

EROSIVIDADE DAS CHUVAS E SUA DISTRIBUIÇÃO ENTRE 1989 E 1998 NO MUNICÍPIO DE LAGES (SC)⁽¹⁾

I. BERTOL⁽²⁾, J. SCHICK⁽³⁾, O. BATISTELA⁽⁴⁾,
D. LEITE⁽⁴⁾, D. VISENTIN⁽⁴⁾ & N. P. COGO⁽⁵⁾

RESUMO

A erosão hídrica resulta da erosividade das chuvas e da erodibilidade dos solos. O conhecimento da erosividade, portanto, torna-se um guia valioso na recomendação de práticas de manejo e conservação do solo que visem à redução da erosão hídrica. O objetivo do trabalho foi identificar e quantificar o fator de erosividade das chuvas naturais de Lages (SC), bem como conhecer sua distribuição temporal. A pesquisa foi realizada em 2000, utilizando dados de chuvas e perdas de solo do período entre 1989 e 1998, no Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages (SC), situado a 27° 49' de latitude Sul e 50° 20' de longitude Oeste, a 937 m de altitude média, na região do Planalto Sul Catarinense. Foram estudados diversos fatores de erosividade, utilizando os métodos de Wischmeier & Smith e de Wagner & Massambani, de 437 chuvas erosivas, num total de 966 chuvas, compreendendo um volume médio anual de 1.301 mm de chuvas erosivas, num total médio anual de 1.549 mm de chuvas. O EI₃₀ é o fator de erosividade (fator R da Equação Universal de Perda de Solo - EUPS) recomendado para Lages, cujo valor médio anual é de 5.790 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹; 63 % do qual ocorre na primavera-verão; 76 % no período de setembro a março e, no período crítico, outubro, janeiro e fevereiro, 41 % do referido fator. Considerando o número e o volume das chuvas, 45 e 84 %, respectivamente, são erosivas.

Termos de indexação: fator R, fator EI₃₀, energia cinética, chuva erosiva, EUPS.

SUMMARY: *RAIN EROSIVITY AND ITS DISTRIBUTION BETWEEN 1989 AND 1998 IN THE DISTRICT OF LAGES, STATE OF SANTA CATARINA, BRAZIL*

Water/Hydro-erosion comes as a result of rain erosivity and soil erodibility. Knowledge on erosivity is therefore useful as a guide for recommendations on management practices

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do segundo autor, executado com recursos da UDESC e CNPq, apresentada na II RNRS/SBCS, Santa Maria (RS). Recebido para publicação em janeiro de 2001 e aprovado em outubro de 2001.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista do CNPq. Email: a2ib@cav.udesc.br.

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, MSc., CAV/UDESC.

⁽⁴⁾ Bolsista de Iniciação Científica do Curso de Agronomia do CAV/UDESC.

⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq.

and soil conservation which have the aim to reduce hydro-erosion. Objectives of this study were the factor identification and quantification of natural rain erosivity in Lages, Santa Catarina, as well as knowledge on its temporary distribution. The study was carried out in 2000, using data on rainfall and soil loss of the period from 1989 to 1998, in the Centro de Ciências Agroveterinárias of Lages (SC), at 27° 49' latitude south and 50° 20' longitude West, at an average height of 937 m in the southern plateau region of Santa Catarina. Several erosivity factors were examined in 437 erosive rainfalls out of a total of 966, making up an average annual volume of 1,301 mm erosive rainfalls in a total annual average of 1,549 mm rain, using the Wischmeier & Smith as well as the Wagner & Massambi methods. EI_{30} (factor R of the Universal Soil Loss Equation of -USLE) is the recommended erosivity factor, whose average annual value is 5,790 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, out of which 63 % occur during spring and summer, 76 % in the period from September to March, and, during the critical period of October, January and February, 41 % of the factor referred to. Considering number and volume of the rainfalls, 45 and 84 %, respectively, are erosive.

Index terms: Factor R, factor EI_{30} , kinetic energy, erosive rainfall, USLE.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é o resultado da ação do impacto das gotas da chuva e do escoamento superficial combinados com a erodibilidade do solo, caracterizada pelas fases de desagregação, transporte e deposição. A desagregação e o transporte são principalmente provocados pelo impacto das gotas de chuva e escoamento superficial, respectivamente, sobre a superfície do solo (Hudson, 1981). O fator R, que significa a erosividade, é um valor numérico que representa o potencial da chuva e escoamento superficial para proporcionar erosão hídrica em uma área descoberta, sendo variável com as características e, portanto, com a variabilidade espacial e temporal das chuvas (Wischmeier & Smith, 1978). Assim, nas regiões do globo terrestre, onde o clima varia expressivamente de uma estação climática para outra, é provável que a erosividade também varie.

Em regiões temperadas, como nos EUA, os coeficientes de correlação entre os fatores de erosividade EI_{30} e as perdas de solo variam de 0,84 a 0,98 (Wischmeier, 1959), indicando ser este fator um bom preditor da erosão hídrica para essas regiões.

No Brasil, os coeficientes de correlação entre os fatores de erosividade das chuvas e as perdas de solo têm variado de 0,57 a 0,81. Dentre os diferentes fatores de erosividade estudados, o EI_{30} tem-se mostrado um bom preditor, já que o coeficiente de correlação entre ele e as perdas de solo, em geral, não tem diferido dos demais (Lombardi Neto, 1977; Biscaia et al., 1981; Morais et al., 1988; Carvalho et al., 1997; Silva et al., 1997; Albuquerque et al., 1998; Schick, 1999; Beutler, 2000).

