



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M.

FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA DE PIRAJU (SP): DISTRIBUIÇÃO, PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA, PERÍODO DE RETORNO E CORRELAÇÃO COM O COEFICIENTE DE CHUVA

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 25, núm. 1, 2001, pp. 147-156

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218347017>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA DE PIRAJU (SP): DISTRIBUIÇÃO, PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA, PERÍODO DE RETORNO E CORRELAÇÃO COM O COEFICIENTE DE CHUVA⁽¹⁾

C. G. ROQUE⁽²⁾, M. P. CARVALHO⁽³⁾ & R. M. PRADO⁽²⁾

RESUMO

Foram selecionadas 874 chuvas individuais erosivas, de uma série contínua de 23 anos de registros de dados pluviográficos. As chuvas selecionadas foram cotadas, digitalizadas e, posteriormente, analisadas. O índice de erosividade, EI_{30} , médio anual calculado foi de $7.074 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Espera-se que este índice ocorra no local pelo menos uma vez a cada 2,33 anos, com uma probabilidade de 42,92%. Os valores dos índices anuais de erosividade de Piraju, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram, respectivamente, de 6.696, 8.730, 10.076, 11.367, 13.039 e $14.292 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Foi observada uma distribuição de 78,5% do total da erosividade anual durante o semestre de outubro a março, indicando que, nesse período, era esperada a maior parte das perdas de solo por erosão. Observou-se elevada correlação entre o índice de erosividade, EI_{30} , médio mensal e o coeficiente de chuva. Portanto, a equação de regressão determinada permite que seja estimado, com boa margem de segurança, o EI_{30} para outros locais que não possuam dados pluviográficos, mas que disponham de dados pluviométricos e condições climáticas semelhantes às de Piraju (SP).

Termos de indexação: fator R, erosão do solo, equação universal de perda de solo, erosividade.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sistema de Produção da Faculdade de Engenharia – Universidade do Estado de São Paulo - UNESP, Campus de Ilha Solteira (SP). Recebido para publicação em dezembro de 1999 e aprovado em outubro de 2000.

⁽²⁾ Doutorando do Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP. Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14870-000 Jaboticabal (SP). E-mail:cgroque@fcav.unesp.br

⁽³⁾ Professor Assistente do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural, Faculdade de Engenharia, UNESP. Caixa Postal 31, CEP 15385-000. Ilha Solteira (SP). E-mail:morel@agr.feis.unesp.br

SUMMARY: RAINFALL EROSION FACTOR AT PIRAJU (SP), BRAZIL: DISTRIBUTION, PROBABILITY OF OCCURRENCE, RETURN PERIOD AND CORRELATION WITH RAINFALL COEFFICIENT

A set of 874 erosive individual rainfall occurrences was selected from a continuous serie of twenty-three years of recording rain gauge data. All the selected rainfall occurrences were analized. The rainfall erosivity factor computed was 7074 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ y⁻¹, which is expected to occur at least once every 2.33 years, with a probability of occurrence of 42.92%. The values of the annual erosivity indexes at that site expected for the return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years, were respectively 6,696, 8,730, 10,076, 11,367, 13,039, and 14,292 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ y⁻¹. The most annual soil loss is expected to occur between the months of October and March (78.5%) where 46.9% occurs between december and february of the total annual erosivity for that period, in whose periods is expected high erosion soil loss. A high correlation was found between the montly average erosivity index EI_{30} and the rainfall coefficient at that site. Therefore, the regression equation obtained allows a fair estimative of the R factor to be used for other regions where climatic conditions are similar to Piraju's and where there are no available data.

Index terms: R factor, soil erosion, universal soil loss equation, erosivity.

INTRODUÇÃO

No momento de planejar, projetar, construir ou manter práticas de conservação do solo nas bacias hidrográficas, torna-se necessário preocupar-se com os aspectos relativos à erosão. Dificuldades têm sido encontradas na avaliação quantitativa da erosão, sendo a mais séria devida ao próprio processo erosivo. Para que as taxas de erosão possam ser seguramente previstas dentro de certos limites, todas as variáveis envolvidas precisam ser conhecidas e levadas em consideração. A previsão das taxas de erosão e da produção de sedimentos nas bacias hidrográficas é indispensável ao planejamento conservacionista do solo e da água, razão por que merece atenção quando da feitura de projetos de uso do solo (Lemos & Bahia, 1992).

A equação universal de perda de solo (EUPS) tem o objetivo de predizer a erosão ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) que poderá ocorrer em determinada área, de forma que tal (erosão) fique estabelecida dentro de limites toleráveis. Ela relaciona todos os fatores que influenciam a erosão do solo, ou seja: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento e grau de declive (L e S), uso, manejo e cobertura do solo (C), além de práticas conservacionistas de suporte (P) (Wischmeier & Smith, 1978). Dessa forma, a EUPS é de importância fundamental para estabelecer o correto uso e manejo do solo e, consequentemente, para relacionar as práticas conservacionistas adequadas (Carvalho, 1987).

