

# **EROSIVIDADE DA CHUVA: DISTRIBUIÇÃO E CORRELAÇÃO COM A PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE TEODORO SAMPAIO (SP)<sup>(1)</sup>**

**G. COLODRO<sup>(2)</sup>, M. P. CARVALHO<sup>(3)</sup>, C. G. ROQUE<sup>(4)</sup> & R. M. PRADO<sup>(4)</sup>**

## **RESUMO**

**Foram separadas 812 chuvas individuais consideradas erosivas de uma série contínua de 19 anos de registros de dados pluviográficos. As chuvas selecionadas foram cotadas, digitalizadas e, posteriormente, analisadas pelo programa desenvolvido por Cataneo et al. (1982). O fator erosividade da chuva, expresso pelo parâmetro  $EI_{30}$  médio anual calculado, foi de  $7.172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , fator esperado no local pelo menos uma vez a cada 2,33 anos, com uma probabilidade de ocorrência de 42,9 %. Os valores anuais de erosividade de Teodoro Sampaio, esperados nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram, respectivamente, de 6.831, 8.666, 9.877, 11.046, 12.546 e  $13.675 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . No semestre de outubro a março, ocorreu 74,0 % da erosividade anual, sendo 45,7 % de dezembro a fevereiro. Observou-se elevada correlação entre o parâmetro  $EI_{30}$  médio mensal e o coeficiente de chuva ( $P^2/P$ ). Portanto, a equação de regressão determinada permite que seja estimado, com boa margem de segurança, o fator R para outros locais que não disponham de dados pluviográficos, mas que, entretanto, tenham dados pluviométricos e condições climáticas semelhantes às de Teodoro Sampaio (SP).**

**Termos de indexação: período de retorno, probabilidade de ocorrência, coeficiente de chuva, fator R, fator erosividade.**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de São Paulo – UNESP. Ilha Solteira (SP). Recebido para publicação em fevereiro de 2000 e aprovado em setembro de 2001.

<sup>(2)</sup> Engenheiro-Agrônomo do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de São Paulo – UNESP. Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP).

<sup>(3)</sup> Professor Assistente Doutor do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, UNESP. E-mail: morel@agr.feis.unesp.br

<sup>(4)</sup> Doutorando em Ciência do Solo, 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: rmprado@fcav.unesp.br

**SUMMARY: RAINFALL EROSIVITY: ITS DISTRIBUTION AND RELATIONSHIP WITH THE NONRECORDING RAIN GAUGE PRECIPITATION AT TEODORO SAMPAIO, SÃO PAULO, BRAZIL**

*Rainfall erosivity at Teodoro Sampaio was studied through methodology proposed by Wischmeier and Smith (1958). A set of 812 erosive individual rains was selected, from a continuum series of nineteen years of nonrecording rain gauge data, according to Wischmeier (1959), Wischmeier and Smith (1978) and Cabeda (1976) and proposed with changes by Carvalho (1987). All the selected rains were computed by the package of Cataneo et al. (1982). The rainfall erosivity factor computed was  $7172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$ , which is expected to occur at least once each 2.33 years, with a probability of occurrence of 42.9 %. The values of the annual erosivity indices at that site expected in the return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years were, respectively, 6,831, 8,666, 9,877, 11,046, 12,546, and 13,675  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$ . The greatest annual soil loss is expected to occur between the months of October and March, as shown by the 74.0 % erosivity 45.7 % with occurring between December and February of the total annual erosivity for that period. Therefore, aiming to follow the correct soil conservation principles, the better soil conservation practices are recommended to be established and maintained throughout that particular period of the year for an effective erosion soil loss control. A high correlation was found between the monthly average erosivity index  $EI_{30}$  and the rainfall coefficient at that site. Therefore, the regression equation obtained allows a fair estimate of the R factor to be used for other regions where climatic conditions are similar to Teodoro Sampaio's but without available data.*

*Index terms: return period, probability of occurrence, rainfall coefficient, R factor, erosivity factor.*

## INTRODUÇÃO

A equação universal de perda de solo (EUPS), proposta por Wischmeier & Smith (1978), prediz a perda média anual de solo que poderá ocorrer em uma área cultivada. A USLE é representada pelo produto de seis variáveis, sendo R o fator erosividade da chuva, K o fator erodibilidade do solo, L o fator comprimento do declive, S o fator grau do declive, C o fator uso, manejo e cobertura do solo e P o fator práticas conservacionistas de suporte do solo.

