



Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica¹

**Cristiana O. S. Almeida², Ricardo S. S. Amorim³, Eduardo G. Couto³,
Flávio L. F. Eltz⁴ & Laurienne E. C. Borges⁵**

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi: (a) determinar o fator de erosividade (R) para o município de Cuiabá, seu período de retorno e sua probabilidade de ocorrência; (b) estudar a distribuição anual, sazonal e mensal do índice de erosividade (EI_{30}); (c) definir o período de retorno para os valores dos índices anuais de erosividade e para os valores máximos mensais mais erosivos; e (d) correlacionar o EI_{30} médio mensal com o coeficiente de chuva e precipitação mensal. Foram estudadas, de uma série, 889 chuvas individuais consideradas erosivas, nos períodos de 1972 a 1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999; os pluviogramas dessas chuvas foram cotados, digitalizados e, posteriormente, analisados para obtenção do índice de erosividade EI_{30} . Para o município de Cuiabá, MT, o fator R foi de $8.810 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, classificado alto, com probabilidade de ocorrência de 42,92%, sendo igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,33 anos. A erosividade das chuvas no período de outubro a abril corresponde a 87% do total da erosividade anual, indicando ser o período de maior probabilidade de erosão. O modelo potencial apresentou melhor ajuste entre o EI_{30} mensal e o coeficiente de chuva.

Palavras-chave: erosão hídrica, dados pluviográficos, coeficiente da chuva

Erosive potential of rainfall in Cuiabá, MT: Distribution and correlation with rainfall

ABSTRACT

The objectives of this study were: (a) to determine the erosivity factor (R) for the city of Cuiabá, as well as its return period and probability of occurrence, (b) to study the annual distribution, seasonal and monthly index erosivity (EI_{30}), (c) to define the period of return for the indices of annual erosivity and maximum most erosive monthly values, and (d) to correlate the EI_{30} monthly average with rainfall coefficient and monthly precipitation. A set of 889 erosive individual rains was studied in the period 1972 to 1975, 1977 to 1985 and 1995 to 1999, which were digitized and subsequently analyzed to obtain the EI_{30} . The R factor for the Cuiabá city was $8.810 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$, classified as high, with probability of 42.92%, being matched or exceeded at least once every 2.33 years. The period from October to April concentrated 87% of total annual erosivity, indicating that it is the period of greatest erosion probability. The potential model showed a better fit between the monthly EI_{30} with the rainfall coefficient.

Key words: erosion, rainfall data and rainfall coefficient

¹ Parte da Dissertação do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da FAV/UnB, Brasília, DF

² Engenheira Agrônoma, INCRA, SIG quadra 04 lote 417/550 CEP 70710-400, Brasília, DF. Fone: (61) 3342-2993. E-mail: kika.df@gmail.com

³ DSER/UFMT. Av. Fernando Correa da Costa s/n, Campus UFMT. CEP 78060-900 Cuiabá, MT. Fone/Fax: (65) 3615 8616/8668. E-mail: rsamorim@ufmt.br; couto@cpd.ufmt.br

⁴ DS/UFMS. Bolsista do CNPq. Avenida Roraima, n. 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria, RS. E-mail: flavioeltz@gmail.com

⁵ Graduada em Engenharia Florestal da UFMT. E-mail: evelyncb21@gmail.com

INTRODUÇÃO

Uma das principais razões para a diminuição da capacidade produtiva do solo é a erosão, visto que reduz os rendimentos das culturas e lhes causa danos irreversíveis. Um estudo desenvolvido pelo ISRIC/UNEP, do qual participou a Embrapa Solos, indicou que 15% das terras já foram severamente degradadas e 70% deste total correspondem às perdas da camada superficial do solo (Hernani et al., 2002).

Wischmeier & Smith (1978) propuseram o modelo USLE, que tem por objetivo prever a erosão que poderá ocorrer em determinada área cultivada, servindo como método para auxiliar na tomada de decisão sobre o uso e o manejo do solo e, conseqüentemente, relacionar as práticas conservacionistas de maior eficiência. O modelo relaciona, de forma diretamente proporcional, seis fatores que influenciam a erosão hídrica acelerada do solo, que são: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento e grau do declive (LS), cobertura e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas adotadas (P).

Dentre esses fatores se destaca o fator erosividade da chuva que, segundo Wischmeier & Smith (1978), é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção. O parâmetro de erosividade EI_{30} , desenvolvido nos EUA, tem sido calculado e testado em diversos países, sendo sua representação questionada em países tropicais e subtropicais (Moreti et al., 2003a, b; Carvalho et al., 2010).

