

FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA DE MIRANDÓPOLIS (SP)

KURATANI, Márcia Cristina de Brito¹
CARVALHO, Morel de Passos e³
SAKAMOTO, Arnaldo Yoso²

RESUMO: Foi estudada a erosividade da chuva de Mirandópolis (SP) visando-se a 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 25 anos de dados de chuva. Portanto, seu valor calculado foi de 6962 MJ.mm/ha.h.ano, esperado ocorrer no local pelo menos uma vez a cada 2,3 anos, com uma probabilidade de 43,5%. Observou-se uma distribuição de 81,6% do fator R no semestre de outubro a março, indicando que, potencialmente falando, 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 6803, 7654, 8217, 8756, 9455 e 9979 MJ.mm/ha.h.ano. Também, o valor da chuva máxima diária, calculada para o período de 10 anos, foi de 101 mm. Este dado poderá ser usado nos cálculos do dimensionamento da seção transversal ideal do canal de terraceamento agrícola local.

Termos para indexação:: erosividade da chuva, equação universal de perda de solo, EUPS, terraceamento agrícola.

¹ Prof. Dr. DCH do Curso de Geografia UFMS-Câmpus de Três Lagoas

² Prof. Dr. Curso de Pós-Graduação Faculdade de Engenharia-Câmpus de Ilha Solteira/UNESP.

³ FOURNIER, F. Climate et Erosion. Pres Universitaires de France, Paris, 1960. 201p.

INTRODUÇÃO

A equação universal de perda de solo (EUPS) tem o objetivo de prever a erosão (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 cultura (C), e práticas conservacionistas (P). Dessa forma, sua utilização é de importância fundamental para o estabelecimento do correto uso e manejo do solo e, conseqüentemente, para relacionar as práticas conservacionistas de maior eficiência (Wischmeier & Smith, 1978; Carvalho, 1987). Por outro lado, 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). 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 energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em trinta minutos (Wischmeier & 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. Já com relação à enxurrada, basicamente são o seu volume e o pico da taxa de

Cultura Agrônômica, Ilha Solteira, v.12, n.1, p.37-63, 2003.

descarga (Hudson, 1973; Wischmeier & Smith, 1978; Carvalho et al., 1991; Roque et al., 2001).

Período de retorno é o intervalo de tempo em anos que um determinado evento hidrológico será igualado ou superado. Pode ser determinado pela equação de Gumbel, que possui como base estatística a lei dos valores extremos, isto é, os valores máximos anuais de um determinado evento hidrológico aproximam-se de um padrão definido de distribuição de freqüência, quando o número de observações em cada ano torna-se 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:

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

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 EI_{30} , uma vez que para muitos locais do Estado de São Paulo não existem pluviógrafos, LOMBARDI NETO (1977) estimou o índice de erosividade EI_{30} médio mensal de Campinas (SP) com um coeficiente de chuva semelhante ao coeficiente da equação (1), dado pela seguinte expressão:

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

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:

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

sendo: EI_{30} 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 a 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 EI_{30} , 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, 1983; Colodro, 1999; Roque et al., 2001; Coelho, 2001).

Dentro deste enfoque, o objetivo do presente trabalho foi o seguinte para Mirandópolis (SP): a) Determinar o fator erosividade (R) pelo índice EI_{30} , contribuindo assim com o aprimoramento do mapa de isocerosividade do Estado de São Paulo; b) estudar a distribuição pluviométrica; e c) definir o período de retorno e a probabilidade de ocorrência dos índices EI_{30} anuais e das chuvas máximas diárias, visando-se aperfeiçoar a tecnologia do terraceamento agrícola local.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados pluviométricos do município de Mirandópolis (SP), obtidos junto ao Departamento Estadual de Água e Energia Elétrica (DAEE), pertencente à Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras (SÃO PAULO, 1993). O município de Mirandópolis encontra-se nas coordenadas de 21° 07' de latitude Sul e de longitude 51° 05' Oeste. Sua altitude média é de 423 m. A precipitação média anual é de 1272mm. As temperaturas médias anuais máximas e

média anual é de 1272mm. As temperaturas médias anuais máximas e mínimas são respectivamente 30,0^oC e 18,0^oC. O tipo climático predominante da região é o Aw, de acordo com o critério de Koeppen, caracterizado por apresentar-se como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

Foram acumulados os dados de precipitação pluviométrica do município de Mirandópolis, durante a série de 25 anos de análises de dados (1976 a 2000), relacionado através dos totais mensais ano a ano, conforme SÃO PAULO (1993). 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 pluviométrica 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 Mirandópolis, para a referida série pesquisada.