A erosividade da chuva (fator R da EUPS) determina a sua capacidade em provocar erosão, cujo valor é obtido pelo produto entre a energia cinética total da chuva (E) e a sua intensidade máxima em 30 min ( $I_{30}$ ) (Wischmeier & Smith, 1978). O parâmetro de erosividade  $EI_{30}$ , desenvolvido nos EUA (Wischmeier & Smith, 1978), tem sido calculado e testado em diversos países, sendo sua representação questionada em países tropicais e subtropicais (Lal, 1976; Hudson, 1973). No Brasil, o parâmetro  $EI_{30}$  tem sido amplamente utilizado (Lombardi Neto, 1977; Castro Filho et al., 1982; Pereira, 1983; Margolis, 1985; Medina & Oliveira Jr., 1987; Carvalho, 1987; Morais et al., 1988; Bertol, 1993; Bertol, 1994; Roque & Carvalho, 1999; Roque, 1999; Roque et al., 2001).

No estado de São Paulo, a erosividade da chuva vem sendo calculada, dentre outras, para as localidades de: Campinas (Lombardi Neto, 1977), Piracicaba (Pereira, 1983), Mococa (Carvalho, 1987), Pindorama (Sosa, 1987), Novo Horizonte (Roque & Carvalho, 1999) e Piraju (Roque, 1999; Roque et al., 2001). O município de Teodoro Sampaio, além de estar situado numa região de chuvas intensas em São Paulo (Vieira et al., 1991), apresenta solos arenosos de elevada erodibilidade. Assim, as práticas de conservação do solo nessa região são de fundamental importância agrícola e ambiental, sendo, portanto, necessárias informações que possibilitem a adoção e manutenção de tais práticas de maneira adequada.

Dentro desse enfoque, o objetivo do trabalho foi: (a) determinar o fator erosividade da chuva, por meio do  $EI_{30}$ , para o município de Teodoro Sampaio (SP), assim como o seu período de retorno e sua probabilidade de ocorrência, contribuindo, dessa forma, para o detalhamento e aprimoramento do mapa de linhas isoerosivas do estado de São Paulo; (b) estudar a distribuição anual, sazonal e mensal e decenal do fator erosividade da chuva; (c) definir o período de retorno e a probabilidade de ocorrência dos valores anuais de erosividade, dos valores máximos anuais das chuvas individuais erosivas, e (d) correlacionar o parâmetro erosividade  $EI_{30}$ , médio mensal com o coeficiente de chuva local.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisados os dados pluviográficos de 812 chuvas individuais erosivas no período de 01/01/1976 a 31/12/1996, do município de Teodoro Sampaio (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 e 19/11/1999. Determinou-se a erosividade da chuva nesse local pelo método de Wischmeier & Smith (1958). O município de Teodoro Sampaio está localizado na latitude 22° 37' W e na longitude 52° 10' S, numa altitude média de 255 m. A precipitação média anual é de 1.282 mm (São Paulo, 1993) e o tipo climático predominante na região é o CWa, de acordo com critérios de Köppen, caracterizado como mesotérmico de inverno seco (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 modificações sugeridas por Carvalho (1987), relacionadas a seguir: (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 a identificação 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 trinta minutos,  $I_{30}$ , foram obtidas pelo 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), ajustada ao Sistema Internacional de Unidades por Foster et al. (1981), dada por:

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

sendo: E a energia cinética da chuva no segmento ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ), e I a intensidade da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

A intensidade máxima em trinta minutos foi obtida conforme a expressão proposta por Carvalho (1987):

$$I_{30} = \sum_{i=1}^n (i_n \cdot t_n) / 30 \quad (2)$$

sendo:  $I_{30}$  a intensidade máxima da chuva 30 min ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $i_n$  o valor da intensidade da chuva de ordem n ( $\text{mm h}^{-1}$ ), 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.