Em regiões tropicais e subtropicais, no entanto, outros fatores têm demonstrado melhor correlação com as perdas de solo (Lal et al., 1980). Para a África do Sul, por exemplo, Hudson (1981), analisando o

fator KE > 25, o qual é representado pelo somatório da energia cinética total das chuvas com intensidade superior a 25 mm h⁻¹, encontrou coeficientes de correlação entre este fator e as perdas de solo variando de 0,92 a 0,96. Isto se deve ao fato de, nessas regiões, as chuvas apresentarem menor duração e maiores intensidade e erosividade do que as de regiões temperadas.

Margolis et al. (1985) obtiveram o valor de EI_{30} médio anual de 2.100 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, para Caruaru (PE); Rufino (1986), para 32 localidades do estado do Paraná, obteve valores médios anuais de EI_{30} variando de 5.275 a 12.559 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, enquanto Carvalho et al. (1989) encontraram erosividade média anual de 7.747 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, para Mococa (SP). Bertol (1993) e Bertol (1994) obtiveram valores médios anuais de EI_{30} de 5.694 e 6.329 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, para Lages e Campos Novos (SC), respectivamente, enquanto Silva et al. (1997) encontraram valor médio anual de 8.355 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, para Goiânia (GO). Schick (1999), para Lages (SC), e Beutler (2000), para Chapecó (SC), encontraram valores médios anuais de EI_{30} de 5.541 e 10.005 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente, sendo esse fator aproximadamente duas vezes maior na primavera-verão do que no outono-inverno, nesses locais.

O objetivo do trabalho foi quantificar o número e o volume das chuvas erosivas, chuvas não-erosivas e totais de chuvas, selecionar o fator de erosividade médio anual (fator R da EUPS), quantificar e estudar a distribuição do referido fator, tanto anual quanto mensalmente, para as chuvas naturais de Lages (SC), no período de 1989 a 1998.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV/UDESC) de Lages (SC), no

período de 1989 a 1998, com um intervalo de um ano (1992), ano em que não foram coletados dados de perda de solo do experimento. Os dados de chuva e de perda de solo foram obtidos na Estação Meteorológica e no experimento de erosão hídrica, localizados no Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages (SC), a 27° 49' latitude Sul e 50° 20' longitude Oeste de Greenwich. A altitude média de Lages é de 953 m, com temperatura, máxima e mínima, média anual de 21,7 e 11,5°C, respectivamente. Segundo Köepen, o clima da região é do tipo Cfb.

A erosividade foi obtida para 437 eventos de chuva registrados em pluviogramas diários modelo IH-01-01. Os pluviogramas apresentavam amplitude de registro de 10 mm de precipitação e de 24 h de duração, com unidades de 0,1 mm, para o volume, e de 10 min, para o tempo.

Após as chuvas terem sido cotadas manualmente em segmentos de intensidade uniforme, calculou-se sua energia cinética por mm de chuva com auxílio de programa computacional (Cataneo et al., 1982), com base no método de Wischmeier & Smith (1958) e com uma modificação feita no referido programa por Maria (1994), pelo método de Wagner & Massambani (1988), conforme as equações:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I \quad (\text{Wischmeier \& Smith, 1958}) \quad (1)$$

$$E_w = 0,153 + 0,0645 \log_{10} I \quad (\text{Wagner \& Massambani, 1988}) \quad (2)$$

sendo

E_c e E_w = energia cinética por mm de chuva, MJ ha⁻¹ mm⁻¹

I = intensidade da chuva, mm h⁻¹ e

0,119; 0,0873; 0,153 e 0,0645, parâmetros de ajuste das equações.

As equações 1 e 2 são aplicáveis para intensidades de chuvas com até 76 mm h⁻¹. Acima desse limite de intensidade, a energia cinética por milímetro de chuva é constante, sendo de 0,2832 MJ ha⁻¹ mm⁻¹, para a equação 1 (Wischmeier & Smith, 1958), e de 0,2743, para a equação 2 (Wagner & Massambani, 1988).

Em ambos os métodos, as unidades inglesas foram convertidas para o Sistema Internacional de Unidades, conforme sugerido por Foster et al. (1981).

As chuvas foram consideradas erosivas quando apresentavam dez milímetros ou mais, ou quando apresentavam o mínimo de seis milímetros precipitados em um período máximo de 15 m, tendo sido as demais consideradas não-erosivas (Wischmeier & Smith, 1978).

O produto da energia cinética total das chuvas (E), MJ ha⁻¹, pela sua intensidade máxima (I) em 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 min, mm h⁻¹, forneceu, para cada chuva, os fatores de erosividade

$EI_5, EI_{10}, EI_{15}, EI_{20}, EI_{25}, EI_{30}, EI_{35}, EI_{40}, EI_{45}, EI_{50}, EI_{55}$ e EI_{60} , MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, para cada um dos métodos estudados. O fator mensal foi obtido pelo somatório dos fatores de erosividade de cada chuva ocorrida ao longo do referido mês, e o fator anual, a partir do somatório dos fatores mensais.