Os índices de erosividade médios mensais de Mirandópolis foram obtidos através da equação (16), calculada para o município de Votuporanga (COELHO, 2001), dada por:

$$Ei_{30} = -0,8804 \times Rc^2 + 65,4290 \times Rc + 62,9790 \dots \dots \dots (4)$$

onde: EI_{30} representou o índice de erosividade EI_{30} médio mensal de Mirandópolis, 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 Votuporanga, aos dados de Mirandópolis, foi previamente testada, tanto através da regressão linear entre os dados de precipitação anual, para a série de 1976 a 2000 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 Mirandópolis através de:

$$ei = (PM \times IE) / PA \dots \dots \dots (5)$$

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 Mirandópolis, para o período de 1976 a 2000. 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 Mirandópolis originou-se do valor médio entre os 25 anos contidos na série estudada.

Foram analisadas 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 Mirandópolis, compreendida entre 1976 e 2000. Para tais análises foram utilizadas a lei da probabilidade logarítmica (CHOW, 1951; 1954) e a teoria dos valores extremos (GUMBEL, 1941; 1954) preconizadas por SCHWAB et al. (1966).

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

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

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), equivalente ao período de retorno, pôde ser calculada por:

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

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

$$X_C = X (1 + C_V, k) \dots\dots\dots (8)$$

onde X representa a média aritmética dos eventos climatológicos, C_V é o coeficiente de variação, e k é o fator de frequência do evento climatológico, estimado para um determinado período (T) qualquer, e dado pela expressão (CHOW, 1954):

$$k = (-2,45 \cdot (\lambda + \ln(\ln T - \ln(T - 1)))) / \pi \dots\dots\dots (9)$$

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, sendo 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):

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

onde Y é o número aceitável de anos de registro da série parcial de eventos climatológico; 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

O Quadro 01 apresenta a distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica de Mirandópolis, representante da série de 25 anos de análise de dados (1976 a 2000) utilizada para o cálculo do fator R local. A precipitação média anual observada foi de 1272,1mm, com um desvio padrão e erro padrão de média respectivamente 183,3 e 36,7mm. O coeficiente de variação apresentado foi de 14,4%. A adequação do número de anos de registro da série parcial de dado de precipitação anual revelou, ao nível de 1% de probabilidade, que o tempo mínimo aceitável, obtido pela equação (10) contida em SCHWAB et al. (1981), foi de 10,5 anos. Dessa forma, este fato diferiu do relato de NEWMAN (1970), que preconizou a utilização de uma série parcial de dados climatológicos com pelo menos 22 anos. Diferiu também dos relatos de WISCHMEIER & 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 (1999), ROQUE & CARVALHO (1999) e COELHO (2001), os quais relataram tempos menores do que 20 e/ou 22 anos para a série pluviográfica contínua destinada ao cálculo do fator R.

Tabela 1.-Distribuição mensal e anual da precipitação pluviométrica de Mirandópolis (SP) entre 1976 e 2000.

Precipitação Pluviométrica													
Mês	jan.	fev.	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total Anual
Ano	mm												
1976	149,1	312,3	95,7	25,8	59,6	24,8	37,6	84,6	189,6	97,0	133,1	178,8	1388,0
1977	450,9	90,1	117,6	129,9	2,5	73,8	1,2	7,7	80,3	118,5	158,4	298,5	1529,4
1978	166,7	139,9	109,9	60,7	132,2	10,6	84,4	0,0	90,2	62,2	119,3	261,4	1237,5
1979	145,9	101,3	74,4	144,1	70,8	0,0	56,6	11,9	82,2	104,9	108,7	328,7	1229,5
1980	167,6	239,7	70,8	71,7	63,1	73,6	0,1	22,4	139,8	87,9	112,2	133,4	1182,3