A erosividade da chuva, expressa pelo parâmetro  $EI_{30}$  ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ), foi obtida pelo produto entre a energia cinética total da chuva ( $E - \text{MJ ha}^{-1}$ ) e a intensidade máxima em 30 minutos ( $I_{30} - \text{mm h}^{-1}$ ), de acordo com Wischmeier & Smith (1958), e agrupadas por decênios, 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, a seguir descritas:

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

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;

$$\text{Pr} = 100/T \quad (4)$$

sendo: Pr a probabilidade de ocorrência, e

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

sendo:  $X_c$  o valor teórico do índice de erosividade para determinado período de retorno; X a média aritmética dos índices de erosividade;  $C_v$  o coeficiente de variação dos índices de erosividade, e k o fator de frequência 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, podendo os valores dos índices anuais de erosividade, para qualquer período de retorno desejado, ou vice-versa, ser facilmente obtidos por meio da leitura direta na curva de distribuição de probabilidade ou calculados por meio da 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 dado nível de significância, normalmente com  $p < 0,10$ , com (Y-6) graus de liberdade, e  $\theta$  a relação das magnitudes entre o evento com período de retorno de 100 anos e o evento com período de retorno de 2 anos.

Utilizando dados pluviométricos do período de 01/01/1977 a 31/12/1996, para cada mês do ano, foi calculado o coeficiente de chuva, pelo 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 o ajuste das funções dos seguintes tipos: linear, potencial, exponencial, quadrática, logarítmica e semilogarítmica, aos dados de erosividade médios mensais e de coeficiente de chuva. Assim, foram apresentados os coeficientes de ajuste para o modelo matemático que apresentou o maior coeficiente de correlação (r). Posteriormente, foi efetuada a análise da variância, com o objetivo de verificar a significância do ajuste.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fator erosividade da chuva determinado para Teodoro Sampaio (SP) foi de  $7.172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , com medidas de dispersão de 2.076 e  $476 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , respectivamente, para o desvio-padrão (Dp) e erro-padrão da média (Epm) e com coeficiente de variação de 28,9 % (Quadros 1 e 2). Assim, o fator erosividade da chuva de Teodoro Sampaio ( $7.172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) foi superior aos de Piraju (SP), Campinas (SP), Pindorama (SP) e Piracicaba (SP), obtidos, respectivamente, por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987), Roque (1999) e Roque et al., (2001). No entanto, foi inferior ao de Mococa (SP), obtido por Carvalho (1987).

Considerando os valores relativos da erosividade mensal, verifica-se que os meses de dezembro e janeiro registram os mais altos valores do ano, ocorrendo 37,7 % da erosividade anual. Portanto, pode-se inferir que os altos valores do  $EI_{30}$  e sua concentração nos meses em que ocorrem as

atividades agrícolas mais intensivas (preparo do solo e plantio) indicam a necessidade da adoção de manejos de solos e culturas que favoreça ótimas condições físicas e maior cobertura vegetal do solo.

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 Teodoro Sampaio localizou-se geograficamente próximo à linha de  $5.750 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Portanto, o valor estimado pelo referido mapa para o fator R de Teodoro Sampaio foi 19,8 % inferior ao valor calculado pelo 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 Teodoro Sampaio 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 Teodoro Sampaio foi 2,4 % inferior 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 ( $7.172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) do que aquele estimado pelo mapa de linhas isoerosivas do estado de São Paulo.