A curva de distribuição relativa da erosividade acumulada no ano foi obtida, para o EI_{30} , por meio dos valores médios mensais do fator de erosividade acumulados durante o ano, conforme Wischmeier & Smith (1978). Foram obtidos, ainda, os fatores de erosividade $KE > 25$ e $KE > 10$, MJ ha⁻¹, pelo somatório das energias cinéticas dos segmentos de chuva com intensidades maiores do que 25 e 10 mm h⁻¹, respectivamente, conforme sugerido por Hudson (1981). O volume médio anual de chuva (mm) foi considerado um fator de erosividade, também correlacionado com as perdas de solo.

Em parcelas de 3,5 x 22,1 m, em duas repetições, delimitadas por chapas galvanizadas, nas laterais e na extremidade superior, e por calhas coletoras de enxurrada, na extremidade inferior, conectadas por canos de PVC a tanques coletores com divisores de vazão com nove janelas, localizados 6,0 m abaixo, foram coletadas e quantificadas as perdas de solo em cada evento de chuva erosiva, conforme o método descrito em Cogo (1978).

Durante o experimento, as parcelas foram preparadas duas vezes por ano, com uma aração e duas gradagens no sentido paralelo ao declive: uma vez antecedendo a cultura de primavera-verão e a outra de outono-inverno. O solo das parcelas foi mantido livre de vegetação e crosta superficial durante o período experimental, por meio de dessecantes químicos e capinas ou escarificações manuais.

Os dados de perda de solo foram ajustados para a declividade-padrão da EUPS, ou seja, 0,09 m m⁻¹, por meio do fator grau de declive, conforme proposto por Wischmeier & Smith (1978), utilizando a equação:

$$S = 0,065 + 4,56 \text{ sen } \theta + 65,41 (\text{sen } \theta)^2 \quad (3)$$

sendo

S = fator grau do declive e

θ = ângulo do declive.

Foi efetuada regressão linear simples entre as perdas de solo obtidas na parcela-padrão da EUPS e os diversos fatores de erosividade calculados, utilizando o modelo:

$$Y = a + b X \quad (4)$$

sendo

Y = perda de solo estimada Mg ha⁻¹,

X = fator erosividade (unidade variável dependendo do fator) e

a, b = constantes de ajuste do modelo.

A homogeneidade dos coeficientes de correlação (r), resultantes da regressão linear simples entre as perdas de solo e os diversos fatores de erosividade, foi testada utilizando o método proposto por Graybill (1961), tendo sido os coeficientes de correlação testados dois a dois pelo método de Steel & Torrie (1960).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Número e volume das chuvas

Durante o período experimental, ocorreram 966 chuvas, das quais 45 % foram erosivas e 55 %

não-erosivas (Quadro 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Bertol (1993) e Bertol (1994). O mês de fevereiro destacou-se com 12 % do número total de chuvas, enquanto, nos meses de abril, maio, junho, julho e agosto, ocorreram chuvas em menor número, com aproximadamente 30 % delas. Em relação ao número de chuvas erosivas, os meses de outubro, janeiro e fevereiro contribuíram com 36 %, caracterizando-se como meses críticos, nos quais se pode esperar maior risco de erosão, pelo fato de os meses de setembro e outubro coincidirem com o preparo e semeadura das culturas de primavera-verão e com o início do seu desenvolvimento, enquanto, no mês de maio, ocorreu apenas 4 % desse volume.

Quadro 1. Valores mensais, anuais e médios mensais e anual dos números de chuvas erosivas, não-erosivas e total, observadas no período de 1989 a 1998 em Lages (SC)

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
Erosivas													
1989	9	2	4	3	3	1	4	5	5	4	2	3	45
1990	8	5	5	4	3	4	4	3	7	9	6	4	62
1991	3	0	3	2	3	3	2	3	3	6	6	6	40
1993	6	6	4	3	2	2	4	1	6	3	5	0	42
1994	2	11	3	4	4	3	5	0	3	6	6	1	48
1995	3	7	1	2	0	6	3	3	4	6	2	4	41
1996	10	7	4	2	0	4	5	4	5	3	2	3	49
1997	7	7	2	0	2	3	6	3	3	8	7	4	52
1998	5	9	7	5	1	2	6	8	6	4	1	4	58
Média	5,9	6,0	3,7	2,8	2,0	3,1	4,3	3,3	4,7	5,4	4,1	3,2	48,5
Total	53	54	33	25	18	28	39	30	42	49	37	29	437
C.V. (%)	46	53	44	51	68	44	29	65	31	37	53	53	15
Não-erosivas													
1989	8	6	8	4	1	6	8	3	7	4	6	5	66
1990	11	6	6	5	4	3	4	0	5	6	12	5	67
1991	8	5	2	4	3	8	2	9	5	7	7	7	67
1993	5	8	8	7	2	4	4	2	4	5	2	0	51
1994	0	12	6	1	8	2	3	5	5	4	4	4	54
1995	6	7	8	2	3	5	2	3	5	3	6	3	53
1996	6	7	8	3	1	3	0	3	5	7	7	10	60
1997	7	9	6	6	3	2	2	1	3	6	6	9	60
1998	7	5	4	6	2	2	2	3	3	5	6	6	51
Média	6,4	7,2	6,2	4,2	3,0	3,9	3,0	3,2	4,7	5,2	6,2	5,4	58,8
Total	58	65	56	38	27	35	27	29	42	47	56	49	529
C.V. (%)	42	29	32	45	67	50	70	76	25	25	41	53	11
Total													
1989	17	8	12	7	4	7	12	8	12	8	8	8	111
1990	19	11	11	9	7	7	8	3	12	15	18	9	129
1991	11	5	5	6	6	11	4	12	8	13	13	13	107
1993	11	14	12	10	4	6	8	3	10	8	7	0	93
1994	2	23	9	5	12	5	8	5	8	10	10	5	102
1995	9	14	9	4	3	11	5	6	9	9	8	7	94
1996	16	14	12	5	1	7	5	7	10	10	9	13	109
1997	14	16	8	6	5	5	8	4	6	14	13	13	112
1998	12	14	11	11	3	4	8	11	9	9	7	10	109
Média	12,3	13,2	9,9	7,0	5,0	7,0	7,3	6,5	9,3	10,6	10,3	8,6	107,3
Total	111	119	89	63	45	63	66	59	84	96	93	78	966
C.V. (%)	39	36	23	33	60	34	31	47	20	23	34	47	9

