

Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo

Dolorice Moreti, Anny Rosi Mannigel e Morel Passo e Carvalho*

Faculdade de Engenharia-Campus de Ilha Solteira, Unesp, C.P. 31, 15.385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. Autor para correspondência: e-mail: morel@agr.feis.unesp.br

RESUMO. Foi estudada a erosividade da chuva de Pedrinhas Paulista (SP) visando à implementação do planejamento do uso da terra local. Para tanto, determinou-se o fator erosividade (R) da equação universal de perda de solo por erosão, para uma série pluviométrica contínua de 24 anos de dados de chuva. Seu valor calculado foi de 7670 MJ mm/ha h ano, o qual é esperado ocorrer no local pelo menos uma vez a cada 2,33 anos, com uma probabilidade de 42,92%. Observou-se uma concentração de 77,12% do fator R no semestre de outubro a março, indicando que é esperada a maior parte das perdas anuais de solo por erosão neste período. Os valores dos índices EI₃₀ anuais esperados, nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 7404, 8833, 9779, 10686, 11860 e 12740 MJ mm/ha h ano. O valor da chuva máxima diária calculada para o período de 10 anos foi de 144mm. Este dado poderá ser usado nos cálculos de dimensionamento da seção transversal ideal do canal de terraceamento agrícola local.

Palavras-chave: erosividade da chuva, equação universal de perda de solo, terraceamento agrícola.

ABSTRACT. Rainfall erosivity factor of Pedrinhas Paulista, state of São Paulo.

Rainfall erosivity in Pedrinhas Paulista city was studied with the purpose of supporting its land use planning. Rainfall erosivity factor (R), used in the universal soil loss equation was calculated for a continuous raingauges series of 24 years of rainfall data. The computed value was 7670 MJ.mm/ha.h.y, which is expected to occur at least once every 2.33 years, with a probability of occurrence of 42.92%. The higher annual soil losses are expected to occur between the months of October and March, as shown by the 77.12% of the total annual erosivity for that period. The values of the EI₃₀ annual erosivity indexes, expected for the return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years, were 7404, 8833, 9779, 10686, 11860 e 12740 MJ.mm/ha.h.y, respectively. The value of the maximum daily rainstorm, calculated for the return period of 10 years, was 144 mm. This datum could be used in the ideal transversal section calculation of the agricultural terracing channel.

Key words: rainfall erosivity, universal soil loss equation, agricultural terracing.

Introdução

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, através do uso e manejo inadequados. Assim, 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 (Roque *et al.*, 2001).

A equação universal de perda de solo (EUPS) tem o objetivo de prever a erosão, em t/ha.ano, que poderá ocorrer em determinada área agricultada, de forma que sua magnitude fique perfeitamente

estabelecida dentro de limites toleráveis. Ela relaciona de forma diretamente proporcional todos os fatores que influenciam a erosão acelerada do solo, que são: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento e grau de declive (L e S), uso e manejo da cobertura do solo com determinada cultura (C) e práticas conservacionistas (P). Desta forma, sua utilização é de fundamental importância para o estabelecimento do correto uso e manejo do solo e, conseqüentemente, para relacionar as práticas conservacionistas de maior eficiência (Wischmeier e Smith, 1978; Carvalho, 1987). 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 trinta minutos (Wischmeier e Smith, 1978; Roque *et al.*, 2001).

Erosividade, definida como o potencial da chuva em causar erosão no solo, é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, entre as quais a sua quantidade, intensidade, diâmetro de gotas, velocidade terminal e energia cinética. Na expectativa de detalhar os estudos desse agente erosivo, a pesquisa tem demonstrado que as características da chuva que proporcionam as correlações mais elevadas com as perdas de solo são a intensidade e a energia cinética

Período de retorno é o intervalo de tempo em anos que um determinado evento hidrológico será igualado ou ultrapassado. Pode ser determinado pela equação de Gumbel (Schwab *et al.*, 1966), que possui como base estatística a lei dos valores extremos. Nela, os valores máximos anuais de um determinado evento hidrológico aproximam-se de um padrão definido de distribuição de frequência, quando o número de observações em cada ano se torna o mais amplo possível. No caso do terraceamento agrícola, tal evento hidrológico é representado pela chuva máxima diária. A sua determinação é necessária para o estabelecimento de critérios que garantam a segurança das populações ou áreas a serem preservadas (Schwab *et al.*, 1966). Como exemplo, o período de retorno utilizado para o terraceamento agrícola é normalmente de 10 anos. Contudo, pode-se estabelecer tal prática com uma margem de segurança mais elevada, visando-se solucionar problemas específicos, em função de considerações de ordem econômica e ecológica e dos possíveis danos admitidos, adotando-se períodos de retorno mais convenientes, tais como 20, 50 e 100 anos (Carvalho, 1987).