O solo é um dos recursos naturais mais intensamente utilizados na produção de alimentos e, por isso, pode ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão, pelo uso e manejo inadequados. Desse modo, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las é de fundamental importância para o planejamento conservacionista.

Dentre esses fatores, destaca-se a erosividade da chuva (fator R da EUPS), que representa o potencial da chuva e enxurrada na produção da erosão do solo. Sua determinação define a melhor época para o estabelecimento das práticas de manejo e conservação do solo (Val et al., 1986), potencial este obtido pelo produto entre a energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em 30 min (Wischmeier & Smith, 1978).

Pesquisas têm indicado que, quando todos os fatores da EUPS, com exceção da erosividade, são mantidos constantes, as perdas de solo causadas por uma chuva qualquer são diretamente proporcionais ao seu índice de erosividade (Carvalho, 1987; Marques et al., 1997; Colodro, 1999). O índice de erosividade EI_{30} , desenvolvido nos EUA (Wischmeier & Smith, 1978), tem sido calculado e testado em diversos países, sendo sua adaptabilidade questionada em países tropicais e subtropicais (Hudson, 1973; Lal, 1976).

No Brasil, o índice de erosividade EI_{30} tem sido amplamente determinado (Lombardi Neto, 1977; Castro Filho et al., 1982; Pereira, 1983; Margolis et al., 1985; Medina & Oliveira Jr., 1987; Carvalho,

1987; Moraes et al., 1988; Bertol, 1993; 1994; Colodro, 1999; Roque & Carvalho, 1999). No estado de São Paulo, o fator R vem sendo calculado, entre outras, para as seguintes localidades: Campinas (Lombardi Neto, 1977), Piracicaba (Pereira, 1983), Mococa (Carvalho, 1987), Pindorama (Sosa, 1987), Teodoro Sampaio (Colodro, 1999) e Novo Horizonte (Roque & Carvalho, 1999), com a intenção de que tais locais venham a representar uma cobertura da área do estado de forma homogênea e bem distribuída. Tal atitude agilizará o uso das equações de estimativa da erosividade da chuva por meio do coeficiente de chuva.

Dentro desse enfoque, os objetivos do presente trabalho foram: (a) determinar o fator erosividade da chuva para o município de Piraju (SP), assim como o seu período de retorno e sua probabilidade de ocorrência, por meio do EI_{30} , contribuindo, assim, para o detalhamento e aprimoramento do mapa de linhas isoerossivas do estado de São Paulo; (b) estudar a distribuição anual, sazonal e mensal do índice de erosividade; (c) definir o período de retorno, tanto para os valores dos índices anuais de erosividade, como para os valores máximos anuais das chuvas individuais erosivas, e (d) correlacionar o índice de erosividade EI_{30} médio mensal com o coeficiente de chuva local.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizando 874 chuvas individuais erosivas dos dados pluviográficos do período de 01/01/1975 a 31/12/1997 do município de Piraju (SP), obtidos junto ao Departamento Estadual de Água e Energia Elétrica – DAEE, pertencente à Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras, no trabalho realizado entre 01/03/1998 a 19/11/1999, determinou-se a erosividade da chuva de Piraju (SP), utilizando o método de Wischmeier & Smith (1958). O município de Piraju está localizado na latitude 23° 13'W e na longitude 49° 14'S, numa altitude média de 571 m. A precipitação média anual é de 1.482 mm (São Paulo, 1993) e o tipo climático predominante na região é o Cfa, de acordo com critérios de Köppen, caracterizado como mesotérmico úmido (Brasil, 1960).

O pluviógrafo utilizado, tipo sifão IH e modelo Hillman-4, registra incrementos sucessivos e o volume total de chuva, com autonomia para registrar chuvas ocorridas num intervalo de 24 h, sendo movido a corda por meio de um mecanismo de relógio. As chuvas individuais erosivas estudadas (Wischmeier, 1959; Cabeda, 1976; Wischmeier & Smith, 1978) foram obtidas em pluviograma do modelo CED-RE-843, no qual são registrados o volume de chuva e o tempo de ocorrência, respectivamente, na ordenada e na abscissa. Sua amplitude de registro varia de zero a 10,2 mm de precipitação, com unidade de 0,1 mm, durante 24 h, com unidade de 10 em 10 min.