Em relação ao volume, as chuvas erosivas corresponderam a 84 % do total precipitado, enquanto as não-erosivas representaram 16 % (Quadro 2), concordando com resultados de vários trabalhos (Eltz, 1977; Saraiva, 1978; Jesus Filho, 1987; Bertol, 1993; 1994; Schwarz, 1997; Schick, 1999; Beutler, 2000). O elevado percentual do volume de chuvas erosivas em relação ao total indica a necessidade de preocupação com o uso de práticas conservacionistas na região.

Considerando o volume de chuvas erosivas, verifica-se que os meses de janeiro, fevereiro, julho, setembro e outubro contribuíram com aproximadamente 52 % desse volume. Isso indica que, nesses meses, a preocupação com práticas conservacionistas deve ser redobrada na região, especialmente porque em setembro e outubro é efetuado o preparo do solo nos preparos convencionais e semeadura das culturas de primavera-verão, estando o solo sujeito à erosão hídrica, mesmo na semeadura direta, no

Quadro 2. Valores mensais, anuais e médios mensais e anual dos volumes de chuvas erosivas, não-erosivas e total, observadas no período de 1989 a 1998 em Lages (SC)

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
mm													
Erosivas													
1989	216	39	75	94	179	18	57	137	239	95	31	69	1.249
1990	139	105	107	108	212	147	103	83	171	274	225	90	1.764
1991	98	0	47	72	63	114	68	52	52	223	72	193	1.054
1993	135	118	79	48	31	36	281	9	140	82	84	0	1.043
1994	52	263	60	136	111	74	162	0	49	164	115	58	1.245
1995	33	134	12	26	0	128	47	50	95	117	26	120	.788
1996	250	109	122	48	0	136	118	172	101	36	42	73	1.207
1997	364	141	24	0	50	106	135	129	133	267	187	104	1.640
1998	97	243	174	233	101	69	134	184	221	96	24	143	1.719
Média	153,8	128,0	77,8	85,0	83,0	92,0	122,8	90,7	133,4	150,4	89,6	94,4	1.301
Total	1.384	1.152	700	765	747	828	1.105	816	1.201	1.354	806	850	11.709
C.V. (%)	65	62	61	77	85	46	55	71	48	54	77	55	24
Não-erosivas													
1989	38	19	38	25	5	9	28	18	18	18	41	13	270
1990	46	28	44	21	15	23	22	0	33	29	47	14	322
1991	24	10	3	22	2	37	4	34	12	22	33	29	232
1993	22	38	26	32	9	19	20	9	11	21	5	0	212
1994	0	58	29	4	35	9	17	20	22	15	6	12	228
1995	24	28	31	6	13	16	5	17	24	13	25	15	218
1996	41	35	38	15	9	8	0	21	27	32	31	46	303
1997	25	42	19	26	13	2	8	1	3	22	19	46	226
1998	28	17	16	24	11	11	11	19	17	22	19	16	211
Média	27,6	30,6	27,1	19,4	12,4	14,9	12,8	15,4	18,6	21,6	25,1	21,2	247
Total	248	275	244	175	112	134	115	139	167	194	226	191	2.223
C.V. (%)	46	45	45	45	71	66	70	65	46	26	54	70	16
Total													
1989	254	58	113	119	184	27	85	155	257	113	72	82	1.519
1990	185	133	151	129	227	170	125	83	204	303	272	104	2.086
1991	122	10	50	94	65	151	72	86	64	245	105	222	1.286
1993	157	155	105	80	40	55	301	19	151	103	89	0	1.255
1994	52	322	89	141	146	84	180	20	71	179	121	70	1.473
1995	57	162	43	32	14	144	52	67	119	130	51	135	1.005
1996	291	144	160	63	9	144	118	193	129	68	73	119	1.510
1997	389	183	43	26	63	108	143	130	137	290	206	150	1.866
1998	125	260	190	257	112	80	145	203	237	119	43	159	1.930
Média	181,3	158,6	104,9	104,6	95,6	107,0	135,7	106,2	152,1	172,2	114,7	115,7	1.549
Total	1.632	1427	944	941	860	963	1.221	956	1.369	1.550	1.032	1.041	13.941
C.V. (%)	58	56	49	63	76	43	51	61	42	47	63	51	21

caso de o sistema ser desenvolvido na ausência de práticas conservacionistas de suporte.