No Brasil o parâmetro EI_{30} tem sido amplamente estudado e utilizado. Carvalho et al. (1989), trabalhando em Mococa, SP, encontraram o valor de $7.747 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ referente a dezenove anos de dados de precipitação pluvial. Moraes et al. (1991) determinaram os índices EI_{30} médios anuais referentes às estações de Barranquinho e Flechas, do município de Cáceres, sudoeste do Mato Grosso que foram, respectivamente, de 8.493 e $7.830 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Gonçalves et al. (2006) obtiveram valores mínimos e máximos para o Estado do Rio de Janeiro, obtendo $4.118 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no município de Magé, utilizando uma série de dados de 5 anos e $15.806 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no município de Rio das Flores, com base em dados de 16 anos.

Em conjunto com novos trabalhos em desenvolvimento por pesquisadores nacionais, esses resultados representam um valioso banco de dados para locação das linhas iso-erosivas do Brasil. No Estado de Mato Grosso apenas um trabalho sobre erosividade da chuva foi realizado por Moraes et al. (1991), que não trabalharam com pluviogramas e, sim, com dados pluviométricos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi: (a) determinar o fator de erosividade para o município de Cuiabá, seu período de retorno e probabilidade de ocorrência; (b) estudar a distribuição anual, sazonal e mensal do índice de erosividade; (c) definir o período de retorno, tanto para os valores dos índices anuais de erosividade como para os valores máximos mensais mais erosivos; e (d) correlacionar o índice de erosividade EI_{30} médio mensal com o coeficiente de chuva e precipitação mensal.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados pluviográficos de 889 chuvas individuais erosivas ocorridas nos períodos de 1972 a 1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999 foram analisados, totalizando 18 anos de dados pluviográficos, no município de Cuiabá, MT, obtidos junto ao 9º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A estação meteorológica do município de Cuiabá está localizada na latitude $15^{\circ} 37' 18'' \text{ W}$ e longitude $56^{\circ} 06' 30'' \text{ W}$, numa altitude de $151,34 \text{ m}$; a precipitação média é de $1.387,7 \text{ mm}$ e o tipo climático predominante na região é o Aw de Koppen, isto é, Tropical semiúmido, com 4 a 5 meses secos e duas estações bem definidas, uma seca (outono-inverno) e uma chuvosa (primavera-verão), com características de continentalidade.

Obtiveram-se as chuvas individuais erosivas estudadas em pluviograma no qual são registrados a lâmina de chuva e o tempo de ocorrência; sua amplitude de registro varia de zero a $10,2 \text{ mm}$ de precipitação, com unidade de $0,1 \text{ mm}$, durante 24 h , com sifonamento a cada 10 mm .

Considerou-se chuva individual aquelas separadas da anterior e da posterior, por um período de no mínimo seis horas com chuvas de no máximo $1,0 \text{ mm}$, e chuvas erosivas aquelas com quantidade igual ou superior a $10,0 \text{ mm}$ ou igual ou superior a $6,0 \text{ mm}$, desde que ocorridas em menos de 15 minutos, segundo os critérios propostos por Wischmeier & Smith (1978), com modificações sugeridas por Carvalho et al. (1989).

A erosividade mensal, anual e média das chuvas, foi expressa pelo índice EI_{30} (Wischmeier & Smith, 1958) no Sistema Internacional de Unidades - $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Foster et al., 1981), obtida pelo produto entre a energia cinética total da chuva ($E - \text{MJ ha}^{-1}$) e a intensidade máxima em 30 min ($I_{30} - \text{mm h}^{-1}$), de acordo com Wischmeier & Smith (1958), e agrupadas por meses e anos. A energia cinética das chuvas foi determinada por meio da Eq. 1 Wischmeier & Smith (1958), ajustada ao Sistema Internacional de Unidades por Foster et al. (1981).

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log I_p \quad (1)$$

em que: EC - é a energia cinética, $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ e I_p - é a intensidade de precipitação da chuva, mm h^{-1}

Segundo Foster et al. (1981), o diâmetro das gotas de chuva não aumenta quando as intensidades são iguais ou superiores a 76 mm h^{-1} ; desta forma, para essas condições de intensidade de precipitação a energia cinética passa a ter valor máximo de $0,283 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. A energia cinética acumulada de cada segmento de 10 min de uma chuva erosiva individual foi obtida pela aplicação da Eq. 2.

$$EC_s = EC \times h \quad (2)$$

em que: EC_s - é a energia cinética no segmento de chuva, MJ ha^{-1} e h - é a quantidade de chuva no segmento uniforme, mm .

Obteve-se a energia cinética total da chuva erosiva individual pelo somatório da energia cinética de cada segmento

da chuva, enquanto a intensidade máxima em trinta minutos foi obtida conforme a Eq. 3 proposta por Carvalho et al. (1989):

$$I_{30} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n i_{ni} \times t_{ni}\right)}{30} \quad (3)$$

em que: I_{30} - é a intensidade da chuva em 30 min consecutivos (mm h^{-1}); i_n - é o valor da intensidade da chuva de ordem n (mm h^{-1}), ocorrida dentro do período de 30 min; t_n - é o tempo de ocorrência da intensidade da chuva de ordem n, ocorrida dentro do período de 30 min.