Sobre os pluviogramas, procedeu-se à separação das chuvas individuais erosivas, seguindo o critério de Wischmeier (1959), Cabeda (1976) e Wischmeier & Smith (1978), com pequenas modificações sugeridas por Carvalho (1987), a saber: (a) foram escolhidas as chuvas que apresentaram um volume de 10,0 mm ou mais e (b) foram também escolhidas as chuvas que apresentaram menos de 10,0 mm, se o seu volume em 15 min fosse de 6,0 mm ou mais. A seguir, efetuou-se o cotamento das chuvas nos pontos de inflexão da intensidade, para posterior digitalização e processamento.

A energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em 30 min, I_{30} , foram obtidas por meio do programa desenvolvido por Cataneo et al. (1982), segundo o método de Wischmeier & Smith (1958). Para calcular a energia cinética, foi utilizada a equação de Wischmeier & Smith (1958), reajustada ao Sistema Internacional de Unidades por Foster et al. (1981), dada por:

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (1)$$

sendo: E a energia cinética da chuva no segmento ($MJ ha^{-1} mm^{-1}$), e I a intensidade da chuva no respectivo segmento ($mm h^{-1}$). A intensidade máxima em trinta minutos foi obtida conforme a expressão, proposta por Carvalho (1987):

$$I_{30} = \sum_{i=1}^n (in.tn) / 30 \quad (2)$$

sendo: I_{30} a intensidade máxima da chuva em 30 min ($mm h^{-1}$); i_n o valor da intensidade da chuva de ordem n ($mm h^{-1}$), ocorrida dentro do período de 30 min; t_n o tempo de ocorrência da intensidade da chuva de ordem n, ocorrida dentro do período de 30 min, e 30 o período de tempo, em minutos, no qual se deseja obter a intensidade máxima da chuva.

Para obter o índice de erosividade da chuva, EI_{30} ($MJ mm ha^{-1} h^{-1}$), calculou-se o produto entre a energia cinética total da chuva ($E - MJ ha^{-1}$) e a intensidade máxima em 30 min ($I_{30} - mm h^{-1}$), de acordo com Wischmeier & Smith (1958), agrupadas por decêndios, meses e anos.

As análises do período de retorno e da probabilidade de ocorrência dos índices de erosividade foram efetuadas, utilizando a lei da probabilidade logarítmica e a teoria dos valores extremos, preconizadas em Schwab et al. (1981). O período de retorno, a probabilidade de ocorrência e o valor teórico do índice de erosividade para determinado período de retorno foram obtidos pelas equações 3,4 e 5, respectivamente, descritas a seguir:

$$T = (N + 1)/m \quad (3)$$

sendo: T o período de retorno, no qual o índice de erosividade é igualado ou superado; N o número de anos de registro de dados (tamanho da série), e m o

número de ordem do índice de erosividade, quando a série de dados de erosividade é colocada em ordem decrescente de magnitude;

$$Pr = 100/T \quad (4)$$

sendo: Pr a probabilidade de ocorrência e

$$X_c = X (1 + Cv \cdot k) \quad (5)$$

sendo: X_c o valor teórico do índice de erosividade para determinado período de retorno; X a média aritmética dos índices de erosividade; Cv o coeficiente de variação dos índices de erosividade e k o fator de freqüência do índice de erosividade para o período de retorno desejado. Foi utilizado papel de probabilidade logarítmica para plotar os valores dos índices de erosividade observados, em que os valores dos índices anuais de erosividade, para qualquer período de retorno desejado, ou vice-versa, podem ser facilmente obtidos pela leitura direta na curva de distribuição de probabilidade ou calculados pela aplicação da equação dos valores teóricos. Para determinar o número adequado de anos de registro de chuvas, visando ao cálculo da erosividade, foi utilizada a equação de Mokus, relatada em Schwab et al. (1981), dada por:

$$Y = (4,30 \cdot t \cdot \log \theta)^2 + 6 \quad (6)$$

sendo: Y o número mínimo de anos de chuvas para o cálculo da erosividade; t o valor tabelado (distribuição "t" de Student) para determinado nível de significância, normalmente com $p < 0,10$, com $(Y-6)$ graus de liberdade, e θ a relação das magnitudes entre o evento com período de retorno de 100 anos e o evento com período de dois anos.

Utilizando dados pluviométricos do período de 01/01/1975 a 31/12/1996, para cada mês do ano, foi calculado o coeficiente de chuva, por meio do método proposto por Lombardi Neto (1977), cuja expressão é dada por:

$$Rc = Pm^2 / Pa \quad (7)$$

sendo: Rc o coeficiente de chuva em mm; Pm a precipitação média mensal em mm e Pa a precipitação média anual.