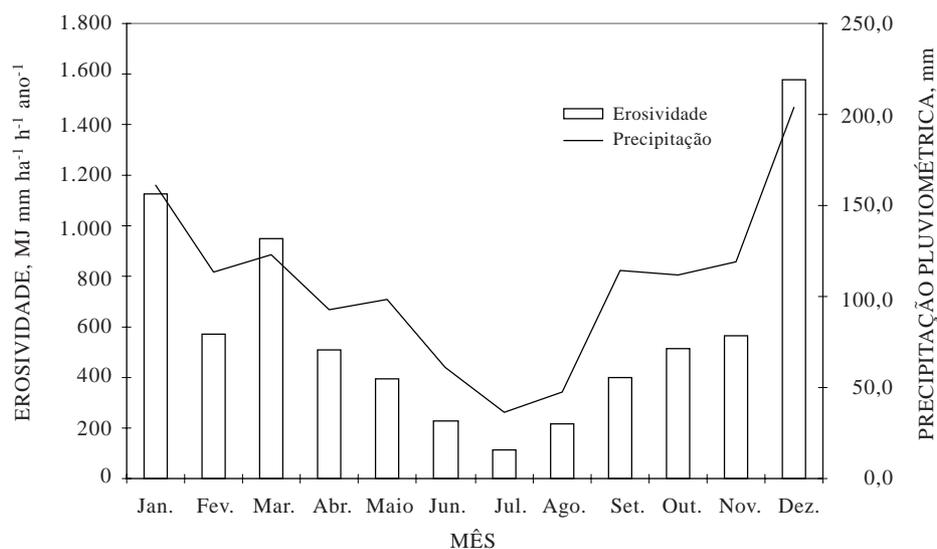
O quadro 1 e a figura 1 mostram que 74,0 % da erosividade ocorre nos meses de outubro a março, indicando que, nesse período, na condição de parcela-padrão, é esperada a maior parte das perdas anuais de solo por erosão em Teodoro Sampaio, enquanto, no semestre complementar, ocorre apenas 26,0 % do referido índice e, no trimestre de junho a agosto, apenas 7,9 %.

**Quadro 1. Distribuição média mensal dos valores absolutos e relativos do fator R de Teodoro Sampaio (SP) no período de 1976 a 1994**

Mês	Erosividade $EI_{30}$	
	Absoluto	Relativo
	MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	%
Janeiro	1.126	15,7
Fevereiro	574	8,0
Março	946	13,2
Abril	506	7,1
Mai	394	5,5
Junho	230	3,2
Julho	116	1,7
Agosto	218	3,0
Setembro	401	5,6
Outubro	514	7,2
Novembro	568	7,9
Dezembro	1.579	22,0
Total	7.172	100,0

**Quadro 2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores anuais de erosividade  $EI_{30}$  de Teodoro Sampaio (SP) no período de 1976 a 1994**

Ano	Erosividade, $EI_{30}$ MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Número de ordem (m)	Período de retorno (T) ano	Probabilidade (Pr) %
1982	13.651	1	20,00	5,0
1990	8.881	2	10,00	10,0
1984	8.679	3	6,67	15,0
1987	8.526	4	5,00	20,0
1976	8.407	5	4,00	25,0
1983	8.195	6	3,33	30,0
1980	7.532	7	2,86	35,0
1992	7.369	8	2,50	40,0
1978	6.890	9	2,22	45,0
1986	6.736	10	2,00	50,0
1994	6.723	11	1,82	55,0
1989	6.360	12	1,67	60,0
1979	6.265	13	1,54	65,0
1981	6.263	14	1,43	70,0
1991	6.027	15	1,33	75,0
1977	5.979	16	1,25	80,0
1993	4.995	17	1,18	85,0
1985	4.706	18	1,11	90,0
1988	4.092	19	1,05	95,0
Média	7.172	-	-	-
C.V. (%)	0,289	-	-	-

**Figura 1. Distribuição da erosividade ( $EI_{30}$ ) e da precipitação pluviométrica médias anuais de Teodoro Sampaio (SP) no período de 1976 a 1994.**

Em termos absolutos, esse valor de erosividade, nessa época, ocupou a quarta posição em relação aos de Mococa, Campinas, Piraju, Pindorama e Piracicaba, respectivamente, determinados por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Carvalho (1987), Sosa (1987), Roque (1999) e Roque et al.