Fournier, citado por Lombardi Neto (1977), obteve uma estreita correlação entre o que chamou de degradação específica ou total de erosão anual e um coeficiente de distribuição de chuva *c*, expresso como :

$$c = p^2 / p_n \quad (1)$$

sendo: *p* é a média mensal de chuva dos meses chuvosos do ano e *p_n* é a média anual de chuva. Numa tentativa de se obter uma estimativa precisa do EI₃₀, uma vez que para muitos locais do Estado de São Paulo não existem pluviógrafos, Lombardi Neto

(1977) estimou o índice de erosividade EI₃₀ médio mensal de Campinas (SP) com um coeficiente de chuva semelhante ao coeficiente da equação (1), dado pela seguinte expressão:

$$R_c = P_m^2 / P_a \quad (2)$$

sendo: *R_c* o coeficiente de chuva em mm; *P_m* a precipitação média mensal em mm, e *P_a* a precipitação média anual. Assim, a equação obtida foi a seguinte:

$$EI_{30} = 67,414 \cdot R_c^{0,850} \quad (r = 0,991) \quad (3)$$

sendo: *EI₃₀* a estimativa (através da equação de ajuste) do índice de erosividade médio mensal em MJ.mm/ha.h, e *r* o coeficiente de correlação. Para uma localidade que possua uma distribuição de chuva semelhante à de Campinas, assim como uma série pluviométrica contínua de no mínimo 20 anos, foi concluído que tal equação pode estimar precisamente os valores médios do EI₃₀, usando-se apenas dados de quantidade de chuva. Posteriormente, apareceram inúmeras equações com o mesmo objetivo daquela (equação nº 3) de Lombardi Neto (1977), tanto para outras localidades paulistas como para o resto do país de forma geral (Pereira, 1983; Carvalho, 1987; Sosa, 1987; Morais *et al.*, 1991; Bertol, 1993 e 1994; Colodro, 1999; Roque *et al.*, 2001; Coelho, 2001).

Dentro deste enfoque, o objetivo do presente trabalho foi o seguinte, para Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo: a) determinar o fator erosividade (*R*) pelo índice EI₃₀, contribuindo assim com o aprimoramento do mapa de isoerosividade do Estado de São Paulo; b) estudar a distribuição temporal do fator *R* e da precipitação pluviométrica; e c) definir o período de retorno e a probabilidade de ocorrência dos índices EI₃₀ anuais e das chuvas máximas diárias, visando-se levantar subsídios ao aperfeiçoamento tecnológico do terraceamento agrícola local.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados pluviométricos do município de Pedrinhas Paulista (SP), obtidos junto à Cooperativa Agropecuária de Pedrinhas Paulista (CAP). O pluviômetro, localizado no terço baixo do Rio Capivara do município de Pedrinhas Paulista, ficou instalado nas coordenadas de 22°01'35" de latitude sul e de longitude 50°01'32" oeste. Suas temperaturas médias máximas e mínimas são respectivamente de 27,0 e 17,0°C (Nascimento e Pereira, 1988).

Foram acumulados os dados de precipitação pluviométrica do município de Pedrinhas Paulista durante a série de 24 anos de análise de dados (1978 a 2001), relacionados através dos totais mensais ano a ano. A partir destes dados puderam ser obtidos, através da somatória dos meses do ano, os totais anuais, ano a ano, para a série de dados estudada. Também puderam ser obtidos os valores médios mensais da precipitação pluvial local, mês a mês, para todos os meses do ano. Procedeu-se a tabulação final de tais dados de forma a se obter, finalmente, a precipitação média anual de Pedrinhas Paulista, para a referida série pesquisada.

Os índices de erosividade médios mensais de Pedrinhas Paulista foram obtidos através da seguinte equação, calculada para o município de Piraju-SP (Roque e Carvalho, 1999), dada por:

$$EI_{30} = 72,5488 \cdot R_c^{0,8488} \quad (r = 0,9629) \quad (4)$$

onde: EI_{30} representou o índice de erosividade EI_{30} médio mensal de Pedrinhas Paulista, obtido mês a mês, e R_c representou o coeficiente de chuva do mesmo local, dado pelo quociente entre o quadrado da precipitação média mensal pela precipitação média anual. A aplicação da referida equação de Piraju aos dados de Pedrinhas Paulista foi previamente testada, tanto através da regressão linear entre os dados de precipitação anual, para a série de 1978 a 2001 das duas localidades, assim como pela análise dos intervalos de confiança entre as respectivas precipitações médias mensais.

Os índices de erosividade obtidos mês a mês dentro de cada ano foram calculados para, Pedrinhas Paulista, através de:

$$ei = (PM \cdot IE) / PA \quad (5)$$

onde: ei é o valor de índice de erosividade EI_{30} de um mês i contido num ano j da série de dados; PM é o total precipitado num mês i contido num ano j da série de dados, IE é o valor do índice de erosividade EI_{30} médio mensal, no qual o mês i está contido na série de dados, e PA é o valor da precipitação média mensal no qual o mês i está contido na série de dados.

A obtenção dos índices de erosividade mês a mês dentro de cada ano pôde proporcionar o quadro final de índices de erosividade EI_{30} de Pedrinhas Paulista. Para tanto, a somatória dos índices de erosividade mês a mês dentro de cada ano constituiu o índice de erosividade para um dado ano. Finalmente, o fator R de Pedrinhas Paulista originou-se do valor médio

entre os 24 índices EI_{30} anuais contidos na série estudada.