Utilizando o programa estatístico SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997), procedeu-se ao ajuste dos dados de índices de erosividade médios mensais e de coeficiente de chuva às funções dos seguintes tipos: linear, potencial, exponencial, quadrática, logarítmica e semilogarítmica. Assim, foram apresentados os coeficientes de ajuste para o modelo matemático que apresentou o maior coeficiente de correlação (r). Finalmente, foi efetuada a análise da variância, com o objetivo de verificar a significância do ajuste em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos quadros 1 e 2 revelou que o fator erosividade da chuva determinado para Piraju (SP) foi de $7.074 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com medidas de dispersão de 2.301 e $480 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, para o desvio-padrão (Dp) e erro-padrão da média (Epm) e com coeficiente de variação de 32,5% (Quadro 2). Assim, o fator erosividade da chuva de Piraju ($7.074 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foi superior aos de Campinas (SP), Pindorama (SP) e Piracicaba (SP), obtidos, respectivamente, por Lombardi Neto (1977), Sosa (1987) e Pereira (1983). No entanto, foi inferior aos de Mococa (SP) e Teodoro Sampaio (SP), obtidos, respectivamente, por Carvalho (1987) e Colodro (1999).

Em relação ao mapa de linhas isoerosivas do estado de São Paulo, elaborado por Lombardi Neto et al. (1980), o valor do fator R de Piraju localizou-se geograficamente próximo à linha de $6.377 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Portanto, o valor estimado pelo referido mapa para o fator R de Piraju foi 9,9% inferior ao valor calculado no presente estudo.

No entanto, em relação aos valores estimados por Rufino (1986), para o mapa de linhas isoerosivas do estado do Paraná, o valor calculado do fator R de Piraju localizou-se próximo à linha de $7.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Nesse caso, o valor calculado do fator R de Piraju foi superior em 1,0% em relação ao valor estimado por Rufino (1986). Assim, o valor de erosividade estimado pelo mapa de linhas isoerosivas do estado do Paraná ficou mais próximo do fator R do presente estudo ($7.074 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do que aquele estimado pelo mapa de linhas isoerosivas do estado de São Paulo.

O quadro 1 e a figura 1 mostram que 78,5% do índice de erosividade ocorre nos meses de outubro a março, indicando que, nesse período, na condição de parcela-padrão, é esperada a maior parte das perdas anuais de solo por erosão em Piraju, enquanto, no semestre complementar, ocorre apenas 21,5% do referido índice e, no trimestre de junho a agosto, apenas 6,7%.

Em termos absolutos, esse valor de erosividade, nessa época, ocupou a terceira posição em relação aos de Mococa, Teodoro Sampaio, Campinas, Pindorama e Piracicaba, respectivamente, determinados por Carvalho (1987), Colodro (1999), Lombardi Neto (1977), Sosa (1987) e Pereira (1983). Dessa forma, tais valores foram de 6.616, 6.047, 5.545, 5.307, 5.117 e $4.933 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para as respectivas localidades. Por outro lado, em termos relativos, esse valor ocupou a penúltima posição nas referidas localidades, ou seja, foram de 90,7, 86,1, 85,4, 83,3, 78,5, e 74,0%, respectivamente, para Campinas, Piracicaba, Mococa, Pindorama, Piraju e Teodoro Sampaio. Portanto, pode-se concluir que, tanto em termos absolutos como relativos, são

Quadro 1. Distribuição média decendial e mensal dos valores absolutos e relativos do fator R do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997

Mês	Decêndio mensal	Valor do índice de erosividade, EI ₃₀			
		Decendial		Mensal	
		Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo
		MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	%	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹	%
Janeiro	1	447	6,3		
	2	491	6,9	1.368	19,3
	3	430	6,1		
Fevereiro	1	489	6,9		
	2	230	3,3	969	13,7
	3	250	3,5		
Março	1	291	4,1		
	2	373	5,3	986	14
	3	322	4,6		
Abril	1	63	0,9		
	2	199	2,8	383	5,4
	3	121	1,7		
Maio	1	75	1,1		
	2	191	2,7	402	5,7
	3	136	1,9		
Junho	1	107	1,5		
	2	67	0,9	260	3,6
	3	86	1,2		
Julho	1	38	0,5		
	2	56	0,8	130	1,8
	3	36	0,5		
Agosto	1	7	0,1		
	2	43	0,6	91	1,3
	3	41	0,6		
Setembro	1	74	1,0		
	2	79	1,1	263	3,7
	3	110	1,6		
Outubro	1	97	1,4		
	2	140	2,0	417	5,9
	3	180	2,5		
Novembro	1	157	2,2		
	2	382	5,4	826	11,7
	3	287	4,1		
Dezembro	1	375	5,3		
	2	237	3,4	979	13,9
	3	367	5,2		
Total		7.074	100,0	7.074	100,0

esperadas maiores perdas de solo por erosão em Campinas e Mococa do que em Piraju e Teodoro Sampaio.