...continuação

Precipitação Pluviométrica

Mês	jan.	fev.	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total Anual
Ano	mm												
1981	186,0	69,0	221,0	85,0	0,0	80,0	0,0	5,0	9,0	290,0	115,0	261,0	1321,0
1982	200,0	178,0	311,0	37,0	50,0	28,0	64,0	10,0	37,0	103,0	170,0	128,0	1316,0
1983	460,0	46,0	118,0	195,0	143,0	26,0	18,0	0,0	128,0	84,0	160,0	210,0	1588,0
1984	178,0	132,0	127,0	113,0	43,0	0,0	0,0	86,0	118,2	49,0	78,1	200,0	1124,3
1985	153,6	225,2	163,2	166,8	52,3	14,0	25,8	5,4	18,0	46,3	126,3	67,3	1064,2
1986	155,8	120,0	148,9	70,0	146,2	0,0	26,8	59,9	8,4	88,0	179,8	154,6	1158,4
1987	296,2	146,2	62,1	20,2	50,4	21,6	2,0	11,0	63,0	99,4	126,7	115,0	1913,8
1988	226,8	175,3	149,9	122,2	56,0	0,0	0,0	0,0	10,3	133,7	31,7	386,2	1292,1
1989	314,4	374,3	44,7	21,5	62,2	34,2	57,0	65,8	76,8	87,0	220,2	214,7	1572,8
1990	269,3	32,4	129,5	126,2	71,8	5,0	26,9	120,6	93,6	115,0	186,0	114,0	1290,3
1991	327,8	148,8	159,8	79,0	25,4	56,6	25,6	0,0	42,6	100,7	6,8	172,2	1145,3
1992	324,8	159,0	151,4	81,8	1,5	58,8	16,4	0,7	25,1	96,6	35,8	177,6	1129,5
1993	186,4	325,4	84,9	134,5	8,9	65,2	0,0	54,2	57,9	26,4	75,4	230,6	1249,8
1994	321,3	139,4	106,5	53,3	25,6	26,0	9,8	0,0	6,0	149,0	109,2	129,2	1075,3
1995	275,0	435,6	68,3	74,8	40,5	46,4	12,9	0,0	76,3	117,8	61,6	194,9	1404,1
1996	121,4	87,3	156,3	39,4	132,7	20,0	9,0	21,5	72,1	163,3	236,6	171,4	1231,0
1997	358,1	215,0	95,3	157,7	88,7	204,8	11,3	3,7	51,5	193,5	270,3	85,5	1735,4
1998	44,7	146,2	129,6	113,0	38,4	4,1	1,8	61,7	118,1	183,2	42,3	328,5	1211,6
1999	253,2	121,9	103,6	44,9	46,1	65,2	4,1	0,0	34,7	37,3	94,8	216,9	1022,7
2000	194,1	170,0	253,4	8,7	14,9	6,4	30,9	71,1	164,5	23,1	163,7	190,3	1291,1
Média	237,1	173,2	130,1	87,0	57,0	37,8	20,9	28,1	71,7	106,3	124,9	197,9	1272,1

A Figura 01 apresenta os intervalos de confiança, determinados para as precipitações médias mensais mês a mês, de Votuporanga e Mirandópolis, durante o período de 1976 a 2000. Seu objetivo foi o de comparar a eficiência da utilização da equação (4) de Votuporanga (SP), utilizada para estimar os índices de erosividade médios mensais para outra localidade qualquer, mas que entretanto apresente distribuição de chuva de forma semelhante ao referido local. Assim, pôde-se observar que a referida equação foi perfeitamente válida para o uso aos dados de precipitação de Mirandópolis (SP), uma vez que para todos os meses do ano, para as duas localidades, houve perfeita 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 0,9855 ($p < 0,01$), tendo portanto, elevada correlação.

Os Quadros 02 e 03 e a Figura 02 apresentam as distribuições mensais, médias mensais, anuais e médias anuais do fator erosividade (R) de Mirandópolis, obtidos pelo índice EI_{30} e avaliados para a série de dados entre os anos de 1976 a 2000. Desta forma, o fator R local foi de 6962 MJ.mm/ha.h.ano, com um desvio padrão e erro padrão da média de 962 e 192 MJ.mm/ha.h.ano, respectivamente. O coeficiente de variação apresentado foi de 13,8%.

O fator R de Mirandópolis de 6962 MJ.mm/ha.h.ano (Quadro 02 e 03) foi maior que os de Pindorama e Selvíria, respectivamente calculados por SOSA (1987) e CARVALHO et al. (1997). Entretanto, foi inferior aos de Mococa, Barranquinhos, Flexas, Bauru, Botucatu, Teodoro Sampaio, Piraju e Votuporanga, respectivamente calculados por CARVALHO et al. (1989 a, 1996), MORAIS et al. (1991), LIMA (1995), COLODRO (1999), ROQUE (1999) e COELHO (2001). 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 Mirandópolis, que estão ao redor de 5750 a 6100 MJ.mm/ha.h.ano.