Foram analisados a probabilidade de ocorrência e o correspondente período de retorno, tanto para os índices de erosividade EI_{30} anuais como para as chuvas máximas diárias, da série parcial estudada para Pedrinhas Paulista. Para tais análises, foram utilizadas as leis da probabilidade logarítmicas e a teoria dos valores extremos, preconizados por Schwab *et al.* (1966).

A estimativa do período de retorno (T , em anos) foi calculada através da seguinte expressão:

$$T = (N + 1) / m \quad (6)$$

onde: N representa o número de anos do tamanho da série parcial de dados, e m é o número de ordem, quando os eventos climatológicos são relacionados em ordem decrescente de magnitude. Desta forma, a probabilidade (Pr), inversa do período de retorno, pôde ser calculada por:

$$Pr = 100 / T \quad (7)$$

A estimativa do valor teórico do evento climatológico (X_c) pôde ser calculada pela seguinte expressão:

$$X_c = X (1 + Cv \cdot k) \quad (8)$$

onde: X representa a média aritmética dos eventos climatológicos, Cv é o coeficiente de variação, e k é o fator de freqüência do evento climatológico estimado para um determinado período (T) qualquer e dado pela expressão :

$$k = -2,45 \cdot \{ \lambda + \ln[\ln T - \ln(T - 1)] \} / \pi \quad (9)$$

onde: λ é constante de Euler (0,577).

Foi utilizado papel de probabilidade logarítmica para plotar os valores observados dos eventos climatológicos, assim como para traçar a respectiva curva de probabilidade logarítmica, tanto dos índices de erosividade EI_{30} anuais como das chuvas máximas diárias. A probabilidade de ocorrência de um determinado evento climatológico, assim como seus períodos de retorno correspondentes, foram relacionados, respectivamente, nas abscissas inferior e superior do gráfico. Na ordenada, foram relacionadas as magnitudes dos eventos climatológicos com os índices de erosividade em MJ mm/ha h ano e a chuva máxima diária em mm.

A determinação do número adequado de anos, da série parcial de eventos climatológicos estudados, foi

efetuada pela seguinte expressão (Schwab *et al.*, 1966):

$$Y = (4,30 \cdot t \cdot \log \theta)^2 + 6 \quad (10)$$

onde: Y é o número aceitável de anos de registro da série parcial de eventos climatológicos; t é o valor estatístico de Student, para o nível de 10% de significância, com $(y - 6)$ graus de liberdade, e θ é a relação das magnitudes entre o evento climatológico com período de retorno de 100 anos e aquele com período de retorno de 2 anos.

Resultados e discussão

A Tabela 1 apresenta a distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica de Pedrinhas Paulista da série de dados (1978 a 2001) utilizada para o cálculo do fator R local. A precipitação média anual observada foi de 1651,1 mm, com um desvio padrão e erro padrão de média respectivamente de 342,57 e 69,93 mm. O coeficiente de variação foi de 20,75%. A adequação do número de anos de registro da série parcial de dados de precipitação anual revelou, a 1% de probabilidade, que o tempo mínimo aceitável obtido pela equação (10) contida em Schwab *et al.* (1966) foi de 10,5 anos. Dessa forma, este fato diferiu do relato de Newman (1970), que recomendou a utilização de uma série parcial de dados climatológicos com pelo menos 22 anos. Diferiu também dos relatos de Wischmeier e Smith (1978), que indicaram o tempo mínimo de 20 anos de dados para a série contínua destinada ao cálculo do fator R. No entanto, ficou de acordo com Lombardi Neto (1977), Carvalho (1987), Sosa (1987), Lima (1995), Carvalho *et al.* (1996, 1997), Colodro (1999), Roque e Carvalho (1999), Coelho (2001) e Roque *et al.* (2001), os quais relataram tempos menores do que 20 e/ou 22 anos para a série pluviográfica contínua destinada ao cálculo do fator R.

A Figura 1 apresenta os intervalos de confiança determinados para as precipitações médias mensais mês a mês de Pedrinhas Paulista e Piraju, durante o período de 1978 a 2001. Seu objetivo foi o de comparar a eficiência da utilização da equação (4) de Piraju (SP), utilizada para estimar os índices de erosividade médios mensais para outra localidade qualquer, mas que apresente, entretanto, distribuição de chuva de forma semelhante ao referido local. Assim, pôde-se observar que a referida equação foi satisfatória para o uso aos dados de precipitação de Pedrinhas Paulista, uma vez que para todos os meses do ano, para as duas localidades, houve sobreposição dos intervalos de confiança obtidos para as precipitações médias mensais. O

coeficiente de correlação (r), obtido para a regressão linear entre os dados médios anuais de precipitação entre tais locais, foi de 0,977 ($p < 0,05$), tendo portanto, elevada correlação.