A figura 1 indica haver uma harmonia entre as distribuições médias mensais do índice de erosividade e do volume de chuva precipitado no município de Piraju (SP).

Com base nos dados de erosividade decendiais, a partir do primeiro decêndio de julho, foram obtidas as percentagens dos índices de erosividade (Quadro 1), a serem utilizadas na determinação do fator C da USLE, para o solo e local em questão, conforme preconizado por Wischmeier & Smith (1978).

Quadro 2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade, EI_{30} , do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997

Ano	Índice de erosividade (EI_{30})	Número de ordem (m)	Período de retorno (T)	Probabilidade de ocorrência (Pr)
MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$				
1983	12.940	1	24,00	4,17
1994	11.694	2	12,00	8,33
1992	9.123	3	8,00	12,50
1995	9.071	4	6,00	16,67
1997	8.529	5	4,80	20,83
1982	8.130	6	4,00	25,00
1978	7.716	7	3,43	29,15
1991	7.646	8	3,00	33,33
1979	7.490	9	2,67	37,45
1989	7.376	10	2,40	41,67
1996	7.321	11	2,18	45,87
1993	7.140	12	2,00	50,00
1977	7.071	13	1,85	54,05
1985	6.657	14	1,71	58,48
1987	6.584	15	1,60	62,50
1988	6.013	16	1,50	66,67
1984	5.572	17	1,41	70,92
1986	5.330	18	1,33	75,19
1976	5.213	19	1,26	79,37
1975	4.565	20	1,20	83,33
1990	4.268	21	1,14	87,72
1980	3.636	22	1,09	91,74
1981	3.624	23	1,04	96,15
Média	7.074	-	-	-
Dp	2.301	-	-	-
Epm	480	-	-	-
C.V.	32,52	-	-	-

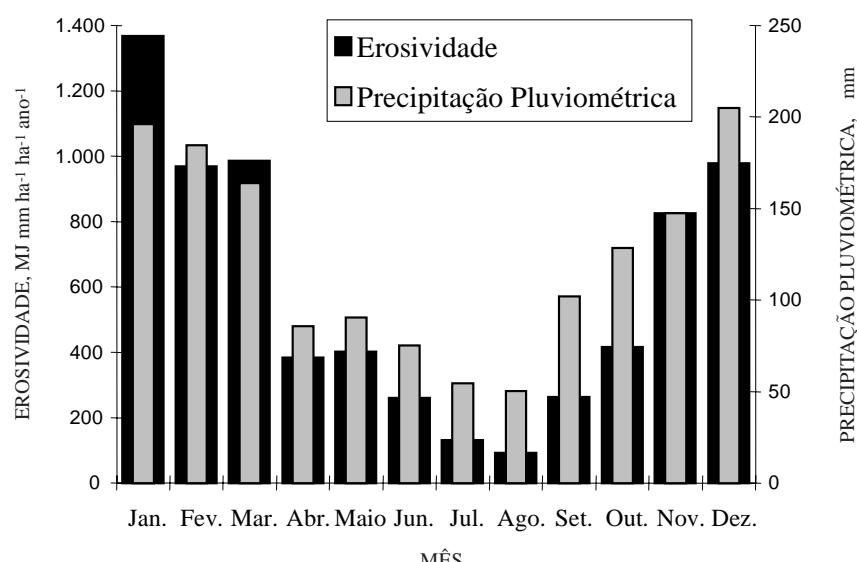


Figura 1. Distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade, EI_{30} , e da precipitação pluviométrica do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Os valores extremos dos índices anuais de erosividade variaram de 3.624 a 12.940 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$, respectivamente, em 1981 e 1983 (Quadro 2), enquanto os valores extremos médios mensais foram de 91 e 1.368 MJ mm $ha^{-1} h^{-1}$, respectivamente, para os meses de agosto e janeiro (Quadro 1) e os médios decendiais foram de 7 e 491 MJ mm $ha^{-1} h^{-1}$, respectivamente, no primeiro decêndio de agosto e no segundo decêndio de janeiro (Quadro 1). A adequação do número de anos de registros de dados de erosividade revelou ser de 12,1 anos ($p < 0,10$) ou de 19,2 anos ($p < 0,02$) os tempos mínimos necessários de dados para obtenção do fator R de Piraju (SP), de acordo com a equação (6).

Os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência, determinados para o maior índice de erosividade anual observado (12.940 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$), foram de 24,00 anos e 4,17% (Quadro 2), respectivamente. Portanto, é esperado ocorrer neste local, com uma probabilidade de 4,17%, um valor do índice anual de erosividade igual ou superior a 12.940 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$ pelo menos uma vez a cada 24,00 anos. Para o menor índice de erosividade anual observado (3.624 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$), os valores foram, respectivamente, de 1,04 ano e de 96,15% (Quadro 2). Acredita-se, por essa razão, que ocorra, com uma probabilidade de 96,15%, um valor do índice anual de erosividade igual ou superior a 3.624 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$ pelo menos uma vez a cada 1,04 ano.