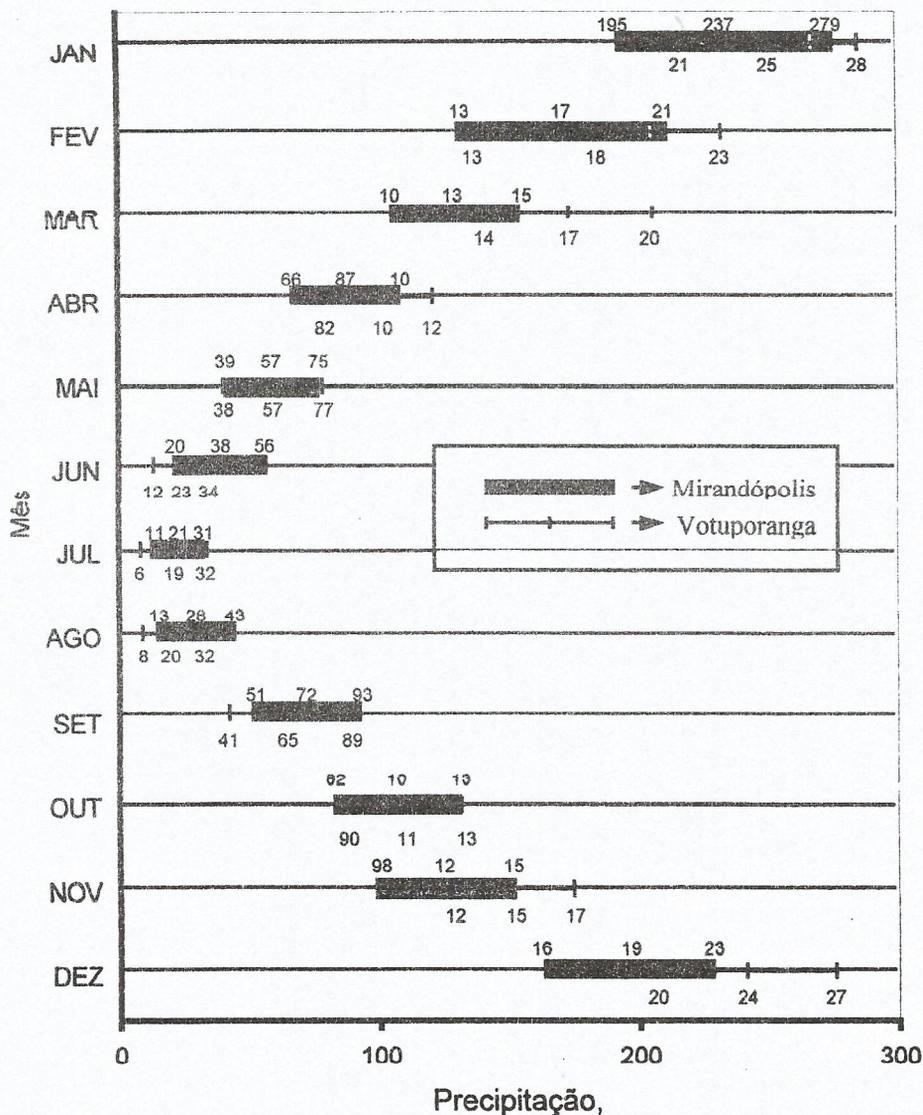


Figura 01. Intervalo de confiança da precipitação média mensal de Votuporanga (SP) e Mirandópolis (SP) ocorrida entre 1976 e 2000.

Tabela 2.-Valores médios mensais e média anual de precipitação pluviométrica, coeficientes de chuva e índices de erosividade EI₃₀ médios mensais de Mirandópolis (SP) avaliados de 1976 a 2000.

Mês	Precipitação média mensal	Coeficiente de chuva (Rc)	EI ₃₀ médio ⁽¹⁾ mensal calculado
	mm		MJ.mm/ha.h.an
Jan.	237,1	44,19	1235
Fev.	173,2	23,58	1116
Mar.	130,1	13,31	778
Abr.	87,0	5,95	421
Mai.	57,0	2,55	224
Jun.	37,8	1,12	135
Jul.	20,9	0,34	85
Ago.	28,1	0,62	103
Set.	71,7	4,04	313
Out.	106,4	8,90	576
Nov.	124,9	12,26	733
Dez.	197,9	30,79	1243
Total ou média anual	1272,1	---	6962

⁽¹⁾ Calculado através da equação de Votuporanga – SP (Coelho, 2001)

Tabela 3.-Distribuição mensal e anual dos índices de erosividade EI₃₀ de Mirandópolis durante o período de 1976 a 2000.

Precipitação Pluviométrica													
Mês	jan.	fev.	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total Anual
Ano	MJ.mm/ha.h.ano												
1976	777	2012	572	125	234	89	153	310	828	525	781	1123	7529
1977	2349	581	703	629	10	264	5	28	351	642	930	1875	8367
1978	868	901	657	294	520	38	343	0	394	337	700	1642	6694
1979	760	653	445	697	278	0	230	44	359	568	638	2065	6737
1980	873	1545	423	347	248	263	0	82	610	476	659	838	6364
1981	969	445	1322	411	0	286	0	18	39	1570	675	1639	7374
1982	1042	1147	1860	179	197	100	260	37	162	558	998	807	7344
1983	2396	296	706	944	562	93	73	0	559	455	939	1319	8342
1984	927	851	760	547	169	0	0	315	516	265	458	1256	6064
1985	800	1451	976	807	206	50	105	20	79	251	741	423	5909
1986	812	773	890	339	575	0	109	220	37	476	1055	971	6257
1987	1543	942	371	98	198	77	8	40	275	538	744	722	5556
1988	1181	1130	896	591	220	0	0	0	45	724	186	2426	7399
1989	1638	2412	267	104	244	122	232	241	335	471	1292	1349	8707
1990	1403	209	774	611	282	18	109	442	409	623	1092	716	6688
1991	1707	959	956	382	100	202	104	0	186	545	40	1082	6263
1992	1692	1025	905	396	6	210	67	3	110	523	210	1116	6263
1993	971	2097	508	651	35	233	0	199	253	143	443	1448	6981
1994	1674	898	637	258	101	93	40	0	26	807	641	812	5987