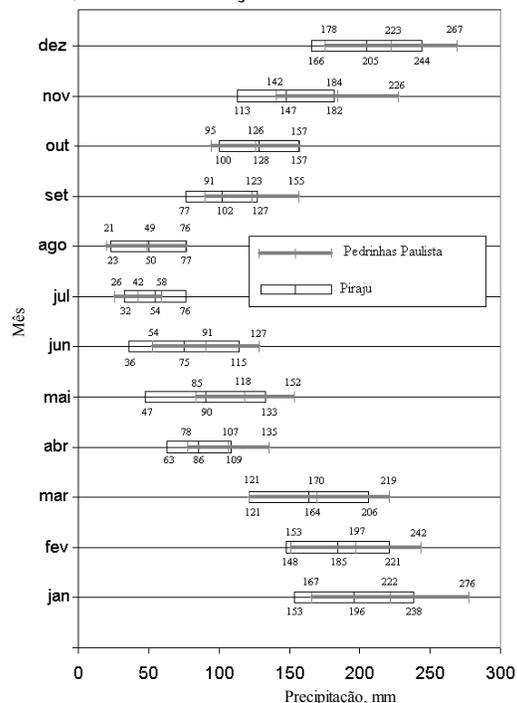


Figura 1. Intervalo de confiança da precipitação média mensal de Pedrinhas Paulista (SP) e Piraju (SP) ocorrida entre 1978 e 2001

As Tabelas 2 e 3 e a Figura 2 apresentam as distribuições mensais, médias mensais, anuais e médias anuais do fator erosividade (R) de Pedrinhas Paulista, obtidos pelo índice EI_{30} e avaliados para a série de dados entre os anos de 1978 a 2001. Desta forma, o fator R local foi de 7670 MJ mm/ha h ano, com um desvio padrão e erro padrão da média respectivamente de 1616 e 330 MJ.mm/ha h.ano. O coeficiente de variação apresentado foi de 21,07%.

O fator R de Pedrinhas Paulista de 7670 MJ mm/ha h ano (Tabela 2 e 3) foi maior que os de Mirandópolis (SP), Piracicaba (SP), Pindorama (SP), Piraju (SP) e Selvíria (MS), respectivamente calculados por Kuratani (2001), Pereira (1983), Sosa (1987) Roque *et al.* (2001) e Carvalho *et al.* (1997). Entretanto, foi inferior aos de Mococa (SP) (Carvalho, 1987), Flexas (MT) (Morais *et al.*, 1991), Bauru (SP) (Lima, 1995) e Barranquinho (MT) (Morais *et al.*, 1991). Sua magnitude ficou em desacordo, em relação aos valores das linhas de isoerosividade do Estado de São Paulo, mapeadas por Lombardi Neto *et al.* (1980), para a localidade de Pedrinhas Paulista, que estão ao redor de 6100 MJ mm/ha h ano.

Tabela 1. Distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo, entre 1978 e 2001

Ano/ Mês	Precipitação pluvial																				Média				
	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97		98	99	2000	2001
	mm																								
Jan	21,0	34,0	158,8	150,8	190,5	309,7	240,6	300,0	128,0	128,7	139,0	252,0	483,5	143,0	73,8	253,0	403,7	323,0	225,5	464,0	172,5	425,0	172,5	127,5	221,7
Fev	40,0	134,3	309,0	67,8	169,4	223,1	73,7	209,0	158,5	277,8	234,1	84,0	22,0	174,0	192,5	252,0	253,5	211,5	174,5	274,0	212,4	202,0	529,0	253,4	197,1
Mar	190,0	12,4	84,5	24,0	157,4	295,8	70,0	122,0	161,0	37,0	147,5	86,0	171,0	183,0	496,5	207,9	100,0	195,5	283,3	64,0	385,0	289,0	142,5	170,0	169,8
Abr	0,0	55,8	170,3	155,2	94,6	126,6	77,8	251,0	76,0	18,0	83,0	7,0	71,5	137,4	155,2	131,0	101,0	199,0	153,0	50,0	240,5	86,0	75,0	43,0	106,6
Mai	126,5	181,2	65,9	8,6	85,3	320,3	32,0	85,0	202,0	269,0	199,5	27,0	67,5	70,5	220,5	74,4	130,5	95,0	42,0	142,2	119,0	79,6	42,5	155,0	118,4
Jun	11,0	0,0	97,8	138,4	227,5	285,4	0,0	37,0	18,5	214,0	32,0	139,0	25,0	119,0	50,0	142,0	60,5	45,3	3,0	269,2	38,0	103,1	29,5	89,4	90,6
Jul	131,5	91,9	39,2	17,0	120,1	0,0	2,0	37,0	25,5	41,0	0,0	0,0	100,0	21,0	18,0	29,0	19,0	71,0	27,1	23,0	29,0	64,5	72,0	36,0	42,3
Ago	5,5	55,8	47,8	7,8	20,8	0,0	69,7	7,5	269,5	0,0	0,0	93,7	136,5	4,0	37,0	36,7	0,0	12,0	35,0	10,0	133,0	0,0	127,0	56,0	48,6
Set	93,0	203,4	153,4	7,0	83,0	176,8	114,0	10,0	121,8	34,5	45,0	134,1	233,0	55,0	252,5	148,3	42,0	145,0	175,0	89,0	259,6	62,0	222,0	99,5	123,3
Out	35,0	106,6	145,6	250,4	179,1	123,4	77,0	17,0	55,0	123,0	306,5	95,0	52,0	73,0	98,7	83,0	133,6	264,0	141,8	140,0	207,0	139,0	107,7	69,5	126,0
Nov	68,0	187,4	128,1	253,4	435,3	246,5	233,8	220,0	155,6	239,5	106,5	151,5	316,5	66,5	202,6	196,9	130,4	59,0	86,0	273,0	39,4	76,0	322,0	227,7	184,2
Dez	110,0	195,5	311,6	185,3	468,8	270,0	395,0	93,0	214,0	145,0	205,3	310,5	124,0	378,2	57,5	189,0	189,5	89,5	334,0	168,0	309,7	234,0	127,0	237,0	222,6
Total	831,501258,3	1712	1265,72231,82377,6	1385,61388,5	1585,41527,5	1498,41379,8	1802,51424,6	1854,81743,2	1563,71709,8	1680,21966,4	2145,11760,2	1968,71564	1651,1												