(2001). Dessa forma, tais valores foram de 6.616, 6.047, 5.545, 5.307, 5.117 e 4.933 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, para Mococa, Campinas, Piraju, Teodoro Sampaio, Pindorama e Piracicaba. Por outro lado, em termos relativos, esse valor ocupou a última posição nas referidas localidades: 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, eram esperadas maiores perdas de solo por erosão em Campinas, Mococa e Piraju quando comparadas às de Teodoro Sampaio.

A figura 1 indica haver uma harmonia entre as distribuições médias mensais do fator erosividade e da pluviometria do município de Teodoro Sampaio. Observa-se que a erosividade média anual para Teodoro Sampaio é de  $7.172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , para uma precipitação de  $1.282,3 \text{ mm ano}^{-1}$ , estando os meses com maiores precipitações associados aos meses de maior erosividade. Este fato destaca, uma vez mais, o efeito preponderante da intensidade da chuva em caracterizar seu potencial erosivo. Acrescenta-se, ainda, que existem localidades que apresentam esse mesmo comportamento, como Cáceres-MT e Corixa-MT, com erosividade média anual de  $7.766$  e  $7.278 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  e precipitação média anual de  $1.246$  e  $1.259 \text{ mm}$ , respectivamente (Morais et al., 1991). Vale destacar que Goiânia (GO), com precipitação média ( $1.280,6 \text{ mm}$ ) próxima à de Teodoro Sampaio, apresenta uma erosividade maior ( $8.355 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) (Silva et al., 1996). Estas diferenças decorrem, especialmente, do clima e relevo distintos entre as localidades.

Com base nos dados de erosividade decendiais, a partir do primeiro decêndio de julho, foram obtidas as percentagens dos parâmetros 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).

Os valores extremos dos fatores anuais de erosividade variaram de  $4.092$  a  $13.651 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , respectivamente, em 1988 e 1982 (Quadro 2), enquanto os valores extremos médios mensais foram de  $116$  e  $1.579 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , respectivamente, para os meses de julho e dezembro (Quadro 1). A adequação do número de anos de registros de dados de erosividade revelou ser de  $11,3$  anos ( $p < 0,10$ ) ou de  $21,1$  anos ( $p < 0,02$ ) os tempos mínimos necessários de dados para obtenção do fator R de Teodoro Sampaio, de acordo com a equação (6).

Os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência, determinados para o maior parâmetro de erosividade anual observado ( $13.651 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), foram de  $20,0$  anos e  $5,0$  %, respectivamente (Quadro 2). Portanto, esperava-se ocorrer neste local, com uma probabilidade de  $5,0$  %, um valor anual de erosividade igual ou superior a  $13.651 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  pelo menos uma vez cada  $20,0$  anos. Os menores valores de erosividade anual observados ( $4.092 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) foram, respectivamente, de  $1,05$  ano e de  $95,00$  % (Quadro 2). Acredita-se, por essa razão, que ocorra, com uma probabilidade de  $95,0$  %, um valor anual de erosividade igual ou

superior a  $4.092 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  pelo menos uma vez a cada  $1,05$  ano.