Em relação ao maior índice de erosividade para chuvas individuais, isto é, à chuva mais erosiva do período de tempo estudado (3.256 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$), foi observado um período de retorno de 24,00 anos, sendo equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 4,17%.

A curva de distribuição de probabilidade dos valores dos índices anuais de erosividade de Piraju (Figura 2) seguiu o padrão log-normal, típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de Wischmeier (1959), corroborado por Lombardi Neto (1977), Carvalho (1987), Sosa (1987), Carvalho et al. (1996, 1997) e Colodro (1999).

O período de retorno do fator erosividade da chuva (R) do município de Piraju (7.074 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$) foi de 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%, valores estes obtidos da figura 2. Esse valor foi muito próximo daqueles obtidos para os fatores R de Campinas (2,1 anos), Piracicaba (2,1 anos), Pindorama (2,1 anos), Mococa (2,4 anos), Botucatu (2,3 anos), Selvíria (2,3 anos) e Teodoro Sampaio (2,3 anos), respectivamente, determinados por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987), Carvalho (1987), Carvalho et al. (1996, 1997) e Colodro (1999). Portanto, pode-se concluir que é possível ocorrer para o local estudado, com uma probabilidade de 42,92%, um valor anual do índice de erosividade igual ou superior ao fator R calculado (7.074 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$), pelo menos uma vez a cada 2,33 anos.

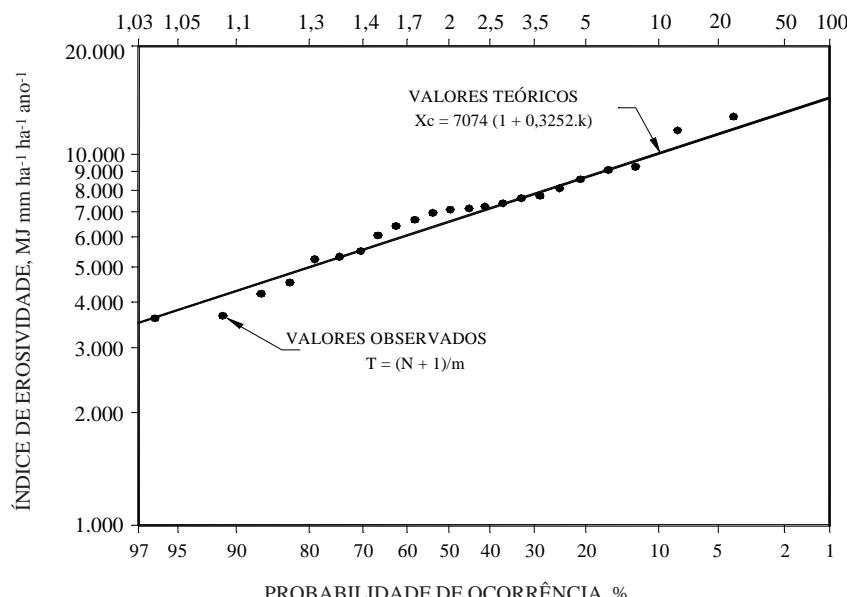


Figura 2. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores de 23 índices de erosividade anuais do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

Na mesma figura, pode-se observar que os valores dos índices de erosividade anual, esperados para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram de 6.696, 8.730, 10.076, 11.367, 13.039 e 14.292 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$, respectivamente, enquanto os valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais, esperados para os respectivos períodos de retorno, foram, respectivamente, de 1.194, 1.825, 2.243, 2.644, 3.163 e 3.551 MJ mm $ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$, segundo o método preconizado em Schwab et al. (1981).

O mês de janeiro apresentou maior ocorrência da chuva individual mais erosiva do ano (oito vezes), enquanto os meses de fevereiro e dezembro apresentaram uma freqüência de quatro vezes para cada um deles e o mês de março três vezes, tendo os meses de junho e novembro apresentado menor freqüência, com apenas duas vezes cada um, podendo-se observar a ocorrência de 21 chuvas individuais mais erosivas do ano no período de outubro a março, totalizando assim 91% nesse período e somente duas chuvas fora desse período (Quadro 3).