Média= 1651,05; E.Padrão=69,9275; D.Padrão= 342,573; C.V.=0,20749; Curtose=0,62455; Assimetria= 0,04028; C.V = D.P/média

Tabela 2. Valores médios mensais e média anual de precipitação pluviométrica, coeficientes de chuva e índices de erosividade EI₃₀ médios mensais de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo, avaliados de 1978 a 2001

Mês	Precipitação	Coeficiente de	EI ₃₀ médio ⁽¹⁾
	média mensal		
	----- mm	-----	MJ mm/há h ano
Jan.	221,7	29,77	1293
Fev.	197,1	23,53	1059
Mar.	169,8	17,46	822
Abr.	106,6	6,88	373
Mai.	118,4	8,49	446
Jun.	90,6	4,97	283
Jul.	42,3	1,08	78
Ago.	48,6	1,43	98
Set.	123,3	9,21	477
Out.	126,0	9,61	495
Nov.	184,2	20,55	944
Dez.	222,6	30,01	1301
Total ou média anual	1651,2	-----	7670

⁽¹⁾Calculado através da equação de Piraju-SP (ROQUE, 1999)

O estudo da distribuição do potencial erosivo da chuva, bem como a distribuição da quantidade de chuva, é de grande importância para o manejo e o desenvolvimento das culturas agrônomicas. No período em estudo, os valores extremos dos índices anuais de erosividade variaram de 3510 a 10989 MJ mm/ha h ano. Os valores extremos dos índices de erosividade médios mensais foram de 78 e 1301 MJ mm/ha h ano, respectivamente para os meses de julho e dezembro (Tabela 3). Pelos dados apresentados, pode-se observar que 77,12% do índice de erosividade ocorreram nos meses de outubro a março, indicando que nesse período é esperada a maior parte das perdas anuais de solo por erosão em Pedrinhas Paulista. Em contraposição, no semestre complementar, essa quantidade foi de apenas 22,88%, assim como, no trimestre de junho a agosto, de apenas 5,98%. Tais quantidades são concordantes, em relação as suas magnitudes e épocas de distribuição da erosividade, com aquelas

das pesquisas afins, determinadas para outras localidades do Estado de São Paulo (Lombardi Neto, 1977; Sosa, 1987; Carvalho *et al.*, 1989, 1996, 1997; Morais *et al.*, 1991; Lima, 1995; Colodro, 1999, Roque *et al.*, 2001 e Coelho, 2001).

A distribuição da precipitação pluviométrica anual de Pedrinhas Paulista (Figura 1 e Tabela 1) seguiu um padrão semelhante ao unimodal, conforme descrição apresentada por Hudson (1973). Este fato se assemelhou com as distribuições de Mococa, Campinas, Piraju e Votuporanga, respectivamente, determinadas por Carvalho (1987), Lombardi Neto (1977), Roque *et al.* (2001) e Coelho (2001), que apresentaram um padrão com tendência ao tipo unimodal. No entanto, apresentou distribuição diferente daquela de Teodoro Sampaio, determinada por Colodro (1999), a qual apresentou um padrão com tendência ao tipo bimodal.

A curva de distribuição da erosividade da chuva (Figura 2) fornece informações de extrema validade para a determinação do fator uso e manejo da cultura (fator C) da equação universal de perda de solo para Pedrinhas Paulista (Wischmeier e Smith, 1965, 1978; Lombardi Neto, 1977; Carvalho, 1987). Os valores da distribuição relativa dos EI₃₀ médios mensais (julho a junho) foram, respectivamente, de 1,01; 1,28; 6,23; 6,46; 12,31; 16,97; 16,85; 13,81; 10,72; 4,86; 5,81; 3,69%. Isto porque, para a determinação do referido fator, deve-se obter um termo que seja originado dos somatórios dos produtos entre os seguintes fatores, período por período de desenvolvimento da cultura: 1) razão de perda do solo considerada no período de desenvolvimento da cultura, e 2) índice de erosividade da chuva desse período (Wischmeier e Smith, 1965, 1978).

