅ wm	0,69 **	0,89 **	0,79 **
EI ₆₀ wm	0,69 **	0,89 **	0,79 **
PI ₅	0,65 **	0,89 **	0,77 **
PI ₁₀	0,68 **	0,86 **	0,77 **
PI ₁₅	0,70 **	0,83 **	0,77 **
PI ₂₀	0,71 **	0,84 **	0,78 **
PI ₂₅	0,71 **	0,86 **	0,79 **
PI ₃₀	0,70 **	0,86 **	0,78 **
PI ₃₅	0,70 **	0,87 **	0,79 **
PI ₄₀	0,69 **	0,88 **	0,79 **
PI ₄₅	0,69 **	0,88 **	0,79 **
PI ₅₀	0,68 **	0,88 **	0,78 **
PI ₅₅	0,68 **	0,89 **	0,79 **
PI ₆₀	0,68 **	0,89 **	0,79 **

⁽¹⁾ Latossolo vermelho-escuro; ⁽²⁾ Podzólico vermelho-amarelo. **Significativo ao nível de 1%. ⁽³⁾ ws: erosividade da chuva calculada segundo equação de energia cinética proposta por Wischmeier & Smith (1958). ⁽⁴⁾ wm: erosividade da chuva calculada segundo equação de energia cinética proposta por Wagner & Massambani (1988).

ligadas à erosividade. O volume de enxurrada produzido (não estudado) parece mais representativo da erosividade que parâmetros puramente pluviais (Carvalho et al., 1993, 1994; Kinnel, 1995). Entretanto, a adoção deste índice, ou combinações dele, como o fator R da USLE, tornaria o fator erosividade específico a cada solo e, sua determinação, sujeita às mesmas limitações do fator K. Da análise dos dados, também se evidencia tendência de menor poder preditivo da quantidade de precipitação mensal quando considerada isoladamente (Wischmeier & Smith, 1958; Bertol & Miquelutti, 1993; McGregor et al., 1995).

Independentemente do índice considerado (EI_mws, EI_mwm ou PI_m), houve tendência de os coeficientes

de correlação crescerem com o aumento de "m", fornecendo os maiores valores para "m" de 35 a 45. O fato de as melhores correlações se terem dado com valores de "m" elevados significa que as perdas de solo estão mais associadas a chuvas longas, situação em que o escoamento superficial é aumentado devido à redução na velocidade de infiltração da água no solo (Albuquerque et al., 1994).

Os índices KE > 25 ws e KE > 25 wm proporcionaram valores intermediários de r. Apesar de terem sido propostos para chuvas em regiões tropicais, seu desempenho tem sido constantemente inferior ao de outros índices (Morais, 1986; Dedecek, 1988; Carvalho et al., 1989, 1993; Cantalice & Margolis, 1993; Albuquerque et al., 1994; Chaves & Nascimento, 1994). No entanto, a maioria dos trabalhos usa, para cálculo do índice de Hudson, as equações de energia cinética (1) ou (3), e não a (2), como proposto no método original (Hudson, 1977). Outra razão para a baixa performance do KE > 25 no Brasil também pode estar ligada às parcelas utilizadas por Hudson, que diferiam da condição padrão proposta por Wischmeier & Smith em 1978 (Cantalice & Margolis, 1993).

Os índices KE > 10 ws e KE > 10 wm apresentaram valores de coeficientes de correlação ligeiramente menos correlacionados, em termos absolutos, com as perdas de solo que os índices KE > 25 ws e KE > 25 wm. Entretanto, chuvas de intensidade baixa (10 a 25 mm h⁻¹), mas de longa duração (frontais), podem ser, na verdade, mais erosivas do que chuvas de alta intensidade e curta duração (convectivas). Na região dos cerrados, chuvas frontais, embora de menor erosividade (medida pelo EI₃₀ ws), causam maiores perdas de solo que chuvas convectivas de alta erosividade, fato relacionado à umidade antecedente do solo (Dedecek, 1988).

Os índices do tipo PI_m tiveram um resultado satisfatório, superior, em termos absolutos, aos derivados a partir de Hudson. Todavia, ficaram ligeiramente abaixo dos do tipo EI_mws e EI_mwm. Uma das vantagens desse índice era a maior facilidade com que é calculado, relativa aos EI_mws e EI_mwm (Lal, 1988). Contudo, atualmente, com os recursos computacionais, essa vantagem deixou de existir.