Precipitação Pluviométrica

Ano	MJ.mm/ha.h.ano												Total Anual
	jan.	fev.	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1995	1432	2807	408	362	159	166	53	0	333	638	362	1224	7944
1996	632	563	935	191	522	71	37	79	315	884	1389	1077	6695
1997	1865	1385	570	763	349	731	46	14	225	1048	1586	537	9119
1998	233	942	775	547	151	15	7	226	516	992	248	2063	6715
1999	1319	786	620	217	181	233	17	0	152	202	556	1362	5645
2000	1011	1095	1515	42	59	23	126	261	718	125	961	1195	7131
Média	1235	1116	778	421	224	135	85	103	313	576	733	1243	6962

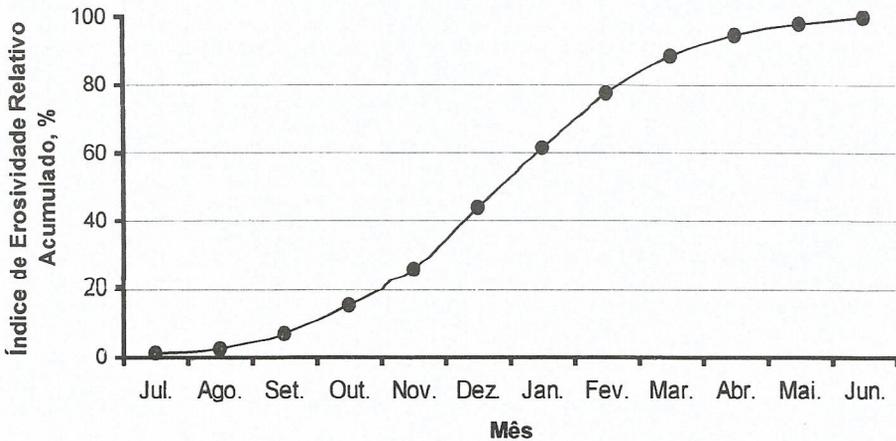


Figura 02. Distribuição relativa acumulada do índice de erosividade EI_{30} médio mensal de Mirandópolis (SP) durante o período de 1976 a 2000.

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 5556 a 9119 MJ.mm/ha.h.ano. Os valores extremos dos índices de erosividade médios mensais foram de 85 e 1243 MJ.mm/ha.h, respectivamente para os meses de julho e dezembro (Quadro 03). Pelos dados apresentados, pode-se observar que 81,6 % 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 Mirandópolis. Em contraposição, no semestre complementar, essa quantia foi de apenas 18,4 %, assim como, no trimestre de junho a agosto, de apenas 4,6 %. Tais quantias 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., 1989a, 1996, 1997; MORAIS et al., 1991; LIMA, 1995; COLODRO, 1999, ROQUE, 1999, e COELHO, 2001).

A distribuição da precipitação pluviométrica anual de Mirandópolis (Figura 01; Quadro 01) seguiu um padrão semelhante ao bimodal, conforme descrição apresentada por HUDSON (1973). Este fato se assemelhou com as distribuições de Mococa, Campinas, Piraju e Votuporanga, respectivamente determinadas por LOMBARDI NETO (1977), CARVALHO (1989a), ROQUE (1999) e COELHO (2001), que apresentaram um padrão com tendência ao tipo unimodal. No entanto, apresentou ligeiro contraste com a distribuição 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 02), 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 Mirandópolis (WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978; LOMBARDI

NETO, 1977; CARVALHO, 1987). Os valores da distribuição relativa dos EI_{30} médios mensais (julho a junho) foram, respectivamente, de 1,64; 2,21; 5,64; 8,36; 9,81; 15,56; 18,64; 13,62; 10,23; 6,84; 4,48; 2,97%. 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 & SMITH, 1965, 1978).

No Quadro 04 é apresentada a probabilidade de ocorrência e o período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade de Mirandópolis, durante o período de 1976 a 2000. Observa-se que os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determinada para o maior índice de erosividade anual observado (9119 MJ.mm/ha.h.ano) foram respectivamente 26 anos e 3,85%. Da mesma forma, os valores para o menor índice anual de erosividade observado (5556 MJ.mm/ha.h.ano) foram de 14 anos e de 96,15%.

Determinou-se a distribuição da probabilidade de ocorrência, apresentada na Figura 03 e 04, a qual foi ajustada através da equação (8) de acordo com indicação de SCHWAB et al. (1981). Os valores dos índices anuais de erosividade, para qualquer outro período de retorno desejado, ou vice-versa, podem ser facilmente obtidos através da leitura direta na curva de distribuição de probabilidade apresentada na Figura 03 e 04, 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 Mirandópolis foi 2,3 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 43,5%. Assim, pôde-se concluir que é possível ocorrer para o local estudado, com uma probabilidade de 43,5%, um valor anual do índice EI_{30} de erosividade igual ou superior ao fator R calculado (6962 MJ.mm/ha.h.ano) pelo menos uma vez a cada 2,3 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 6803, 7654, 8217, 8756, 9455 e 9979 MJ.mm/ha.h.ano.