Assim, obteve-se um comportamento semelhante ao de Mococa e Campinas, onde os valores equivalem a 89,5 e 95,5%, respectivamente, neste período, conforme observado, respectivamente, por Carvalho (1987) e Lombardi Neto (1977). Por outro lado, os dados aqui obtidos concordam parcialmente com os de Pindorama e Teodoro Sampaio, conforme estudado, respectivamente, por Sosa (1987) e Colodro (1999). O mês de janeiro apresentou-se como o de maior freqüência mensal de chuva individual mais erosiva do ano para Piraju, sendo observadas oito chuvas nesse mês, concordando com os dados coletados por Lombardi Neto (1977), para Campinas,

Quadro 3. Freqüência da chuva individual mais erosiva do ano, dentro de um mês específico. Análise de 23 anos de registro de dados, durante o período de 1975 a 1997, do município de Piraju (SP)

Mês	Freqüência mensal
Janeiro	8
Fevereiro	4
Março	3
Abril	-
Maio	-
Junho	2
Julho	-
Agosto	-
Setembro	-
Outubro	-
Novembro	2
Dezembro	4
Total	23

onde o mês de janeiro apresentou a maior freqüência (sete vezes). Carvalho (1987), para Mococa, observou que o mês de maior freqüência foi o de dezembro com seis vezes, enquanto Sosa (1987) e Colodro (1999) observaram, respectivamente, para Pindorama e Teodoro Sampaio, que os meses de dezembro e março foram os de maior freqüência, com seis vezes cada um.

O volume de precipitação (Quadro 4) no semestre outubro-março contribuiu com 69,1% da quantidade total anual de chuva.

Quadro 4. Valores médios mensais e média anual de precipitação pluviométrica, coeficientes de chuva e índices de erosividade, EI_{30} , durante o período de 1975 a 1997, do município de Piraju (SP)

Mês	Precipitação média mensal	Coeficiente de chuva (Rc)	EI_{30} médio mensal calculado
	mm		$MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$
Janeiro	195,8	25,85	1.368
Fevereiro	184,6	22,98	969
Março	163,8	18,09	986
Abril	85,7	4,95	383
Maio	90,3	5,50	402
Junho	75,3	3,82	260
Julho	54,4	2,00	130
Agosto	50,1	1,69	91
Setembro	102,0	7,02	263
Outubro	128,5	11,14	417
Novembro	147,4	14,65	826
Dezembro	205,0	28,34	979
Total ou média anual	1.482,9	-	7.074

A figura 3 apresenta a curva de regressão entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva para Piraju, durante os anos de 1975 a 1997, a qual é estimada por:

$$EI_{30} = 72,5488 \cdot Rc^{0,8488} \quad r = 0,9629 \quad (p < 0,01) \quad (8)$$

Verificou-se, para Piraju, elevada correlação entre o índice de erosividade, EI_{30} , médio mensal e o coeficiente de chuva. O modelo matemático que apresentou a melhor correlação foi o potencial ($r = 0,9629$), de acordo com a equação (7), concordando com os dados de Campinas, Piracicaba, Pindorama e Mococa, observados, respectivamente, por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987) e Carvalho (1987). Por outro lado, contrastou com os dados de Lages e de Campos Novos (SC) e Teodoro Sampaio (SP), observados, respectivamente, por Bertol (1993; 1994) e Colodro (1999), cujo modelo de maior correlação foi o do tipo linear.

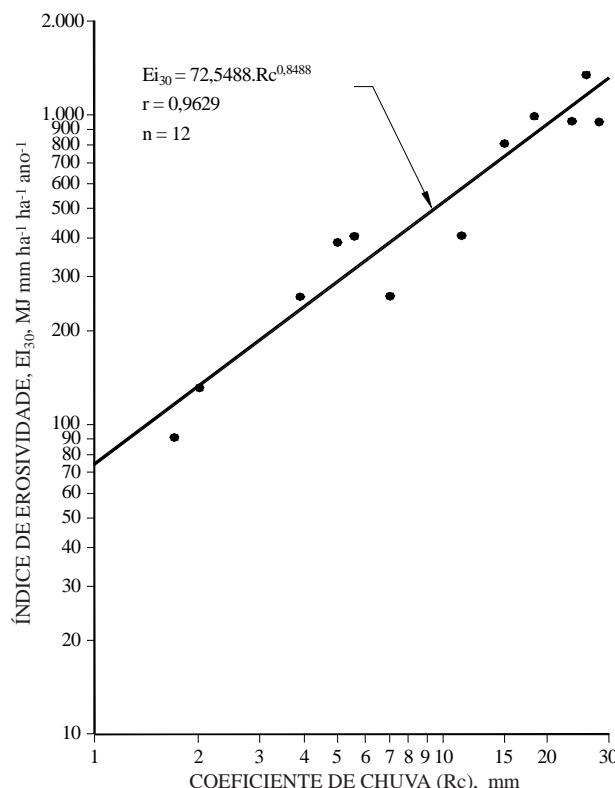


Figura 3. Regressão potencial entre o índice de erosividade, EI_{30} , médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Piraju (SP), durante o período de 1975 a 1997.