O índice de erosividade (EI_{30}) de cada chuva foi obtido pela Eq. 4:

$$EI_{30} = EC_t \times I_{30} \quad (4)$$

em que: EI_{30} - é o índice de erosividade da chuva erosiva individual, $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ e I_{30} - é a intensidade máxima da chuva no período de 30 min consecutivos, mm h^{-1} .

Por sua vez, o EI_{30} mensal foi obtido pelo somatório do EI_{30} de cada chuva erosiva ocorrida no mês e o EI_{30} anual pelo somatório do EI_{30} de cada mês, cujo fator R foi representado pela média dos valores de EI_{30} anuais.

Nas análises de probabilidade de ocorrência e do período de retorno do índice EI_{30} determinados para os anos em estudo, foram utilizadas a lei de probabilidade logarítmica e a teoria de valores extremos preconizadas por Schwab et al. (1981). O período de retorno e a probabilidade de ocorrência foram obtidos pelas Eqs. 5 e 6, respectivamente.

$$TR = \frac{(N+1)}{m} \quad (5)$$

$$Pr = \frac{100}{TR} \quad (6)$$

em que: TR - é o período de retorno no qual o índice de erosividade é igualado ou superado; N - é o número de anos de registro de dados (tamanho da série); m - é o número de ordem do índice de erosividade quando a série de dados de erosividade é colocada em ordem decrescente de magnitude e Pr - é a probabilidade de ocorrência; em seguida, ajustou-se o modelo de distribuição de probabilidades de Gumbel para o cálculo anual das erosividades máximas por meio das Eqs. 7, 8 e 9, conforme Pinto et al. (1996):

$$Y_{TR} = -\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{TR}\right)\right]_t \quad (7)$$

$$K_{TR} = -0,45 + 0,78 \times Y_{TR} \quad (8)$$

$$X_{TR} = \bar{X} + S \times K_{TR} \quad (9)$$

em que: Y_{TR} - é a variável reduzida da distribuição de Gumbel; TR - é o período de retorno (anos); X_{TR} - é a erosividade máxima (anual ou mensal) para determinado TR ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$); K_{TR} - é o fator de frequência (adimensional); X - é a média da erosividade máxima anual ou mensal ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e S - é o desvio padrão dos dados de erosividade máxima ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

A Eq. 8 é chamada Modelo Geral de Ven Te Chow. Essas equações permitem o emprego de uma população de dados e não apenas de uma amostra simplificando com isto as equações da distribuição de Gumbel.

Utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov com o objetivo de verificar a adequabilidade à distribuição de Gumbel para a representação probabilística dos dados.

Foi utilizado papel de probabilidade logarítmica para plotar os valores dos índices de erosividade observados, em que os valores dos índices anuais de erosividade, para qualquer período de retorno desejado, ou vice-versa, podem ser facilmente obtidos pela leitura direta na curva de distribuição de probabilidade ou calculados pela aplicação da equação dos valores teóricos. Para determinar o número adequado de anos de registro de chuvas visando ao cálculo da erosividade, utilizou-se a eq. 10, proposta por Mokus, relatada em Schwab et al. (1981):

$$Y = (4,30 \times t_{\alpha} \times \log \theta) + 6 \quad (10)$$

em que: Y - é o número mínimo de anos de chuva para o cálculo da erosividade; t - é o valor tabelado (distribuição "t" de Student); α - é o nível de significância, normalmente com $p < 0,1$ e com graus de liberdade Y-6 e θ - é a relação das magnitudes entre o evento com período de retorno de 100 anos e o evento com período de retorno de dois anos.

Utilizando-se dados pluviométricos do período de 1972 a 1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999, para cada mês do ano, calculou-se o coeficiente de chuva, por meio do método proposto por Lombardi Neto (1977), cuja expressão é dada por:

$$R_c = \frac{Pm^2}{Pa} \quad (11)$$

em que: R_c - é o coeficiente de chuva (mm); Pm - é a precipitação média mensal (mm) e Pa - é a precipitação média anual (mm).

Através do programa estatístico SPSS 15.0, procedeu-se ao ajuste dos dados de índices de erosividade médios mensais e de coeficiente de chuva às funções dos seguintes tipos: linear, potencial, exponencial, quadrática e logarítmica; desta forma, foram apresentados os coeficientes de ajuste para o modelo matemático que apresentou, na análise de variância, significância para regressão, para os parâmetros do modelo e maior coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 se apresentam os valores mensais, anuais e médios do índice de erosividade da chuva com base na série de dados pluviográficos do município de Cuiabá, MT. Os resultados mensais apresentaram coeficientes de variação elevados para os meses de maio, junho, julho e agosto. Tratando-se de meses de baixa precipitação na região de Cuiabá, referidos resultados podem ser considerados normais já que é comum uma variabilidade maior na ocorrência de chuvas.