Cultura Agronômica, Ilha Solteira, v.12, n.1, p.37-63, 2003.

Tabela 4.-Período de retorno e probabilidade de ocorrência dos índices EI₃₀ anuais de erosividade de Mirandópolis (SP) durante o período de 1976 a 2000.

Ano	Índice de erosividade EI ₃₀ MJ.mm/ha.h.ano	Número de ordem (m)	Período ⁽¹⁾ de retorno (T) Anos	Probabilidade ⁽²⁾ de ocorrência (Pr) %
1997	9119	1	260	3,85
1989	8707	2	130	7,69
1977	8367	3	8,67	11,53
1983	8342	4	6,50	15,39
1995	7944	5	5,20	19,23
1976	7529	6	4,33	23,10
1988	7399	7	3,71	26,95
1981	7374	8	3,25	30,77
1982	7344	9	2,89	34,60
2000	7131	10	2,60	38,46
1993	6981	11	2,36	42,37
1979	6737	12	2,17	468
1998	6715	13	20	500
1996	6695	14	1,86	53,76
1978	6694	15	1,73	57,80
1990	6688	16	1,63	61,35
1980	6364	17	1,53	65,36
1991	6263	18	1,44	69,44
1992	6263	19	1,37	72,99
1986	6257	20	1,30	76,92
1984	6064	21	1,24	80,65
1994	5987	22	1,18	84,75
1985	5909	23	1,13	88,50
1999	5645	24	18	92,59
1987	5556	25	14	96,15
Média	6962	--	--	--
CV ⁽³⁾	0,1381	--	--	--
DP ⁽⁴⁾	962	--	--	--

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

As curvas de distribuição de probabilidade dos valores dos índices anuais de erosividade de Mirandópolis (Figura 03 e 04), seguiu 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 (1999) e COELHO (2001). Os valores dos índices anuais de erosividade de Mirandópolis, 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 também o mesmo estudo.

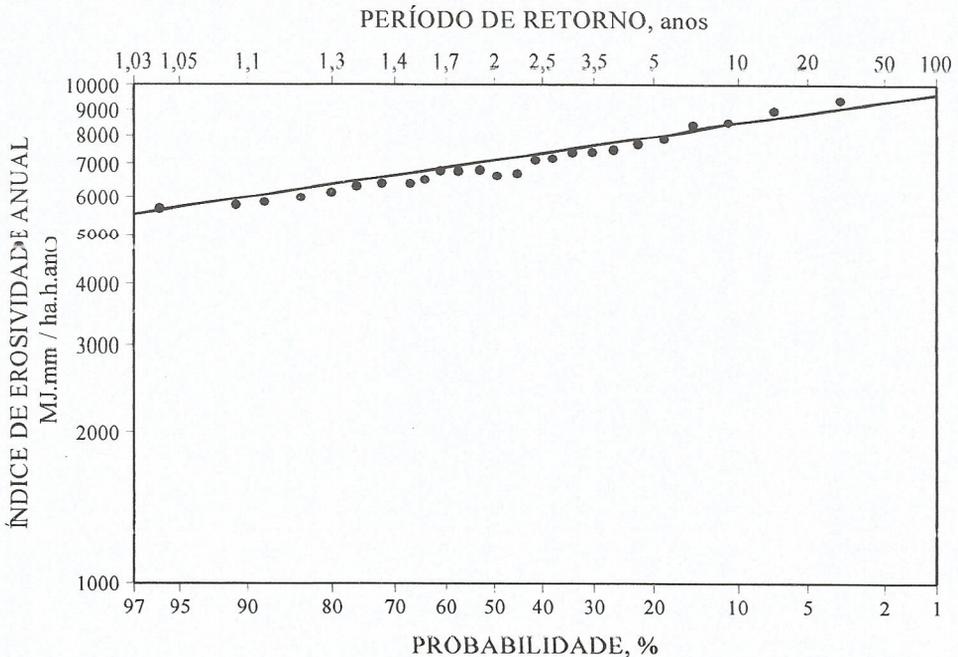


Figura 03. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno dos índices EI₃₀ anuais de erosividade de Mirandópolis (SP) entre 1976 e 2000.