No mês de maio, por outro lado, ocorreu apenas 6 % desse volume, caracterizando-se como o mês de menor risco de erosão hídrica.

Na primavera-verão, ocorreram 49 e 52 % do número e volume, respectivamente, das chuvas erosivas, enquanto, para as chuvas não-erosivas, essa distribuição foi, respectivamente, de 57 e 60 % em relação ao total, incluindo outono-inverno (Quadro 3), concordando com Schick (1999) e Beutler (2000).

Assim, tanto o número quanto o volume das chuvas erosivas apresentaram distribuição sazonal relativamente uniforme, enquanto as chuvas não-erosivas mostraram distribuição relativamente desuniforme. As chuvas não-erosivas apresentaram importância relativamente pequena, quando comparadas às erosivas, do ponto de vista da erosão hídrica. Assim, sua concentração na primavera-verão teve pouca importância. A distribuição relativamente uniforme do número e do volume das chuvas erosivas o ano todo, no entanto, dada a sua

importância, possibilitou o risco de erosão hídrica semelhante em todas as estações, bem como o regular suprimento de água pela chuva o ano todo na região. Todavia, considerando a erosividade das chuvas, o risco foi maior na primavera-verão.

Erosividade das chuvas - fator R da EUPS

Em termos absolutos, o fator de erosividade EW, o qual é representado pela energia cinética total da chuva calculada pela equação de Wagner & Massambani (1988), apresentou o melhor coeficiente de correlação ($r = 0,759$) com as perdas de solo (Quadro 4). O teste de homogeneidade indicou, no entanto, que, com exceção dos fatores EI_5 , EW_5 , $EI > 25$ e $EW > 25$, os quais apresentaram os menores valores de r , os demais não diferiram entre si, concordando com Schick (1999) e Beutler (2000). Os baixos valores de r dos fatores recém-referidos são explicados, provavelmente, pelo clima da região, o qual se parece mais com o temperado do que com o tropical e, por isso, as precipitações de elevada intensidade e curta duração são menos frequentes do que em regiões de clima tipicamente tropical.

Quadro 3. Número e volume das chuvas erosivas, não-erosivas e total, observadas nas distintas estações do ano, no período de 1989 a 1998 em Lages (SC)

Ano	Erosivas		Não-erosivas		Total	
	Número	Volume mm	Número	Volume mm	Número	Volume mm
Primavera-verão						
1989	21	887	27	130	48	1.017
1990	17	648	35	179	52	827
1991	23	547	36	120	59	667
1993	23	446	34	146	57	592
1994	30	878	30	148	60	1.026
1995	23	478	33	135	56	613
1996	27	649	29	173	56	822
1997	20	675	40	169	60	844
1998	31	916	35	142	66	1.058
Média	23,9	680,4	33,2	149,1	57,1	829,6
Total	215	6.124	299	1.342	514	7.466
C.V. (%)	18	25	11	13	8	20
Outono-inverno						
1989	24	362	39	140	63	502
1990	45	1.116	32	143	77	1.259
1991	17	507	31	112	48	619
1993	19	597	17	66	33	663
1994	18	367	24	80	42	447
1995	18	310	20	83	38	393
1996	22	558	31	130	53	688
1997	32	965	20	57	52	1.022
1998	27	803	16	69	43	872
Média	24,7	620,6	25,6	97,8	50,2	718,3
Total	222	5.585	230	880	452	6.465
C.V. (%)	35	43	29	33	25	37

Quadro 4. Valores do coeficiente de correlação (r), obtidos entre os diversos fatores de erosividade das chuvas e as respectivas perdas de solo ocorridas na parcela-padrão da EUPS, no período de 1989 a 1998 em Lages (SC)

Fator de erosividade	r
EW	0,759* a
EI	0,751* abc
EI > 10	0,746* abc
EW > 10	0,744* abc
EI ₅₅	0,740* abc
EI ₆₀	0,737* abc
EW ₅₅	0,735* abc
EW ₆₀	0,732* abc
EI ₅₀	0,730* abc
EW ₅₀	0,725* abc
EI ₁₅	0,723* abc
EI ₄₀	0,722* abc
EW ₁₅	0,717* abc
EW ₄₀	0,717* abc
EI ₃₅	0,711* abc
EI ₄₅	0,708* abc
EW ₃₅	0,705* abc
EW ₄₅	0,703* abc
EI ₂₀	0,700* abc
EI ₁₀	0,697* abc
EW ₂₀	0,694* abc
EW ₁₀	0,693* abc
Volume de chuva (mm)	0,692* abc
EI ₃₀	0,687* abc
EI ₂₅	0,684* abc
EW ₃₀	0,681* abc
EW ₂₅	0,678* abc
EI ₅	0,661* bc
EW ₅	0,656* c
EI > 25	0,481* d
EW > 25	0,478* d

Valores seguidos de mesma letra não diferem pelo método de Steel & Torrie (1960) a 5 % de significância. * Significativo a 5 % pelo teste t Student.

EI: fator de erosividade, segundo o método de Wischmeier & Smith (1978).

EW: fator de erosividade, segundo o método de Wagner & Massambani (1988).