O fator R de Cuiabá, determinado através do índice de erosividade EI_{30} , foi de $8.810 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com medidas de dispersão de 2.244 e $529 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, para o desvio-padrão e erro-padrão da média e com coeficiente de variação de 25% (Tabela 2); assim, o fator erosividade da chuva de Cuiabá ($8.810 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foi superior aos de Teodoro Sampaio, SP, Piraju, SP, Campinas, SP, e Piracicaba, SP, obtidos, respectivamente, por Colodro et al. (2002), Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987) e Roque et al. (2001); no entanto, próximo ao fator R de Uruguaiana, RS, obtido por Hickmann et al. (2008) e inferior aos de São Borja, RS (Cassol et al., 2008) e de Santa Rosa, RS (Mazurana et al., 2009).

Os valores extremos anuais variaram de 3.820,72 a 13.712,20 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, em 1985 e 1998, assim como os valores extremos do índice de erosividade médio mensal foram de 0 (meses de junho, julho e agosto) a $4.372 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (janeiro de 1999).

A Figura 1 apresenta a distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade EI_{30} e da precipitação pluviométrica do município de Cuiabá, nos períodos de 1972 a

1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999. Os dados evidenciam que 86% da precipitação anual e 87% do índice de erosividade ocorrem de outubro a abril. Em termos relativos quanto absolutos, a erosividade da chuva para Cuiabá foi, nessa época, superior aos valores obtidos para o Estado de São Paulo (Carvalho et al., 1989; Colodro et al., 2002; Lombardi Neto, 1977; Sosa, 1987; Pereira, 1983; Roque et al., 2001) e do Rio de Janeiro (Gonçalves et al., 2006).

Na Figura 2 está apresentado o percentual acumulado do índice de erosividade e precipitação; esta curva de distribuição da erosividade da chuva fornece informações de grande importância para determinação do fator cobertura e manejo (C) da equação universal de perdas do solo e indica a época do ano em que ocorre o maior potencial das chuvas em causar erosão. Pode-se constatar que os meses de maior erosividade (outubro a abril) coincidem com o segmento de maior inclinação da curva, visto que, quanto maior a inclinação dessa curva para determinado período, maior também é o risco de erosão do solo necessitando-se, portanto, de maiores cuidados de proteção naquele período.

Observa-se uma harmonia entre as distribuições médias mensais do índice de erosividade e do volume de chuva precipitado no município de Cuiabá, MT. Nota-se, também, que alguns meses de alta erosividade coincidem com a época de preparo do solo e semeadura na região de Cuiabá. O alto potencial erosivo das chuvas nessas épocas do ano, aliado ao fato do solo se encontrar sem cobertura e desagregado, particularmente quando o preparo convencional (arações e gradagens) é utilizado, pode contribuir significativamente para grandes perdas de solo e água. Neste período o manejo do solo e das culturas deve procurar manter a cobertura vegetal, sendo um recurso o plantio direto, evitando a pulverização do

Tabela 1. Distribuição mensal e anual do índice de erosividade EI_{30} para o município de Cuiabá, MT, nos períodos de 1972 a 1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999

Ano	Índice de erosividade EI_{30} [$\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$]												Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1972	1481	948	345	1191	284	11	26	519	10	1147	1235	1351	8550
1973	3682	70	380	63	0	0	0	127	149	289	349	1027	6135
1974	2068	1197	1614	647	29	0	0	5	193	1147	1576	1351	9827
1975	700	1078	524	305	0	6	0	361	368	2839	1576	1533	9290
1977	1164	918	877	997	357	613	0	0	54	555	1576	4000	11111
1978	1905	1591	2154	993	613	0	220	0	163	157	466	740	9003
1979	707	542	2496	1490	437	0	10	3	157	270	654	276	7042
1980	1298	2870	564	441	34	1	0	0	877	416	1549	1390	9439
1981	803	799	1299	148	20	199	0	0	137	764	709	2858	7736
1982	2328	831	902	1384	576	0	210	55	454	206	980	1086	9013
1983	1407	529	1020	570	251	0	16	0	387	516	3149	847	8691
1984	224	1409	1076	839	304	0	0	16	166	911	744	1323	7011
1985	474	1017	147	355	54	0	0	425	94	666	208	381	3821
1995	625	67	414	112	41	244	0	215	595	1210	757	2285	6565
1996	2558	2943	5	24	1	4	0	982	794	1325	749	1871	11257
1997	1385	256	208	316	677	1223	0	0	1197	1750	1810	1491	10313
1998	1701	578	75	5	1597	0	0	1812	281	2291	3472	1901	13712
1999	4372	1598	0	646	16	1002	0	0	1375	763	173	129	10072
Md ¹	1605	1069	783	585	294	183	27	251	414	957	1207	1436	8810
DP ²	1099	807	727	473	400	373	69	470	401	734	920	941	2244
EPM ³	259	190	171	111	94	88	16	111	95	173	217	222	529
C.V. ⁴	68	76	93	81	136	203	257	187	97	77	76	66	25