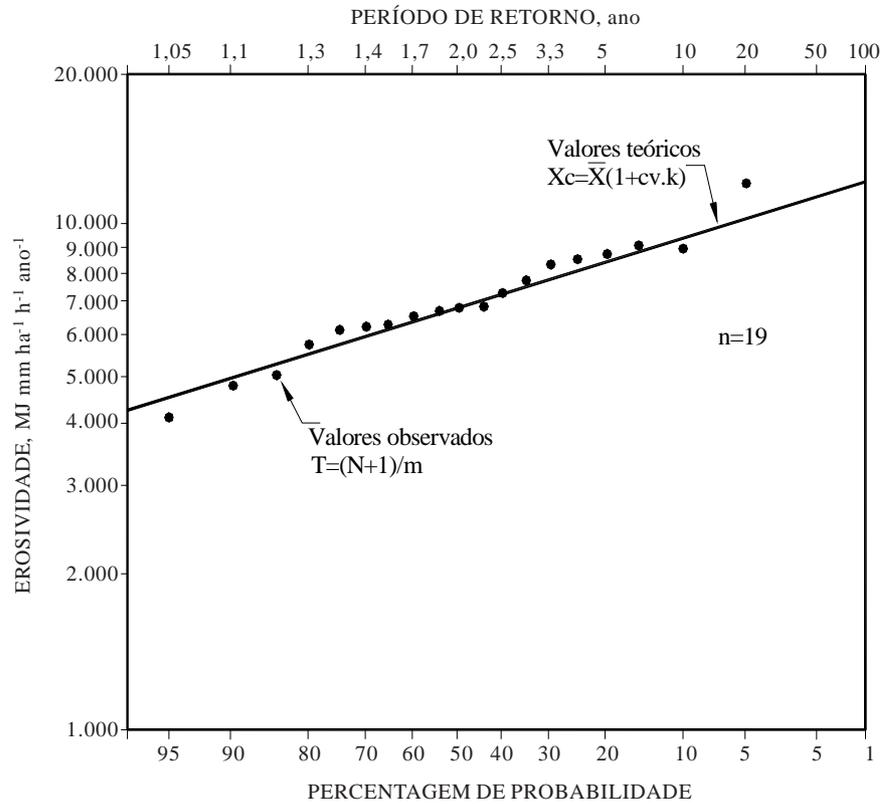
Em relação ao maior valor de erosividade para chuvas individuais, isto é, a chuva mais erosiva do período de tempo estudado ( $3.284 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), foi observado um período de retorno de  $20,0$  anos, sendo equivalente a uma probabilidade de ocorrência de  $5,0$  %.

A curva de distribuição de probabilidade dos valores anuais de erosividade de Teodoro Sampaio (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); Roque (1999) e Roque et al. (2001).

O período de retorno do fator erosividade da chuva (R) do município de Teodoro Sampaio ( $7.172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) foi de  $2,33$  anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de  $42,92$  %, valores estes obtidos da figura 2. Esse valor foi 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 Piraju ( $2,3$  anos), respectivamente, determinados por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987), Carvalho (1987), Carvalho et al. (1996, 1997), Roque (1999), Roque et al. (2001). Conclui-se, portanto, ser possível ocorrer para o local estudado, com uma probabilidade de  $42,92$  %, um valor anual de erosividade igual ou superior ao fator R calculado ( $7.172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), pelo menos uma vez a cada  $2,33$  anos. Na mesma figura, pode-se observar que os valores dos parâmetros de erosividade anual, esperados para os períodos de retorno de  $2, 5, 10, 20, 50$  e  $100$  anos, foram de  $6.831, 8.666, 9.877, 11.046, 12.546$  e  $13.675 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , respectivamente, enquanto os valores máximos anuais do parâmetro de erosividade para chuvas individuais, esperados para os respectivos períodos de retorno, foram, respectivamente, de  $1.223, 1.853, 2.274, 2.675, 3.195$  e  $3.585 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , segundo o método preconizado em Schwab et al. (1981).

Os meses de dezembro e março foram os de maior frequência de chuva individual mais erosiva do ano (seis vezes), enquanto os meses de janeiro e fevereiro apresentaram uma frequência de três vezes para cada um deles, sendo o mês de outubro o de menor frequência, com apenas uma vez, podendo-se observar que ocorreram 19 chuvas individuais mais erosivas do ano no período de outubro a março, totalizando, assim,  $100$  % nesse período (Quadro 3).