Tabela 3. Distribuição mensal e anual dos índices de Erosividade EI₃₀ de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo, entre 1978 e 2001

Ano/Mês	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000	2001	Média
	MJ mm/ha h ano																								
Jan	123	198	926	879	1111	1806	1403	1749	746	751	811	1470	2819	834	430	1475	2354	1884	1315	2706	1006	2478	1006	744	1293
Fev	215	722	1660	364	910	1199	396	1123	852	1493	1258	451	118	935	1034	1354	1362	1137	938	1472	1141	1085	2843	1362	1059
Mar	920	60	409	116	762	1432	339	591	780	179	714	416	828	886	2404	1007	484	947	1372	310	1864	1399	690	823	822
Abr	0	195	596	543	331	443	272	878	266	63	290	25	250	481	543	458	353	696	535	175	841	301	262	150	373
Mai	476	682	248	32	321	1206	121	320	760	1013	751	102	254	265	830	280	491	358	158	535	448	300	160	584	446
Jun	34	0	306	432	711	892	0	116	58	669	100	434	78	372	156	444	189	142	9	841	119	322	92	279	283
Jul	241	169	72	31	221	0	4	68	47	75	0	0	184	39	33	53	35	130	50	42	53	118	132	66	78
Ago	11	113	97	16	42	0	141	15	545	0	0	189	276	8	75	74	0	24	71	20	269	0	257	113	98
Set	360	788	594	27	321	685	442	39	472	134	174	519	902	213	978	574	163	562	678	345	1005	240	860	385	478
Out	138	419	572	984	704	485	303	67	216	484	1205	373	204	287	388	326	525	1038	557	550	814	546	423	273	495
Nov	349	961	657	1299	2231	1263	1198	1128	798	1228	546	777	1622	341	1038	1009	668	302	441	1399	202	390	1650	1167	944
Dez	643	1143	1822	1084	2741	1579	2310	544	1251	848	1201	1816	725	2212	336	1105	1108	523	1953	982	1811	1368	743	1386	1301
Total	3510	5450	7959	5807	10406	10990	6929	6638	6791	6937	7050	6572	8260	6873	8245	8159	7732	7743	8077	9377	9573	8547	9118	7332	7670

Média=7669,69;D.Padrão=1616;E.Padrão=330;C.V=0,21068;Curtose=1,07543;Assimetria=-23,373;C.V=DP/média

Tabela 4. Período de retorno e probabilidade de ocorrência dos índices EI₃₀ anuais e das chuvas máximas diárias de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo, durante 1978 a 2001

Data	Chuva máxima diária		Erosividade		Número de ordem (m)	Período ⁽¹⁾ de retorno (T) anos	Probabilidade ⁽²⁾ de ocorrência (Pr) %
	Precipitação mm	Ano	EI ₃₀ MJ mm/ha h ano				
29/03/92	173,0	83	10989		1	25,00	4,0
01/10/90	144,0	82	10406		2	12,50	8,0
14/04/80	142,5	98	9573		3	8,33	12,0
27/01/94	140,0	97	9378		4	6,25	16,0
18/01/99	136,0	00	9118		5	5,00	20,0
01/06/85	135,0	99	8548		6	4,17	24,0
23/11/93	130,0	90	8261		7	3,57	28,0
23/03/95	121,0	92	8246		8	3,13	32,0
04/06/87	120,0	93	8160		9	2,78	36,0
02/10/00	119,0	96	8077		10	2,50	40,0
03/03/83	111,0	80	7959		11	2,27	44,0
06/04/97	105,0	95	7742		12	2,08	48,0
31/12/88	98,0	94	7733		13	1,92	52,0
03/06/96	98,0	01	7332		14	1,79	56,0
15/04/98	90,0	88	7049		15	1,67	60,0
28/04/81	89,6	87	6934		16	1,56	64,0
11/11/82	89,0	84	6927		17	1,47	68,0
02/08/91	89,0	91	6872		18	1,39	72,0
30/12/84	86,0	86	6790		19	1,32	76,0
11/11/89	85,0	85	6637		20	1,25	80,0
12/08/86	84,0	89	6572		21	1,19	84,0
05/03/79	80,9	81	5808		22	1,14	88,0
13/02/01	75,0	79	5449		23	1,09	92,0
16/05/78	68,0	78	3510		24	1,04	96,0
Média	108,71	Média	7669,69		--	--	--
CV ⁽³⁾	0,248	CV ⁽³⁾	0,2107		--	--	--
DP ⁽⁴⁾	27,00	DP ⁽⁴⁾	1616,15		--	--	--

⁽¹⁾ T=(N+1)/m...; ⁽²⁾ Pr=100/T...; ⁽³⁾ CV= Coeficiente de Variação (valor absoluto); ⁽⁴⁾ DP=Desvio Padrão

Na Tabela 4 são apresentados a probabilidade de ocorrência e o período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade e das chuvas máximas diárias de Pedrinhas Paulista, durante o período de 1978 a 2001. Observa-se que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determinada para o maior índice de erosividade anual observado (10989 MJ mm/ha h ano), assim como para a maior chuva máxima diária (173 mm), foram respectivamente de 25,0 anos e 4,00%. Da mesma forma, os valores para os menores (3510 MJ mm/ha h ano e 68 mm) foram de 1,04 anos e de 96,0%.