Em geral, os fatores de erosividade das chuvas obtidos por meio da equação de Wagner & Massambani (1988) foram iguais àqueles obtidos pela equação de Wischmeier & Smith (1958) (Quadro 4), o que também foi verificado por outros autores (Carvalho et al., 1993; Jacobs et al., 1994; Marques et al., 1997; Silva et al., 1997; Schick, 1999; Beutler, 2000). Portanto, os dois métodos podem ser utilizados para a obtenção do fator de erosividade para Lages (SC).

O fator de erosividade, EI₃₀, obtido pelo método proposto por Wischmeier & Smith (1958), é mundialmente reconhecido como o fator R da EUPS proposta por Wischmeier & Smith (1978), sendo

recomendado também para muitas regiões no Brasil (Lombardi Neto, 1977; Biscaia et al., 1981; Moraes et al., 1988; Carvalho et al., 1989; Cantalice & Margolis, 1993; Marques et al., 1997; Silva et al., 1997; Albuquerque et al., 1998; Schick, 1999; Beutler, 2000). Assim, diante da uniformidade estatística dos valores dos coeficientes de correlação obtidos entre os fatores de erosividade e as perdas de solo, pode-se recomendar o EI₃₀ como o fator de erosividade para a região de Lages (SC). Esta recomendação baseia-se, ainda, no fato de ser este fator mundialmente reconhecido e utilizado.

O valor do coeficiente de correlação ($r = 0,687$), encontrado no presente trabalho, por meio da correlação linear entre o EI₃₀ e as perdas de solo da parcela-padrão da EUPS, foi menor do que os obtidos por Wischmeier (1959), para as condições dos EUA ($r = 0,84$ a $0,98$), e por alguns autores, para o Brasil (Marques et al., 1997) ($r = 0,87$ e $0,72$), (Biscaia et al., 1981) ($r = 0,77$ e $0,72$) e (Albuquerque et al., 1998) ($r = 0,734$). No entanto, foi superior aos encontrados por Lombardi Neto (1977) ($r = 0,67$), Moraes (1986) ($r = 0,57$ e $0,66$) e Beutler (2000) ($r = 0,350$) e praticamente igual aos obtidos por Bertol & Miquelluti (1993) ($r = 0,697$) e Schick (1999) ($r = 0,687$), para esse mesmo local.

Fator de erosividade, EI₃₀ - distribuição

O fator de erosividade médio anual, expresso pelo EI₃₀, foi de $5.790 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Quadro 5), enquadrando-se na faixa de valores de 5.000 a $12.000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ que, normalmente, ocorre no Brasil (Cogo, 1988). Este valor é semelhante ao encontrado para o mesmo local, num período de 10 anos, por Bertol (1993) ($5.694 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e, num período seis anos, por Schick (1999) ($5.541 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), e, ainda, para alguns locais do Paraná, por Rufino (1986) ($5.275 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

Por outro lado, o valor do EI₃₀ encontrado neste trabalho foi maior do que o valor encontrado por Margolis et al. (1985), para Caruaru (PE) ($2.100 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), enquanto, para outras regiões do Brasil, foi menor, tais como: $12.559 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, para alguns locais do Paraná (Rufino, 1986); $10.005 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, para Chapecó (SC) (Beutler, 2000); $8.355 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, para Goiânia (GO) (Silva et al., 1997), e $7.747 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, para Mococa (SP) (Carvalho et al., 1989). A grande variabilidade espacial do fator de erosividade no Brasil é natural, decorrente da variabilidade climática entre as diversas regiões do País, indicando grande variabilidade no risco de erosão hídrica.

Os valores médios mensais do fator EI₃₀ variaram amplamente, bem como os anuais, alcançando valores de zero (em alguns meses de determinados anos) a $2.783 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (em fevereiro de 1997), com os maiores valores concentrando-se, principalmente, no intervalo entre setembro e março, e os menores, entre abril e agosto (Quadro 5), o que

originou os altos valores de coeficiente de variação. Isto é explicado pela variabilidade climática temporal, a qual é normal, indicando que, em determinados períodos do ano, em média, os riscos na erosão hídrica nessa região são maiores do que em outros. A grande variabilidade temporal do fator EI_{30} influencia fortemente a predição das perdas de solo pelo modelo EUPS, uma vez que esse fator representa, no referido modelo, o fator R.

Nas regiões do País onde as estações do ano diferenciam-se entre si em relação ao clima, como é o caso de Lages e Chapecó (SC), por exemplo, é de se esperar que as erosividades das chuvas também se diferenciem. Em média, o EI_{30} anual foi cerca de 74 % maior na primavera-verão do que no outono-inverno (Quadro 6), diferindo do comportamento encontrado por Schick (1999), que trabalhou com dados de seis anos para o mesmo local, e de Beutler (2000), que trabalhou com dados de seis anos para Chapecó (SC), nos quais o EI_{30} foi cerca de duas vezes maior na primavera-verão do que no outono-inverno.

Essa diferença, no caso do trabalho de Schick, para Lages, é explicada pela diferença no período de tempo de coleta de dados e, no caso do trabalho de Beutler, para Chapecó, por este fator e, principalmente, pela diferença de padrão climático entre as duas regiões. Estes dados indicam que o risco de erosão hídrica na região de Lages é substancialmente maior na primavera-verão do que no outono-inverno, visto que muitas áreas são ainda cultivadas sob o sistema de preparo convencional nessa época do ano na região. Do mesmo modo que no caso da distribuição temporal, e pela mesma razão, a distribuição espacial do fator EI_{30} também influencia a predição das perdas de solo pelo modelo EUPS.