Assim, obteve-se comportamento igual ao de Pindorama, onde também houve o total destas chuvas neste período, conforme estudado por Sosa (1987). Por outro lado, os dados obtidos concordaram parcialmente com os dados de Mococa, Piraju e Campinas, que registraram valores respectivos de



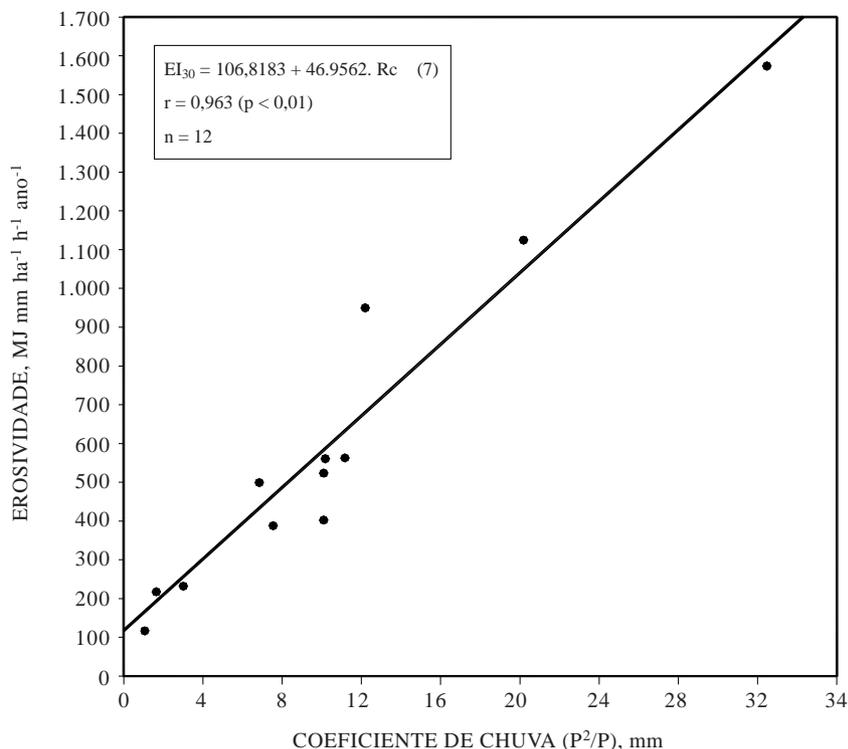
**Figura 2. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos valores anuais de erosividade EI<sub>30</sub> de Teodoro Sampaio (SP) no período de 1976 a 1994.**

**Quadro 3. Valores médios mensais e média anual de precipitação pluviométrica, coeficientes de chuva e parâmetro de erosividade EI<sub>30</sub> de Teodoro Sampaio (SP) no período de 1976 a 1994**

Mês	Precipitação média mensal	Coeficiente de chuva (Rc)	EI <sub>30</sub> médio mensal calculado
	mm		
Janeiro	160,9	20,19	1.126
Fevereiro	113,2	9,99	574
Março	123,2	11,84	946
Abril	92,5	6,67	506
Maio	98,3	7,54	394
Junho	61,0	2,90	230
Julho	36,5	1,04	116
Agosto	47,6	1,77	218
Setembro	114,0	10,14	401
Outubro	112,0	9,78	514
Novembro	118,9	11,03	568
Dezembro	204,3	32,55	1.579
Total ou média anual	1.282,3	-	7.172

89,5, 91 e 95,5 % destas chuvas neste período, conforme observado, respectivamente, por Lombardi Neto (1977), Carvalho (1987), Roque (1999) e Roque et al. (2001). Os meses de dezembro e março mostraram maior frequência mensal da chuva

individual mais erosiva do ano para Teodoro Sampaio, sendo observadas seis chuvas para cada mês. Assim, esta observação ficou plenamente de acordo com os dados observados por Sosa (1987) para Pindorama, onde os meses de dezembro e março



**Figura 3. Curva de regressão entre o parâmetro de erosividade  $EI_{30}$  médio mensal e o coeficiente de chuva de Teodoro Sampaio (SP) no período de 1976 a 1994.**

foram os de maior frequência, sendo de seis vezes cada um. Carvalho (1987), para Mococa, observou que o mês de maior frequência foi o de dezembro com seis vezes, enquanto Lombardi Neto (1977), Roque (1999) e Roque et al. (2001) observaram, para Campinas e Piraju, que o mês de janeiro foi o que apresentou maior frequência, sete e oito vezes, respectivamente.