Determinou-se a distribuição da probabilidade de ocorrência apresentada nas Figuras 3 e 4, a qual foi ajustada através da equação (8), de acordo com indicação de Schwab *et al.* (1966). Os valores dos índices anuais de erosividade e das chuvas máximas diárias, para qualquer outro período de retorno desejado, ou vice-versa, podem ser facilmente obtidos através da leitura direta nas curvas de distribuição de probabilidade apresentadas nas Figuras 3 e 4, ou calculados através da aplicação da equação (8). Assim, por exemplo, observou-se que o período de retorno do fator erosividade da chuva (R) de Pedrinhas Paulista foi 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%. Assim,

pôde-se concluir que é possível ocorrer para o local estudado, com uma probabilidade de 42,92%, um valor anual do índice EI_{30} de erosividade igual ou superior ao fator R calculado (7670 MJ mm/ha h ano) pelo menos uma vez a cada 2,33 anos. Os valores dos índices anuais de erosividade esperados, nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 7404, 8833, 9779, 10686, 11860 e 12740 MJ mm/ha h ano.

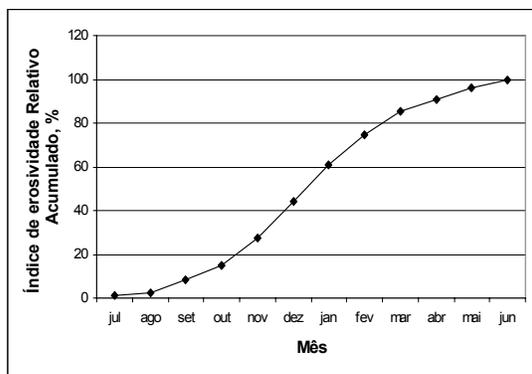


Figura 2. Distribuição relativa acumulada do índice de erosividade EI_{30} médio mensal de Pedrinhas Paulista (SP), durante o período de 1978 a 2001

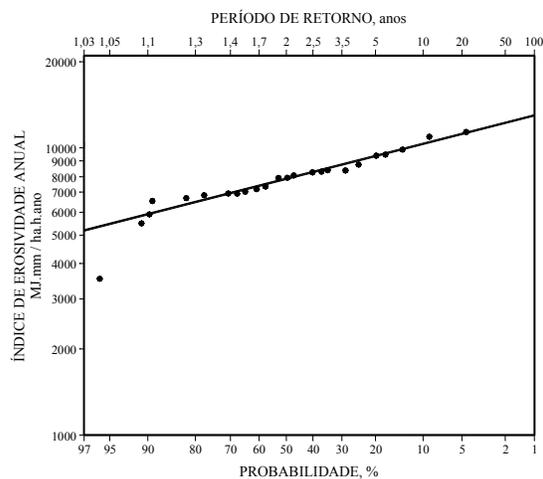


Figura 3. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos índices EI_{30} anuais de erosividade de Pedrinhas Paulista (SP) entre 1950 e 1998

As curvas de distribuição de probabilidade dos valores dos índices anuais de erosividade e das chuvas máximas diárias de Pedrinhas Paulista (Figuras 3 e 4) seguiram o padrão lognormal, típico de eventos hidrológicos, de acordo com o relato de Wischmeier (1959), corroborado por Lombardi Neto (1977), Carvalho (1987), Sosa (1987), Lima (1995), Carvalho *et al.* (1996, 1997), Colodro (1999),

Roque *et al.* (2001) e Coelho (2001). Os valores dos índices anuais de erosividade e das chuvas máximas diárias de Pedrinhas Paulista, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, no geral variaram entre aqueles de outras localidades do Estado de São Paulo, para as quais houve o mesmo estudo.

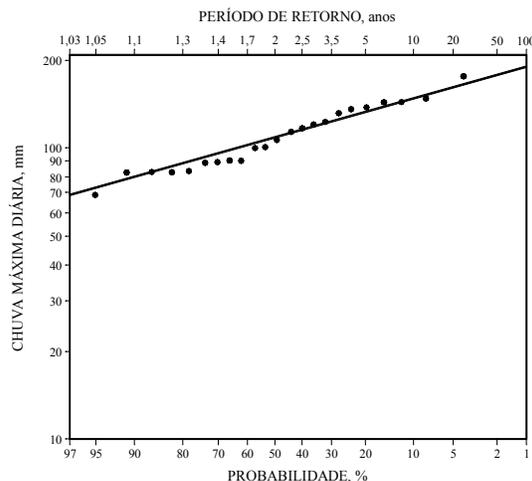


Figura 4. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das chuvas máximas diárias de Pedrinhas Paulista (SP) entre 1950 e 1998