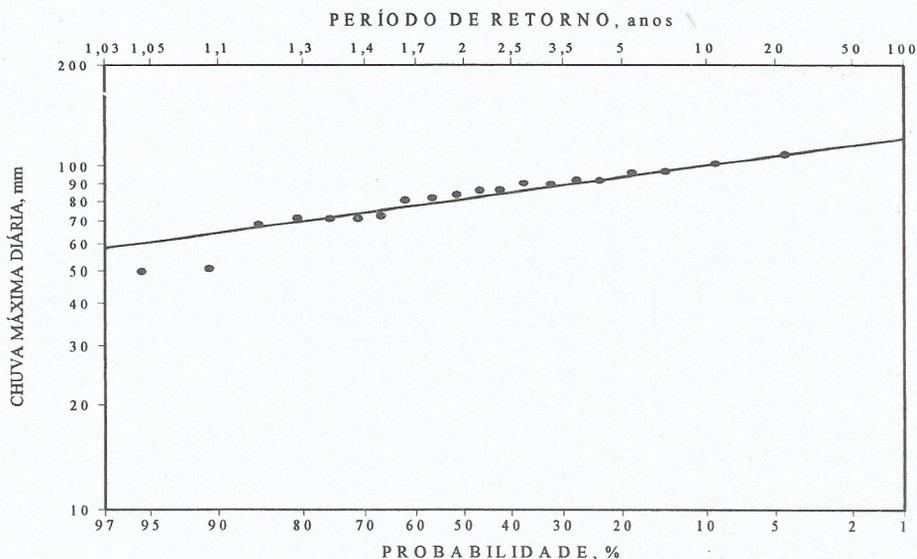


Figura 04. Distribuição da probabilidade de ocorrência e do período de retorno das chuvas máximas diárias de Mirandópolis (SP) entre 1976 e 2000.

De acordo com o Quadro 04, o maior valor do índice anual de erosividade observado para Mirandópolis (9119 MJ.mm/ha.h.ano) apresentou um período de retorno de 26 anos, equivalente a uma probabilidade de retorno de 3,8%. Portanto, é esperado ocorrer neste local, com uma probabilidade de 3,8%, um valor do índice anual de erosividade, ou valor da chuva máxima diária, igual ou superior a 9119 MJ.mm/ha.h.ano e 108mm, pelo menos uma vez a cada 26 anos. Da mesma forma, para o menor índice anual de erosividade, ou da chuva máxima diária, o qual apresentou um período de retorno de 14 anos, equivalente a uma probabilidade de 96,2%, espera-se que ocorra, com uma probabilidade de 96,2%, um valor do índice anual de erosividade, ou da chuva máxima diária, igual ou superior, respectivamente a 5556 MJ.mm/ha.h.ano e 49mm, pelo menos uma vez a cada 14 anos. Os valores

das chuvas máximas diárias, esperados no período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram respectivamente de 78,6; 92,3; 101,4; 110,2; 121,5 e 130 mm. O valor da chuva máxima diária no período de retorno de 10 anos de 101,4 mm, dado utilizado rotineiramente no cálculo da área da seção transversal do terraço agrícola, ficou subdimensionado, em relação aos dados do Estado de São Paulo (LOMBARDI NETO, 1989), uma vez que Mirandópolis situa-se na isoiceta de 110 mm.

CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado para Mirandópolis (SP), com os materiais e métodos empregados e em decorrência dos resultados obtidos, analisados e interpretados, são estabelecidas as conclusões:

1) O fator erosividade da chuva, calculado através do índice EI_{30} , foi de 6962 MJ.mm/ha.h.ano. Este fator, que possui uma probabilidade de ocorrência de 43,5%, pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,3 anos. Portanto, nos cálculos pertinentes a 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, com períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente iguais a 7654, 8217, 8756, 9455 e 9979 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 101 mm.

-Entretanto, desejando-se trabalhar com maior segurança de tal prática conservacionista, podem ser utilizados valores mais consistentes, com períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos, respectivamente de 110, 122 e 130 mm.

KURATANI, M. C. B, SAKAMOTO, A. Y, CARVALHO, M.P.E.
Rainfall erosivity at Mirandópolis city (São Paulo state – Brazil). **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.12, n.1, p.37-63, 2003.

SUMMARY: Rainfall erosivity at Mirandópolis City was studied with the purpose of to support land use planning. Therefore, the rainfall erosivity factor (R), used in the universal soil loss equation, was calculated to a continuous raingauges series of 25 years of rainfall data. Thus, the computed value was 6962 MJ.mm/ha.h.y, which is expected to occur at least once each 2,3 years, with a probability of occurrence of 43.5%. The most annual soil loss is expected to occur between the months of october and march, as shown by the 81.6% of the total annual erosivity for that period. The values of the EI_{30} annual erosivity indexes, expected for the return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years, were 6803, 7654, 8217, 8756, 9455, and 9979 MJ.mm/ha.h.y, respectively. Also, the value of the maximum daily rainstorm, calculated for the return period of 10 years, was of 101 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, USLE, agricultural terracing.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOL. I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lajes (SC). 1ª aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 29, p. 1453-8, 1994.
- BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2ed. 1990, 355p.
- CAMPOS FILHO O. R.; SILVA, I. R.; SILVA, I.F.; ANDRADE A.P. e LEPRUN J.C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.27, n.9, p.1363-70, 1992.
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. e CATANEO, A. 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.237-42, 1989a.
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. e CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI_{30} . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n.2, p.243-9, 1989b.
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. e CATANEO, A. 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.
- Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.12, n.1, p.37-63, 2003.