O volume de precipitação (Quadro 4) no semestre outubro-março contribuiu com 64,9 % da quantidade total anual de chuva.

A figura 3 apresenta a curva de regressão entre o índice de erosividade médio mensal e o coeficiente de chuva para Teodoro Sampaio, durante os anos de 1976 a 1994.

Teodoro Sampaio apresentou elevada correlação entre o índice de erosividade,  $EI_{30}$ , médio mensal e o coeficiente de chuva. É importante ressaltar que, para regiões com tipo de formação de chuvas menos complexa, como Teodoro Sampaio, esta relação erosividade x coeficiente de chuva apresenta alto valor de correlação, entretanto, Albuquerque et al. (1994) relataram que esta relação em regiões com período chuvoso sujeito a dois regimes de chuvas distintos, a exemplo da região Nordeste, pode limitar o uso do coeficiente de chuva para prever a erosividade.

O modelo matemático que apresentou a melhor correlação foi o linear ( $r = 0,963$ ), de acordo com a

equação (Figura 3), concordando com os dados de Lages (SC) e Campos Novos (SC), observados, respectivamente, por Bertol (1993, 1994). Por outro lado, contrastou com os dados de Campinas, Piracicaba, Pindorama, Mococa e Piraju, observados, respectivamente, por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987) e Carvalho (1987), Roque (1999), Roque et al. (2001), cujo modelo de maior correlação foi o do tipo exponencial.

## CONCLUSÕES

1. O fator erosividade da chuva para o município de Teodoro Sampaio (SP), calculado pelo parâmetro  $EI_{30}$ , foi de  $7.172 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Este fator, que revela uma probabilidade de ocorrência de 42,9 %, 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 74,0 % 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 6.831, 8.666, 9.877, 11.046,

12.546 e 13.675 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto os valores máximos anuais do índice de erosividade para chuvas individuais, esperados para os respectivos períodos de retorno, foram, respectivamente, de 1.223, 1.853, 2.274, 2.675, 3.195 e 3.585 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>;

4. O modelo matemático que apresentou a melhor correlação entre o EI<sub>30</sub> médio mensal e o coeficiente de chuva foi o linear.

## LITERATURA CITADA

- 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, 18:279-283,1994.
- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI<sub>30</sub>) para Lajes (SC). 1ª 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. 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, Universidade de São Paulo, 1987. 104p. (Tese de Mestrado)
- CARVALHO, M.P.; PISSARRA, T.C.T.; PAULINO, H.B.; KOGA, P.S. & CARVALHO, M.A.C. Erosividade da chuva de Botucatu (SP): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. Anais. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1996. CD-ROM.
- CARVALHO, M.P.; PISSARRA, T.C.T. & 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., Rio de Janeiro, 1997. 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 5 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.
- 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.
- 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., Recife, 1980. Anais. Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1980. p.159.
- 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.
- MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHIENVENG, T.M.C.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.S.; BOEL, E. & DURIGON, V. Índice EI<sub>30</sub> e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. R. Bras. Ci. Solo, 15:339-344, 1991.
- PEREIRA, H.H.G. Índices de erosividade da chuva: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba (SP). Piracicaba: Universidade de São Paulo, 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.
- ROQUE, C.G. Erosividade da chuva: distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva para o município de Piraju (SP), Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 1999. 98p. (Tese de Mestrado)
- 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. R. Bras. Ci. Solo, 25:147-156, 2001.
- 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)
- SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P. & CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996. Anais. Águas de Lindóia, EMBRAPA, 1996. (CD ROM)
- SOSA, D.A. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a perda de solo de Pindorama, São Paulo, Brasil. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1987. 105p. (Tese de Mestrado)
- VIEIRA S.R.; LOMBARDI NETO, A. & BURROWS, I.T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o Estado de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 15:93-98, 1991.
- 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)