1 – média; 2 – desvio padrão; 3 – erro padrão médio; 4 – coeficiente de variação

Tabela 2. Probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade ($EI_{30\text{anual}}$, $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) e mês de ocorrência da chuva mais erosiva do ano no município de Cuiabá, MT no período de 1972 a 1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999

Ano	$EI_{30\text{anual}}$ $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$	m^1	T^2	p^3	Mês de ocorrência da chuva mais erosiva do ano	
					Mês	$EI_{30\text{mensal}}$ $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$
1998	13.712	1	19,00	5,26	Nov.	3.472
1996	11.257	2	9,50	10,53	Fev.	2.943
1977	11.111	3	6,33	15,79	Dez.	4.000
1997	10.313	4	4,75	21,05	Nov.	1.810
1999	10.072	5	3,80	26,32	Jan.	4.372
1974	9.827	6	3,17	31,58	Jan.	2.068
1980	9.439	7	2,71	36,84	Fev.	2.870
1975	9.290	8	2,38	42,11	Out.	2.839
1982	9.013	9	2,11	47,37	Jan.	2.328
1978	9.003	10	1,90	52,63	Mar.	2.154
1983	8.691	11	1,73	57,89	Nov.	3.149
1972	8.550	12	1,58	63,16	Jan.	1.481
1981	7.736	13	1,46	68,42	Dez.	2.858
1979	7.042	14	1,36	73,68	Mar.	2.496
1984	7.011	15	1,27	78,95	Fev.	1.409
1995	6.565	16	1,19	84,21	Dez.	2.285
1973	6.135	17	1,12	89,47	Jan.	3.682
1985	3.821	18	1,06	94,74	Fev.	1017
Md ⁴	8.810					
DP ⁵	2.244					
Epm ⁶	529					
CV ⁷	25					

1 – Número da ordem; 2 – Período de retorno; 3 – Probabilidade de ocorrência; 4 – média; 5 – desvio padrão; 6 – erro padrão médio; 7 – coeficiente de variação, %

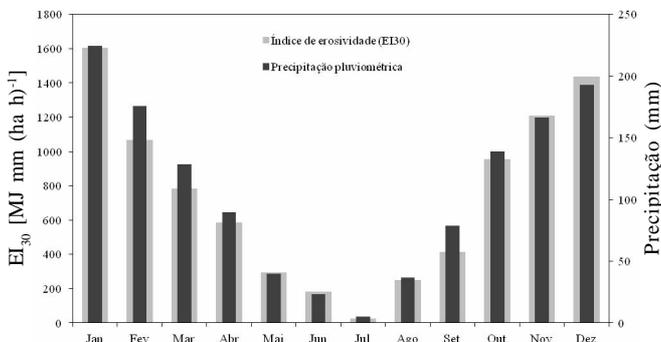


Figura 1. Distribuição dos valores médios mensais do índice de erosividade (EI_{30}) e da precipitação pluviométrica do município de Cuiabá, MT, nos períodos de 1972 a 1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999

solo, a formação de crosta de permeabilidade reduzida e a compactação subsuperficial, procurando variar o tipo e a profundidade de utilização dos implementos ao longo do tempo.

Na Tabela 2 se encontram o período de retorno, a probabilidade de ocorrência e o mês mais crítico dos valores dos índices de erosividade observados para o município de Cuiabá. Os valores do período de retorno e da probabilidade de ocorrência determinados para o maior índice de erosividade anual observado ($13.712,20\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) foram de 19 anos e 5,26%, respectivamente. Portanto, prevê-se neste local, com probabilidade de 5,26%, um valor do índice anual de