Entre os índices estudados, o EI_mws e o EI_mwm apresentaram tendência de ser mais associados às perdas de solo. O coeficiente de correlação médio encontrado foi de 0,79 para ambos. Através da equação de Wagner & Massambani (1988), têm-se obtido resultados semelhantes aos produzidos com a equação de Wischmeier & Smith em 1958 (Carvalho et al., 1993; Jacobs et al., 1994). McGregor et al. (1995), analisando equações de energia cinética, concluíram que existem apenas ligeiras diferenças nos resultados finais de erosividade, mesmo quando se comparam equações desenvolvidas localmente com equações provenientes de outras condições. Contudo, talvez a equação de Wagner & Massambani (1988) gerasse resultados melhores se, no seu desenvolvimento, tivessem sido utilizados dados provenientes de maior número de chuvas.

A figura 1 apresenta as regressões lineares simples obtidas entre a erosividade (EI_{30ws}) e as perdas de solo mensais. Tais perdas foram muito maiores no PV. As equações do tipo $Y = bX$ mostraram coeficientes de determinação apenas ligeiramente inferiores, em termos absolutos, aos das do tipo $Y = bX + a$, acontecendo o mesmo com o coeficiente b (KLS). O modelo $Y = bX$ possui a vantagem de não apresentar perdas de solo sem erosividade, nem erosividade sem perdas de solo, o que sucede, respectivamente, no LE e no PV, quando o modelo $Y = bX + a$ é considerado.

As perdas anuais máximas toleradas por solo são, respectivamente, 12,72 e 10,44 t ha⁻¹, para LE e PV. Esses valores são superiores aos calculados por Galindo & Margolis (1989) para solos de Pernambuco. Os solos estudados possuem teores de matéria orgânica altos no horizonte A e médios no B e profundidade efetiva igual ao máximo considerado no cálculo do limite de perdas toleráveis (Quadro 2), fatores que ajudam a explicar sua elevada tolerância às perdas por erosão. Na condição padrão, para que haja perdas de solo equivalentes às máximas toleráveis por mês, é necessário que a erosividade mensal seja 431 MJ mm (ha h)⁻¹ para o LE, enquanto, para causar as mesmas perdas, são precisos apenas 23 MJ mm (ha h)⁻¹ para o PV, o que reflete o efeito da sua maior erodibilidade.

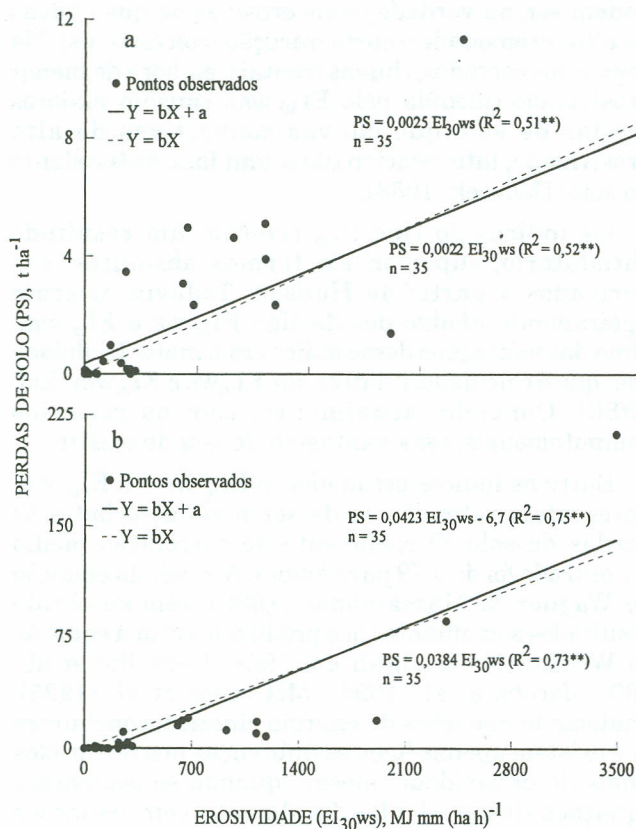


Figura 1. Relação entre perdas de solo (PS) e erosividade mensal (EI_{30ws}) para o latossolo vermelho-escuro (a) e o podzólico vermelho-amarelo (b) da região de Sete Lagoas (MG).