De acordo com a Tabela 4, o maior valor do índice anual de erosividade, assim como da chuva máxima diária, observados para Pedrinhas Paulista (10989 MJ mm/ha h ano e 173 mm) apresentaram um período de retorno de 25,0 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 4,0%. Portanto, é esperado ocorrer neste local, com uma probabilidade de 4,0%, um valor do índice anual de erosividade, ou valor da chuva máxima diária, igual ou superior respectivamente a 10989 MJ mm/ha h ano e 173 mm, pelo menos uma vez a cada 25,0 anos. Da mesma forma, para o menor índice anual de erosividade, ou da chuva máxima diária, o qual apresentou um período de retorno de 1,04 anos, equivalente a uma probabilidade de 96,0%, espera-se que ocorra, com uma probabilidade de 96,0% um valor do índice anual de erosividade, ou da chuva máxima diária, igual ou superior, respectivamente a 3510 MJ mm/ha h ano e 68 mm, pelo menos uma vez a cada 1,04 anos. Os valores das chuvas máximas diárias esperados, no período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 104,3; 128,1; 144,0; 159,1; 178,7 e 193,4 mm. O valor da chuva máxima diária no período de retorno de 10 anos de 144 mm, dado utilizado rotineiramente no cálculo da área da seção transversal do terraço agrícola, discordou do mapa de isoietas previamente

determinado para o Estado de São Paulo (Lombardi Neto, 1989), uma vez que Pedrinhas Paulista situa-se entre as isoietas de 110 e 115,0 mm.

Conclusão

1) Para a microbacia estudada, em relação aos cálculos pertinentes à engenharia da conservação do solo e da água, visando-se solucionar problemas específicos de ordem econômica e ecológica, podem ser utilizados fatores de erosividade da chuva mais consistentes do que o fator R obtido, com períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente iguais a 8833, 9779, 10686, 11860 e 12740 MJ mm/ha h ano.

2) O risco de ocorrência de erosão atinge o mais alto nível no semestre de outubro a março.

Impõe-se, portanto, a necessidade de cuidados extremos, na referida época, com o intuito de se estabelecer as mais eficientes práticas conservacionistas para que sejam evitadas elevadas perdas de solo local, e

3) A chuva máxima diária calculada para o período de retorno de 10 anos e que é necessário ao terraceamento agrícola foi de 144 mm. Entretanto, desejando-se trabalhar com maior segurança de tal prática conservacionista, podem ser utilizados valores mais consistentes, os quais proporcionam uma superestimativa do dimensionamento do canal do terraço agrícola em nível, com períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos, respectivamente, de 159,1; 178,7 e 193,4 mm.

Referências

- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lajes (SC). 1ª aproximação. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 28, n.4, p. 515-21, 1993.
- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC), no período de 1981 a 1990. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 29, p. 1453-8, 1994.
- CARVALHO, M.P. *Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa (SP)*, 1987. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.
- CARVALHO, M.P. et al. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de um Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade dos solos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.13, n.2, p.237-42, 1989.
- CARVALHO, M.P. et al. Correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e coeficiente de chuva do município de Mococa-SP. *Científica*, v.19, n.1, p.1-7, 1991.
- CARVALHO, M.P. et al. *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. et al. Erosividade da chuva de Selviria (MS): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. Anais... Campinas: SBCS, 1997. (CD-ROM).

COELHO, A.P. *Fator erosividade da chuva de Votuporanga (SP)*. 2001. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

COLODRO, G. *Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP)*. 1999. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 1999.

HUDSON, N.W. *Soil Conservation*. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1973.

KURATANI, M. C. B. *Erosividade da chuva de Mirandópolis (SP): Distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência*. 2001. Dissertação (Pós-graduação Lato Sensu em Geografia) - Campus Universitário de Três Lagoas, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2001.

LIMA, M. A. *Avaliação do período de retorno e da probabilidade de ocorrência da erosividade da chuva de Bauru (SP)*. 1995. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 1995..

LOMBARDI NETO, F. *Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss as Campinas, Brasil*. 1977. (Master of Science) - Purdue University, West Lafayette, 1977.

LOMBARDI NETO, F. et al. Potencial de erosão de chuvas no Estado de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3. 1980, Recife. Anais... Recife: SBCS, 1980. p.159.

LOMBARDI NETO, F. Dimensionamento de terraço. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1989, Campinas. Simpósio... Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.26-59.

MORAIS, L.F.B. et al. Índice EI_{30} e sua correlação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.15, n.3, p.339-44, 1991.

NASCIMENTO, C.M. et al. *Atlas climatológico do Estado de São Paulo*. Campinas: Fundação Cargill, 1988.

NEWMAN, J.E. Climate in the 1970'S. *Crops Soils Mag.*, Madison, v.22, n.4, p.9-12, 1970.

PEREIRA, H.H.G. *Índices de erosividade da chuva: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba-SP*. 1983. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1983.

ROQUE, C.G.; CARVALHO, M.P. Distribuição da erosividade da chuva de Novo Horizonte (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO

- SOLO, 27, 1999, Brasília. Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999 (CD-ROM).
- ROQUE, C.G. *et al.* Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.25, n.1, p.147-156, 2001.
- SCHWAB, G.O. *et al.* *Soil and Water Conservation Engineering*. 2 ed. New York: John Wiley, 1966. (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*. 1987. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1987.
- VAL, L.A. *et al.* Erosividade das chuvas em Lavras (MG). *Ciência e Prática*, Lavras, v.10, p.187-98, 1986.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.20, n.3, p.246-9, 1959.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation*. Washington, DC: USDA, 1965. (Agriculture handbook, 282).
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, DC: USDA, 1978. (Agriculture handbook, 537).

Received on July 26, 2002.

Accepted on September 04, 2002.