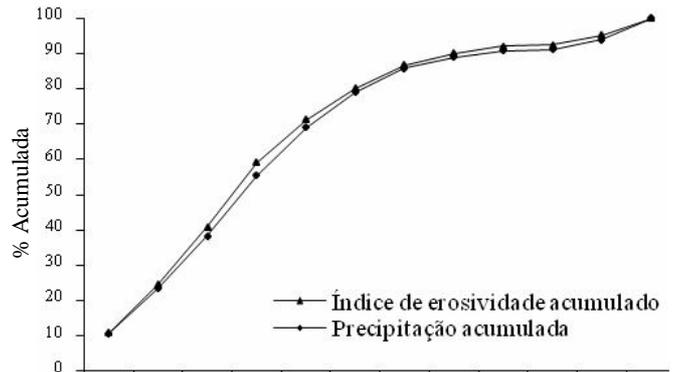


Figura 2. Distribuição relativa acumulada do índice de erosividade (EI_{30}) médio mensal e precipitação do município de Cuiabá, MT, nos períodos de 1972 a 1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999

erosividade igual ou superior a $13.712,20\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ pelo menos uma vez a cada 19 anos. Para o menor índice de erosividade anual observado ($3.820,72\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$), os valores foram, respectivamente, de 1,06 ano e de 94,74%, razão pela qual se espera, com probabilidade de 94,74%, um valor do índice anual de erosividade igual ou superior a $3.820,72\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$, pelo menos uma vez a cada 1,06 ano.

Com relação aos valores da erosividade mensal obteve-se, para o mês de janeiro de 1999, o valor máximo de EI_{30} ($4.372\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$) para o período de tempo estudado, esperando-se que o mesmo possa ser igualado ou superado, pelo menos uma vez a cada 19 anos, com probabilidade de ocorrência de 5,26%.

A curva de distribuição de probabilidade dos valores anuais (Figura 3A) e máximos mensais (Figura 3B) de erosividade para Cuiabá (MT) seguiu o padrão Gumbel, simplificada por Ven Te Chow, típico de eventos extremos de precipitação (Pinto, 1996). Os valores dos índices anuais e mensais 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 apresentadas nas Figuras 3 e 4, respectivamente, ou calculados através da aplicação da Eq. 8; observa-se, assim, que o período de retorno do fator erosividade da chuva (R) do município de Cuiabá ($8.810\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$) foi de 2,33 anos, equivalente a uma probabilidade de ocorrência de 42,92%, ou seja, o valor erosividade média de Cuiabá ocorre pelo menos uma vez a cada 2,33 anos com probabilidade de 42,92%.

Este período de retorno encontrado para o fator R para o município de Cuiabá foi semelhante àqueles 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), Teodoro Sampaio (2,3 anos) e Piraju (2,3) determinados por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987), Carvalho et al. (1989; 2004), Moreti et al. (2003a), Colodro et al. (2002) e Roque et al. (2001), respectivamente.

Cabe ressaltar que, embora se observe semelhança entre o período de retorno e a probabilidade de ocorrência do fator R no presente trabalho com as localidades supracitadas, o valor do fator R obtido neste trabalho se distingue daqueles

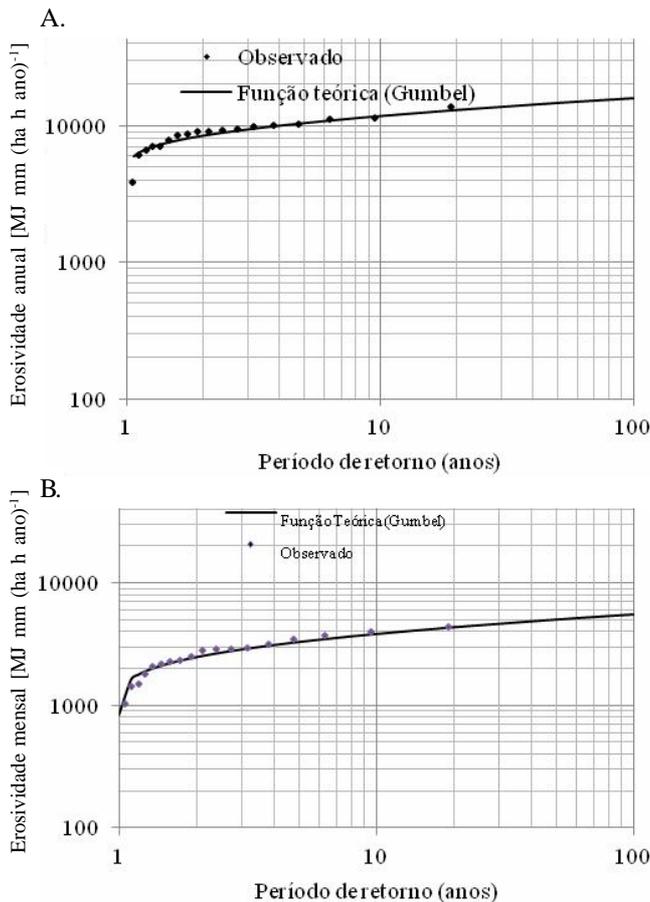


Figura 3. Curva de distribuição do período de retorno dos índices anuais (A) e mensais (B) de erosividade da chuva do município de Cuiabá, MT, nos períodos de 1972 a 1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999

encontrados nos trabalhos referidos anteriormente, evidenciando, assim, a grande importância de se realizar este tipo de caracterização para cada localidade e/ou região, sendo muito perigoso usar valores de outras regiões ou localidades uma vez que essas localidades do Estado de São Paulo já listadas e embora possuam tipo climático diferente da cidade de Cuiabá, têm regime pluviométrico bem próximo e, mesmo assim, possuem valores de erosividade, período de retorno e probabilidade de ocorrências distintos.