CONCLUSÕES

1. O fator erosividade da chuva para o município de Piraju (SP), calculado por meio do índice EI_{30} , foi

de $7.074 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Esse fator, que apresenta uma probabilidade de ocorrência de 42,92%, pode ser igualado, ou superado, pelo menos uma vez a cada 2,33 anos.

2. Nos meses de outubro a março, observou-se uma distribuição de 78,5% do total da erosividade anual, indicando que, nesse período, era esperada a maior parte das perdas anuais de solo por erosão.

3. Os valores dos índices de erosividade anual, esperados para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram de 6.696, 8.730, 10.076, 11.367, 13.039 e $14.292 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, enquanto os valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais, esperados para os respectivos períodos de retorno, foram, respectivamente, de 1.194, 1.825, 2.243, 2.644, 3.163 e $3.551 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

4. O modelo matemático que apresentou a melhor correlação entre o EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva foi o potencial ($r = 0,9629$).

LITERATURA CITADA

- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lajes (SC). 1^a aproximação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:515-521, 1993.
- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:1453-1458, 1994.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Descrição Geral do estado de São Paulo. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado de São Paulo, Contribuição à carta de solos do Brasil. Rio de Janeiro, 1960. p.3-53. (Boletim técnico, 12)
- CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. (não publicado)
- CARVALHO, M.P. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa (SP). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 1987. 104p. (Tese de Mestrado)
- CARVALHO, M.P.; PISSARRA, T.C. & PAULINO, H.B. Erosividade da chuva de Botucatu (SP): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. Anais. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1996. (CD ROM)
- CARVALHO, M.P.; PISSARRA, T.C. & PAULINO, H.B. Erosividade da chuva de Selvíria (MS): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD ROM)
- CASTRO FILHO, C.; CATANEO A. & BISCAIA R.C.M. Utilização da metodologia de Wilkinson, para cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 6:240-241, 1982.

- CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C. & ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. *R. Bras. Ci. Solo*, 6:236-239, 1982.
- COLODRO, G. Erosividade da chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 1999. 77p. (Tese de Mestrado)
- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *J. Soil Water Conserv.*, 36:355-359, 1981.
- HUDSON, R. *Soil conservation* 2.ed. Ithaca, Cornell University Press, 1973. 320p.
- LAL, R. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria. III Effects of rainfall characteristics. *Geoderma*, 16:339-401, 1976.
- LEMOS, M.S.S. & BAHIA, V.G. Erosividade da chuva. *Inf. Agropec.*, 16:25-31, 1992.
- LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil. West Lafayette, Purdue University, 1977. 53p. (Tese de Mestrado)
- LOMBARDI NETO, F.; SILVA, I.R. & CASTRO, O.M. Potencial de erosão de chuvas no Estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., 1980, Recife. Anais. Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1980. p.159.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; SANTANA, D.P. & SILVA, M.L.N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados. Primeira aproximação. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:427-434, 1997.
- MARGOLIS, E.; SILVA, A.B. & JACQUES, F.O. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). *R. Bras. Ci. Solo*, 9:165-169, 1985.
- MEDINA, B.F. & OLIVEIRA Jr., R.C. A aplicabilidade de alguns índices erosivos em Latossolo Amarelo de Manaus (AM). *R. Bras. Ci. Solo*, 11:67-70, 1987.
- MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. Relações entre características da chuva e perdas do solo no Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:285-288, 1988.
- PEREIRA, H.H.G. Índices de erosividade da chuva: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba - SP. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1983. 70p. (Tese de Mestrado)
- ROQUE, C.G. & CARVALHO, M.P. Distribuição da erosividade da chuva de Novo Horizonte (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999. Anais. Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (CD-ROM)
- RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: segunda aproximação. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:279-281, 1986.
- SÃO PAULO. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. Totais mensais de chuva do estado de São Paulo: 1976-1991. São Paulo, 1993.
- SCHLOTZHAVER, S.D. & LITTELL, R.C. SAS system for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary, SAS, 1997. 441p.
- SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W. & BARNES, K.K. *Soil and Water Conservation Engineering*. 3 ed. New York, John Wiley & Sons, 1981. 683p. (The Ferguson Foundation Agricultural Engineering Series)
- SOSA, D.A. Erosividade a chuva: distribuição e correlação com a perda de solo de Pindorama, São Paulo, Brasil. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1987. 105p. (Tese de Mestrado)
- VAL, L.A.; BAHIA, V.G.; FREIRE, J.C. & DIAS JÚNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras. *Ci. Prat.*, 10:187-98, 1986.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Proc. Soil Sci. Am.*, 20:246-249, 1959.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Union*, 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)