O conhecimento da distribuição média mensal da erosividade de determinado local é de fundamental importância prática, pois fornece subsídio ao planejamento conservacionista do solo, com atenção especial aos períodos do ano em que ocorrem erosividades críticas.

Quadro 5. Valores mensais, anuais e médios mensais do fator de erosividade, EI_{30} , obtidos no período de 1989 a 1998 em Lages (SC)

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹													
1989	625	376	663	588	632	8	15	521	546	227	63	194	4.458
1990	502	494	751	324	527	235	323	30	762	1.181	1.873	537	7.539
1991	622	0	188	187	14	137	123	141	712	1.139	667	680	4.610
1993	613	1.102	455	179	23	124	1377	48	350	286	600	0	5.157
1994	298	1.398	650	638	441	321	415	0	51	676	344	314	5.546
1995	134	730	52	41	0	292	64	53	445	155	31	993	2.990
1996	1.514	1.076	1.580	237	0	279	214	395	192	802	176	190	6.655
1997	2.783	965	48	0	81	398	224	265	699	1.041	781	746	8.031
1998	639	1.575	793	1.201	218	93	370	565	575	301	296	494	7.120
Média	858,9	807,3	575,6	377,2	215,1	209,7	347,2	224,2	481,3	645,3	536,8	460,9	5.789,5
C.V. (%)	90	56	78	95	111	57	111	93	48	61	100	65	27

Quadro 6. Valores médios estacionais do fator de erosividade, EI_{30} , obtidos no período de 1989 a 1998 em Lages (SC)

Estação do ano	Ano										Média
	1989	1990	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1998		
MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹											
Primavera-verão	3.086	3.629	3.089	2.354	4.338	1.719	5.235	4.725	4.886	3.673,4	
Outono-inverno	1.372	3.910	1.521	2.803	1.208	1.271	1.420	3.306	2.234	2.116,1	
Total	4.458	7.539	4.610	5.157	5.546	2.990	6.655	8.031	7.120	5.789,5	

Do ponto de vista científico, a obtenção do fator de erosividade permite calcular o fator de erodibilidade.

Analisando os dados obtidos no trabalho, verifica-se que o período de setembro a março, com 76 % da erosividade média anual (Quadro 5 e Figura 1), caracteriza-se como a época crítica, com maior risco de erosão hídrica em Lages. Estes dados concordam parcialmente com aqueles encontrados por Eltz (1977), Saraiva (1978), Bertol (1993), Schwarz (1997), Schick (1999) e Beutler (2000). Neste período, os meses mais críticos, outubro, janeiro e fevereiro, apresentaram 41 % da erosividade média anual, principalmente porque, em alguns anos durante o período experimental, tais meses registraram erosividades maiores do que $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, valor este considerado crítico por Rufino (1986).

Este problema acentua-se sobretudo porque, em setembro/outubro, o solo é preparado no sistema de manejo convencional (sistema ainda comum na região), e as culturas de primavera/verão são semeadas, o que deixa o solo susceptível à erosividade das chuvas.

No sistema de semeadura direta, por outro lado, apesar da presença de resíduos vegetais na superfície do solo, a semeadura das culturas é feita em linhas retas, sem o necessário contorno no declive, dada a ausência de práticas conservacionistas de suporte, como o terraceamento, por exemplo, o que torna esse sistema também susceptível à erosão hídrica na região, nessa época do ano.

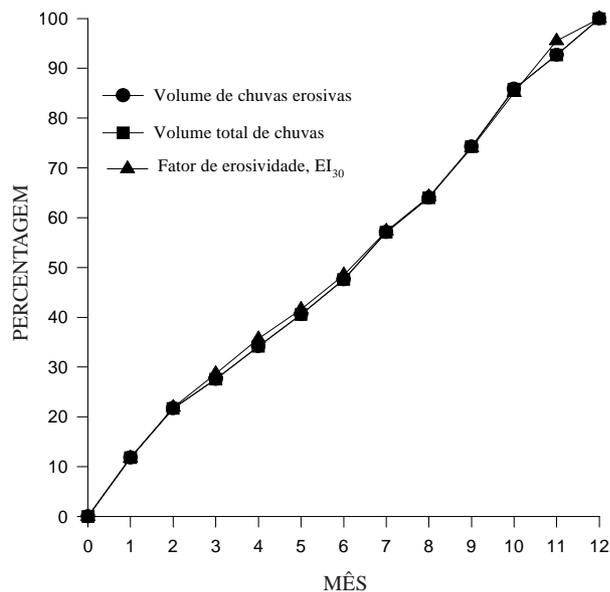


Figura 1. Curvas de distribuição do volume das chuvas erosivas e total e do fator de erosividade, EI₃₀, obtidos no período de 1989 a 1998 em Lages (SC). (Os meses 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 equivalem às datas 1/jan., 1/fev., 1/mar., 1/abr., 1/maio, 1/jun., 1/jul., 1/ago., 1/set., 1/out., 1/nov., 1/dez e 1/jan., respectivamente).