Os valores dos índices de erosividade anual para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, foram de 8.442, 10.426, 11.739, 12.999, 14.630, 15.852 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Os valores máximos anuais do índice de erosividade mensal, esperados para os respectivos períodos de retorno foram, respectivamente, de 2.475, 3.280, 3.813, 4.324, 4.986 e 5.482 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, segundo o método preconizado em Pinto (1996), ou seja, todos os valores esperados tanto anuais como mensais, foram obtidos a partir da aplicação da função de Gumbel ajustada.

A adequação do número de anos de registro de dados de erosividade é de 10 e 16 anos como tempo mínimo aceitável de dados para obtenção do fator R local, com nível de significância de 10 e 2%, respectivamente, de acordo com a indicação de Schwab et al. (1981).

As análises mostraram, para Cuiabá, alta correlação do índice de erosividade EI_{30m} com a precipitação ($r = 0,833$) e com o

coeficiente de chuva ($r = 0,811$). O modelo de regressão potencial entre o índice de erosividade EI_{30m} médio mensal e os parâmetros de pluviometria (precipitação – Figura 4A e coeficiente da chuva – Figura 4B) apresentou melhor ajuste, com coeficiente de determinação elevado, altamente significativos ($p < 0,0001$).

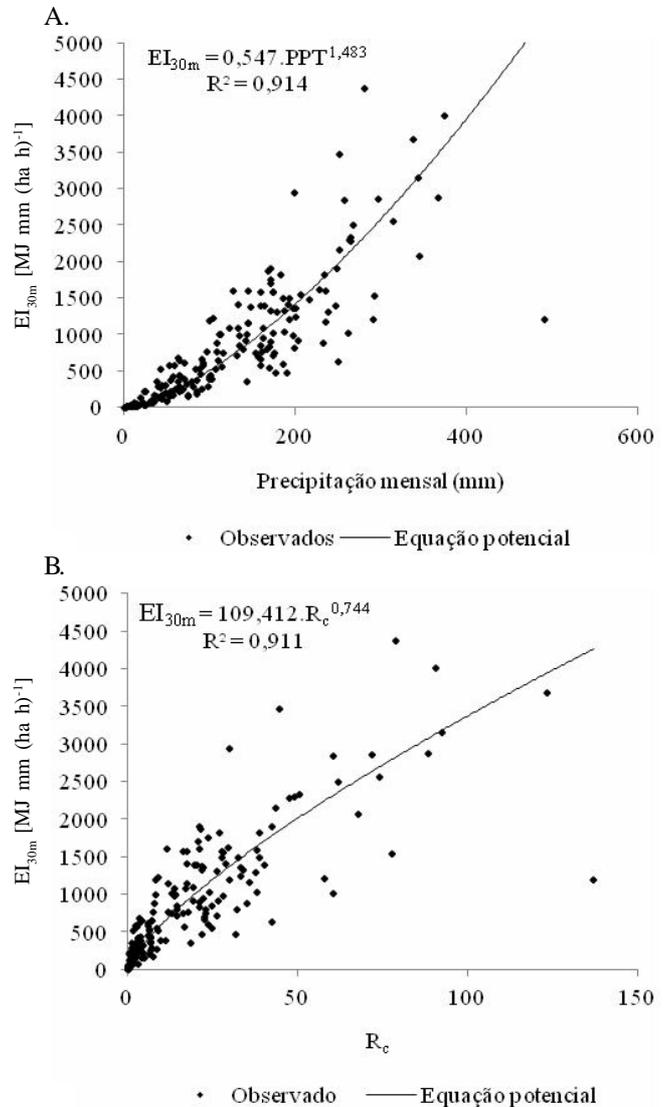


Figura 4. Regressão potencial entre o índice de erosividade médio mensal (EI_{30m}) e a precipitação média mensal - PPT_m (A) e o coeficiente de chuva médio mensal - Rc (B) no município de Cuiabá/MT nos períodos de 1972 a 1975, 1977 a 1985 e 1995 a 1999

O melhor ajuste do modelo potencial para se fazer a estimativa do índice de erosividade da chuva a partir de dados pluviométricos, também foi observado para outras localidades como, por exemplo, Campinas, Piracicaba, Pindorama Piraju e Mococa, em São Paulo por Lombardi Neto (1977), Pereira (1983), Sosa (1987), Roque et al. (2001) e Carvalho (1989), embora tenha contratado com os dados de Lages e de Campos Novos, SC e Teodoro Sampaio, SP, observados, respectivamente, por Bertol (1993; 1994) e Colodro et al. (2002), cujo modelo de melhor ajuste foi linear.