CARVALHO, M.P.; PISSARRA, T.C.T. e 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.T. e 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: SBCS, 1997. (CD-ROM).

CHAVES, I. de B. e DINIZ, E.J. Erosividade da chuva no Estado da Paraíba. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO. 3, 1980, Recife. **Anais...Recife.** UFRPE, 1981. p. 136-47.

CHOW, V.T. General Fórmula for hidrologic Frequency Analysis, Am. Geophys. Union Trans, v.32, p.231-237, 1951.

CHOW, V.T. The log-probability law and II engineering applications, Am Soc. And Eng., 1954. 80p., (Separate N° 536).

COELHO, A.P. Fator erosividade da chuva de Votuporanga (SP). Ilha Solteira, 2001, 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista – UNESP.

COLODRO, G. **Erosividade da chuva:** distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP), Ilha Solteira, 1999, 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista – UNESP.

CRUCIANI, D.E. Dimensionamento de sistemas de drenagem superficial e terraços com base nas características hidrológicas locais. In: SIMPÓSIO

Cultura Agronômica, Ilha Solteira, v.12, n.1, p.37-63, 2003.

SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1988, Campinas. **Simpósio...**
Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.26-59.

FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. e MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Soil Water Conservation**. v.36, n.6, p.355-9, 1981.

GUMBEL, E.J. The return period of flood flows, smals of mathematical statistics, 1941, v.12, n.2.

GUMBEL, E.J. Statistical theory of extreme values and some practical applications, 1954, U.S. Bureau Standards, Aplied mathematical Series 33.

GUNN, R. e KINZER, G.D. The terminal velocity of fall for water droplets. **Journal Metereology**. v.6, n.1, p.243-8, 1949.

HUDSON, N.W. **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**, v.16, n.1, p.339-401, 1976.

LAWS, J.O. Measurement of fall velocity of water drops and rain drops. **Transactions American Geophysical Union**, v.22, n.1, p.709-21, 1941.

LAWS, J.O., PARSON, D.A. The relation of raindrop size to intensity. **Transactions American Geophysical Union**, v.24, n.1, p.452-9, 1943.

LIMA, M. A. Avaliação do período de retorno e da probabilidade de ocorrência da erosividade da chuva de Bauru (SP). Unesp, Ilha Solteira, 1995 (Trabalho de Graduação apresentado a Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo).

LOMBARDI NETO, F. Dimensionamento de terraço. In: SIMPÓSIO SOBRE TERRACEAMENTO AGRÍCOLA, 1988, Campinas. **Simpósio...**
Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.26-59.

LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss as Campinas, Brasil. West Lafayette: 1977. 53p. (Master of Science - Purdue University).

LOMBARDI NETO, F.; SILVA, I.R. e 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: SBCS, 1980. p.159.

LOPES, P.R.C. e BRITO, L.T.L. Erosividade da chuva no médio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.1, p.129-33, 1993.

MARGOLIS E.; SILVA A.B e JACQUES F.O. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.9, p.165-9, 1985.

MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T.M.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.; BOEL, E. e DURIGON, V. Índice EI_{30} e sua correlação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.3, p.339-44, 1991.

NEWMAN, J.E. Climate in the 1970'S. **Crops and Soil Magazine**, v.22, n.4, p.9-12, 1970.

OMETTO, J.C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 1981. 425p.

PEREIRA, H.H.G. **Índices de erosividade da chuva**: distribuição e relação com a precipitação em Piracicaba-SP. Piracicaba, 1983, 70p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ROQUE, C.G. Erosividade da chuva: distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva

Cultura Agronômica, Ilha Solteira, v.12, n.1, p.37-63, 2003.

para o município de Piraju (SP). Ilha Solteira, 1999, 98p. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

ROQUE, C.G. e 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).

RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o estado do Paraná: segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.3, p.279-81, 1986.

SÃO PAULO (Estado). 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. 337p.

SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W. e BARNES, K.K. *Soil and Water Conservation Engineering*. 2 ed., New York: John Wiley, 1966. 683p. (The Ferguson Foundation Agricultural Engineering Series).

SÃO PAULO, (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. **Totais mensais de chuvas do Estado de São Paulo: 1976-1991**. São Paulo, 1993. 337 p.

SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W. e BARNES, K.K. *Soil and Water Conservation Engineering*. 3 ed., New York: John Wiley, 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, 1987, 105p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Cultura Agronômica, Ilha Solteira, v.12, n.1, p.37-63, 2003.

VAL, L.A.; BAHIA V.G.; FREIRE J.C. e DIAS JUNIOR, M.S. Erosividade das chuvas em Lavras (MG). **Ciência e Prática**, v.10, p.187-98, 1986.

WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Proceedings Soil Science of American**, v.20, n.3, p.246-9, 1959.
WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions, American, Geophysical Union**, v.39, n.2, p.285-91, 1958.

WISCHMEIER, W.H. e 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: USDA, 1965. 47p. (Agriculture handbook, 282).

WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture handbook, 537).