Após corrigida pelo fator LS e usando-se a equação $Y = bX$, a erodibilidade dos solos foi calculada em 0,002 e 0,033 t h (MJ mm)⁻¹, para LE e PV, respectivamente. Esses valores são classificados como muito baixo e baixo (Freire & Pessotti, 1974, após correção de Foster et al., 1981) - classificação que talvez esteja subestimando as reais necessidades de práticas conservacionistas no PV - são próximos aos que vêm sendo relatados para solos semelhantes no Brasil (Denardin, 1990; Campos Filho et al., 1992; Carvalho et al., 1993, 1994) e em outros países tropicais (El-Swaify & Dangler, 1982).

Em virtude da decomposição da matéria orgânica e da conseqüente diminuição da estabilidade dos agregados, é aconselhável não se ter esses valores como definitivos, mas como aproximações que devem ser melhoradas em trabalhos futuros.

CONCLUSÕES

1. Não houve diferença estatística significativa entre as equações testadas para cálculo da energia cinética das chuvas.
2. O índice EI_{30} mostrou-se um bom estimador da erosividade da chuva e pode continuar sendo utilizado como o fator R da EUPS.
3. Os valores da primeira aproximação do fator K da EUPS, para o latossolo vermelho - escuro e o podzólico vermelho - amarelo da região de Sete Lagoas (MG), são, respectivamente, 0,002 e 0,033 t h (MJ mm)⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos professores M.M. Ferreira e J.M. Lima (DCS-UFLA), pelas valiosas sugestões quando da revisão da primeira versão deste trabalho, e aos estagiários M.A. Carolino de Sá, D.C. Siqueira e R.R. Santiago, pelo auxílio na cotagem dos pluviogramas.

LITERATURA CITADA

- ALBALADEJO MONTORO, J. & STOCKING, M.A. Comparative evaluation of two models in predicting storm soil loss from erosion plots in semi-arid Spain. *Catena*, Cremlingen, 16:227-236, 1989.
- ALBUQUERQUE, A.W.; CHAVES, I.B. & VASQUES FILHO, J. Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num Regossolo eutrófico de Caruaru (PE). *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 18:279-283, 1994.
- BERTOL, I. Erodibilidade de um Cambissolo húmico distrófico determinada sob chuva natural: primeira aproximação. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 18:335-338, 1994.
- BERTOL, I. & MIQUELLUTI, D.J. Perdas de solo, água e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. *Pesq. Agropec. bras.*, Brasília, 28:1205-1213, 1993.

- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.
- BISCAIA, R.C.M.; RUFINO, R.L. & HENKLAIN, J.C. Cálculo de erodibilidade (fator K) de dois solos do Estado do Paraná. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 5:183-186, 1981.
- BRYAN, R.B.; GOVERS, J. & POESEN, J. The concept of soil erodibility and some problems of assessment and application. Catena, Cremlingen, 16:393-412, 1989.
- CAMPOS FILHO, O.R.; SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. & LEPRUN, J.C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no agreste de Pernambuco. Pesq. Agropec. bras., Brasília, 27:1363-1370, 1992.
- CANTALICE, J.R.B. & MARGOLIS, E. Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do agreste de Pernambuco. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 17:275-281, 1993.
- CARVALHO, M.P.; CATANEO, A. & LOMBARDI NETO, F. Índices de erosividade da chuva e enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um latossolo roxo distrófico de Campinas (SP). R. bras. Ci. Solo, Campinas, 17:445-450, 1993.
- CARVALHO, M.P.; CATANEO, A. & LOMBARDI NETO, F. Fator erosividade da chuva e enxurrada para chuvas individuais de Pindorama (SP). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., Florianópolis, 1994. Resumos. Florianópolis, SBSCS, 1994. p.150-151.
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. & CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI_{30} . R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13:243-249, 1989.
- CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C. & ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 6:236-239, 1982.
- CHAVES, I.B. & NASCIMENTO, C.W.A. Características da chuva e relação com perdas de solo em Alagoinha-PB. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., Florianópolis, 1994. Resumos. Florianópolis, SBSCS, 1994. p.166-167.
- DEDECEK, R.A. Fatores de erosividade da chuva, enxurrada e perdas de solo sob condições de cerrado. Pesq. Agropec. bras., Brasília, 23(12):1431-1438, 1988.
- DENARDIN, J.E. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba, ESALQ, 1990. 81p. (Tese de Doutorado)
- EL-SWAIFY, S.A. & DANGLER, E.W. Rainfall erosion in the tropics: a state of art. In: KREBS, D.M., ed. Determinants of soil loss tolerance. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.1-25.
- FOSTER, G.R.; McCOOL, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. J. Soil Water Cons., Ankeny, 36:355-359, 1981.
- FOSTER, G.R.; YOUNG, R.A.; RÖMKENS, M.J.M. & ONSTAD, C.A. Processes of soil erosion by water. In: FOLLET, R.F. & STEWART, B.A., eds. Soil erosion and crop productivity. Madison, Soil Science Society of America, 1985. p.137-158.
- FREIRE, O. & PESSOTTI, J.E.S. Erodibilidade dos solos do Estado de São Paulo. Anais da ESALQ, Piracicaba, 33:333-350, 1974.
- GALINDO, I.C.L. & MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do Estado de Pernambuco. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13:95-100, 1989.
- HUDSON, N. Soil conservation. Ithaca, Cornell University Press, 1977. 320p.
- JACOBS, G.A.; ROLOFF, G.; BISCAIA, R.C.M. & MERTEN, G. Erosividade da chuva correlacionada com perdas de solo de dois latossolos vermelho-escuros (texturas argilosa e média): uma aproximação do fator erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., Florianópolis, 1994. Resumos. Florianópolis, SBSCS, 1994. p.170-171.
- KER, J.C. & SCHAEFER, C.E.R. Roteiro da excursão pedológica Viçosa-Sete Lagoas. Viçosa, SBSCS/UFV/CNPS-EMBRAPA, 1995. 47p.
- KINNEL, P.I.A. Rainfall intensity-kinetic energy relationships for soil loss prediction. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 45:153-155, 1981.
- KINNEL, P.I.A. The $I_x E_A$ erosivity index: an index with the capacity to give more direct consideration to hydrology in predicting short-term erosion in the USLE modeling environment. J. Soil Water Cons., Ankeny, 50:507-512, 1995.
- LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R., ed. Soil erosion research methods. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1988. p.141-160.
- LOCH, R.J. & POCKNEE, C. Effects of aggregation on soil erodibility: Australian experience. J. Soil Water Cons., Ankeny, 50:504-506, 1995.
- McGREGOR, K.C.; BINGER, R.L.; BOWIE, A.J. & FOSTER, G.R. Erosivity index values for northern Mississippi. Transac. ASAE, St. Joseph, 38:1039-1047, 1995.
- McGREGOR, K.C.; GREER, J.D.; GURLEY, G.E. & BOLTON, G.C. Erodibility factors for Loring and Lexington soils. J. Soil Water Cons., Ankeny, 24:231-232, 1969.
- MARIA, I.C. de. Cálculo da erosividade da chuva. In: LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. de; DECHEN, S.C.F.; VIEIRA, S.R. & MARIA, I.C. de. Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo. Campinas, IAC-SCS, 1994. n.p.
- MORAIS, L.F.B. Índice de erosividade de chuvas naturais correlacionadas com perdas de solo em três locais do Rio Grande do Sul. Santa Maria, UFSM, 1986. 108p. (Dissertação de Mestrado)

- MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 12:281-284, 1988.
- RENARD, K.G. & FERREIRA, V.A. RUSLE model description and database sensitivity. J. Environ. Qual., 22:458-466, 1993.
- REYES, M.R. & GAYLE, G.A. Automatic calculation of rainfall erosivity. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 38:551-553, 1995.
- RÖMKENS, M.J.M. The soil erodibility factor: a perspective. In: HARLIN, J.M. & BERARDI, G.M., eds. Agricultural soil loss: processes, policies and prospects. Boulder, Westview, 1987. p.125-149.
- SANS, L.M.A. Estimativa do regime de umidade pelo método de Newhall, de um latossolo vermelho-escuro álico da região de Sete Lagoas, MG. Viçosa, UFV, 1986. 190p. (Tese de Doutorado)
- TOY, T.J. & OSTERKAMP, W.R. The applicability of RUSLE to geomorphic studies. J. Soil Water Conserv., Ankeny, 50:498-503, 1995.
- WAGNER, C.S. & MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 12:197-203, 1988.
- WISCHMEIER, W.H. Use and misuse of the universal soil loss equation. J. Soil Water Conserv., Ankeny, 31:5-9, 1976.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. Trans. Am. Geophys. Union, Washington, 39:285-291, 1958.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537)