CONCLUSÕES

1. O fator R da Equação Universal da Perda de Solo para o município de Cuiabá, MT, é de 8.810 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, sendo classificado como erosividade alta. Este fator possui probabilidade de ocorrência de 42,92%, podendo ser igualado ou superado pelo menos uma vez a cada 2,33 anos.

2. Cerca de 87% do total da erosividade anual se distribuem nos meses de outubro a abril indicando que, neste período, é prevista a maior parte das perdas anuais de solo por erosão.

3. O modelo matemático potencial apresenta bom ajuste para descrever a relação entre o EI₃₀ mensal e o coeficiente de chuva (R² = 0,91) e a precipitação mensal (R² = 0,91).

LITERATURA CITADA

- Bertol, I. Índice de erosividade (EI₃₀) para Lages (SC) – 1ª aproximação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.28, p.515-521, 1993.
- Bertol, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) No período de 1981-1990. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.29, p.1453-1458, 1994.
- Carvalho, D. F. de ; Machado, R. L. ; Evangelista, A. W. P. ; Khoury Júnior, J. K. ; Silva, L. D. B. da. Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno dos índices de erosividade EI₃₀ e KE>25 em Seropédica - RJ. Engenharia Agrícola v.30, p.245-252, 2010.
- Carvalho, M. P.; Lombardi Neto, F.; Vasques Filho, J.; Cataneo, A. Índices de erosividade da chuva correlacionada 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 p.237-242, 1989.
- Carvalho, M. P. E ; Freddi, O. S.; Veronese Junior, V. Critérios para classificação de chuva individual erosiva para o estado de São Paulo. Acta Scientiarum, v.26, p.175-183, 2004.
- Cassol, E. A.; Eltz, F. L. F.; Martins, D.; Lemos, A. M.; Lima, V. S.; Bueno, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas de São Borja, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1239-1251, 2008.
- Colodro, G.; Carvalho, M. P.; Roque, C. G.; Prado, R. M. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.809-818, 2002.
- Foster, G. R.; Mccool, D. K.; Renard, K. G.; Moldenhauer, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. Journal of Soil and Water Conservation, Baltimore, v.36, p.355-359, 1981.
- Gonçalves, F. A. ; Silva, D. D. ; Pruski, F. F. ; Carvalho, D. F. ; Cruz, E. S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.269-276, 2006.
- Hernani, L. C.; Freitas, P. L.; Pruski, F. F.; De Maria, I. C.; Castro Filho, C.; Landers, J. C. A erosão e seu impacto. In: Manzatto, C. V.; Freita Júnior, E.; Peres, J. R. R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro; Embrapa Solos, 2002. p.47-60.
- Hickmann, C.; Eltz, F. L. F.; Cassol, E. A.; Cogo, C. M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinadas pelo índice EI₃₀, com base no período de 1963 a 1991. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.825-831, 2008.
- Lombardi Neto, F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss as Campinas, Brasil. West Lafayette: Purdue University, 1977. 53p. Dissertação Mestrado
- Mazurana, J.; Cassol, E. A.; Santos, L. C. dos; Eltz, F. L. F.; Bueno, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.975-983, 2009.
- Morais, L. F. B.; Silva, V.; Naschenveng, T. M. C.; Hardoin, P. C.; Almeida, J. E. L.; Weber, O. L. S.; Boel, E.; Durigon, V. Índice EI₃₀ e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.15, p.339-344, 1991.
- Moreti, D.; Carvalho, M. P.; Mannigel, A. R.; Medeiros, L. R. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel - SP. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.4, p.713-725, 2003a.
- Moreti, D.; Mannigel, A. R. ; Carvalho, M. de P. e . Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo. Acta Scientiarum (UEM), v.25, p. 137-145, 2003b.
- Pereira, H. H. G. Índice de erosividade de chuvas: distribuição e relações com a precipitação em Piracicaba (SP). Piracicaba, ESALQ/USP: 1983. 70p. Dissertação Mestrado
- Pinto, F. A., Ferreira, P. A., Pruski, F. F., Alves, A. R., Cecon, P. R. Estimativa de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais utilizando registros diários. Engenharia Agrícola, v.16, p.8-21, 1996.
- Roque, C. G.; Carvalho, M. P.; Prado, R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): Distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.147-156, 2001.
- 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. 525p.
- Sosa, D. A. Erosividade da chuva. Distribuição e correlação com as perdas de solo para Pindorama, São Paulo, Brasil. Piracicaba: ESALQ/USP, 1987. 105p. Dissertação Mestrado
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transaction American Geophysical Union, v.39, p.285- 291, 1958.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 58p. 1978. Agriculture Handbook 537.