O período restante do ano, abril a agosto, com 34 % da erosividade média anual, apresenta menor risco de erosão, considerando, ainda, que, na quase totalidade desses meses, o valor do EI₃₀ esteve abaixo do valor mensal de $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, considerado crítico por Rufino (1986). Desse modo, pela figura 1, podem-se distinguir duas épocas anuais distintas, em termos de erosividade das chuvas, em Lages (SC).

CONCLUSÕES

1. O fator de erosividade (fator R da EUPS) recomendado para Lages (SC), para prever as perdas de solo, é o EI₃₀.

2. O fator de erosividade médio anual, EI₃₀ (fator R da EUPS), para Lages (SC) é de $5.790 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$; 63 % do EI₃₀ ocorre na primavera-verão, concentrando 76% no período de setembro a março e, em outubro, janeiro e fevereiro, 41 % do referido fator.

3. Em média, 45 % do número e 84 % do volume das chuvas de Lages (SC) são erosivas; dentre as chuvas erosivas, 49 % do número e 52 % do volume ocorrem na primavera-verão.

AGRADECIMENTO

Aos acadêmicos do Curso de Agronomia do CAV/ UDESC, Jarmum Marcelos Massariol, Êmerson Fábio dos Reis e Leonir Dily, pelo auxílio na coleta dos dados no campo e seu tratamento no laboratório.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; CATANEO, A. & SRINIVASAN, V.S. Parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo de um solo bruno não-cálcico vértico em Sumé (PB). R. Bras. Ci. Solo, 22:743-749, 1998.
- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI₃₀) para Lages (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.
- BERTOL, I. & MIQUELLUTI, D.J. Perdas de solo, água e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. Pesq. Agropec. Bras., 28:1205-1213, 1993.
- BEUTLER, J.F. Erosão hídrica num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2000. 105p. (Tese de Mestrado)
- BISCAIA, R.C.M.; RUFINO, R.L. & HENKLAIN, J.C. Cálculo de erodibilidade (Fator K) de dois solos do Estado do Paraná. R. Bras. Ci. Solo, 5:183-186, 1981.

- CANTALICE, J.R.B. & MARGOLIS, E. Características das chuvas e correlação de índices de erosividade com as perdas de solo do Agreste de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 17:275-281, 1993.
- CARVALHO, M.P.; CATANEO, A. & LOMBARDI NETO, F. Índices de erosividade da chuva e enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Roxo distrófico de Campinas (SP). R. Bras. Ci. Solo, 17:445-450, 1993.
- CARVALHO, M.P.; CATANEO, A. & LOMBARDI NETO, F. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um podzólico vermelho-amarelo de Pindorama. R. Bras. Ci. Solo, 21:279-286, 1997.
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. & 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. R. Bras. Ci. Solo, 13:237-242, 1989.
- 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.
- COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. p.75-98.
- COGO, N.P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1988. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.251-262.
- ELTZ, F.L.F. Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais. I. Solo da unidade de mapeamento São Jerônimo - primeira etapa experimental. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1977. 97p. (Tese de Mestrado)
- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.E. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Soil Water Conserv., 36:355-359, 1981.
- GRAYBILL, F.A. An introduction to linear statistical models. New York, McGraw Hill, 1961. 684p.
- HUDSON, N.W. Soil conservation. 2.ed. Ithaca, Cornell University Press, 1981. 324p.
- JACOBS, G.A.; ROLLOF, G.; BISCAIA, R.C.M. & MERTEN, G. Erosividade da chuva correlacionada com perdas de solo de dois Latossolos Vermelho-Escuros (textura argilosa e média): uma aproximação do fator erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., Florianópolis, 1994. Anais. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.170-171.
- JESUS FILHO, J.D. Manejo de solos de encostas basálticas e suas relações com a erosão hídrica. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1987. 93p. (Tese de Mestrado)
- LAL, R.; LAWSON, T.L. & ANASTASE, A.H. Erosivity of tropical rains. In: BOODT, M. & GABRIELS, D., eds. assessment of erosion. Chichester, John & Wiley, 1980. p.143-151.
- LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1977. 53p. (Tese de Mestrado)
- MARIA, I.C. Cálculo da erosividade da chuva. In: LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M.; DECHEN, S.C.F.; VIEIRA, S.R. & MARIA, I.C. Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1994. não paginada.
- 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.
- MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURI, N.; SANTANA, D.P. & SILVA, M.L.N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e erodibilidade para dois solos da região dos cerrados - primeira aproximação. R. Bras. Ci. Solo, 21:427-434, 1997.
- MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 12:281-284, 1988.
- RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: segunda aproximação. R. Bras. Ci. Solo, 10:279-281, 1986.
- SARAIVA, O.F. Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais. I. Solo da unidade de mapeamento São Jerônimo - 2ª etapa experimental. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1978. 126p. (Tese de Mestrado)
- SCHWARZ, R.A. Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na região das Missões - RS. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 130p. (Tese de Mestrado)
- SCHICK, J. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 1999. 114p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; CURI, N. & LIMA, J.M. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-escuro em Goiânia (GO). R. Bras. Ci. Solo, 21:131-137, 1997.
- STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. New York: McGraw-Hill Book Company, 1960. 481p.
- WAGNER, C.S. & MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade da chuva-energia de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 12:197-203, 1988.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23:246-249, 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, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537)