

A EROSIVIDADE DAS CHUVAS EM FORTALEZA (CE). I - DISTRIBUIÇÃO, PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA E PERÍODO DE RETORNO - 1ª APROXIMAÇÃO⁽¹⁾

A. S. DIAS⁽²⁾ & J. R. C. SILVA⁽³⁾

RESUMO

A aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo para previsão de perdas por erosão e para planejamento conservacionista requer a avaliação de valores locais de índices de erosividade da chuva. Visando contribuir para o conhecimento desses índices na zona litorânea do estado do Ceará, os objetivos do presente estudo foram: (a) determinar o fator R e os valores anuais do índice EI₃₀, sua distribuição mensal, probabilidade de ocorrência e períodos de retorno em Fortaleza (CE) no período de 1962 a 1981, e (b) criar um banco de dados que permita, numa análise posterior, avaliar as correlações entre o índice EI₃₀ e as chuvas mensais, com vistas em simplificar o cálculo desse índice e atualizar seus valores durante o período de 1982 a 2000. A energia cinética total, intensidades uniformes, intensidades máximas em 30 minutos e o índice EI₃₀ em chuvas individuais foram determinados em 7.300 diagramas diários de pluviógrafo do período de 1962 a 1981, disponíveis na Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza. Distribuições de frequência dos valores máximos individuais e anuais do índice EI₃₀ e seus períodos de retorno foram calculados e plotados em curvas de probabilidades de ocorrência desses valores. No período de 20 anos, o valor do fator R em Fortaleza foi de 6.774 com uma amplitude de 2.237 a 12.882 MJ mm (ha h ano)⁻¹. Esse valor médio anual pode ocorrer ou ser superado pelo menos uma vez a cada 2,2 anos, com uma probabilidade de 46 %. Os valores individuais máximos estimados para os períodos de retorno de 2, 5, 20, 50 e 100 anos foram de 1.363, 2.415, 3.783, 5.950 e 8.000 MJ mm (ha h)⁻¹, respectivamente. Nos meses de fevereiro a maio, são esperadas as mais altas perdas de solo e água, posto que 70 % do valor anual do índice de erosividade ocorre nesse período, quando é utilizado o preparo convencional do solo e a cobertura vegetal é incipiente.

Termos de indexação: fator R, planejamento conservacionista, índice EI₃₀, Equação Universal de Perdas de Solo.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal do Ceará – UFC. Recebido para publicação em abril de 2002 e aprovado em novembro de 2002.

⁽²⁾ Professor Adjunto da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Caixa Postal 09, CEP 65000-000 São Luís (MA). Bolsista da CAPES. E-mail: asolondias@zipmail.com.br

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará – UFC. Caixa Postal 12.168, CEP 60021-970 Fortaleza (CE). Bolsista do CNPq. E-mail: joesilva@ufc.br

SUMMARY: RAINFALL EROSIVITY IN FORTALEZA, CEARÁ STATE, BRAZIL. I - DISTRIBUTION, PROBABILITY OF OCCURRENCE AND RETURN PERIOD - 1ST APPROXIMATION

The use of the Universal Soil Loss Equation to predict erosion losses and for conservation planning requires an evaluation of index values of local rainfall erosivity. As a contribution to knowledge on these indexes in the coastal zone of Ceará State, the objectives of this study were: (a) to determine the R factor and the annual EI_{30} index values, its monthly distribution, probability of occurrence and return periods in Fortaleza, Ceará State, Brazil for the period of 1962 to 1981, and (b) to create a data bank that allows, by a subsequent analysis, the assessment of correlation between the EI_{30} index and monthly rainfall amounts in order to simplify the index calculation and to update its values for the years 1982 to 2000. Total rainfall kinetic energy, uniform intensities, maximum 30 minutes intensity and the EI_{30} index for individual rainstorms were determined on 7,300 daily rain gauge charts from 1962 to 1981, available at the Meteorological Station of the Federal University of Ceará, in Fortaleza. The distribution frequency for the maximum individual and annual EI_{30} values and their return periods were calculated and plotted on curves of occurrence probability of these values. Over the 20 years period, the R factor found in Fortaleza was 6,774 in a range from 2,237 to 12,881 MJ mm (ha h y)⁻¹ and this average annual value is expected to occur, or to be exceeded, at least once in 2.2 years with an occurrence probability of 46 %. Maximum individual EI_{30} values estimated for return periods of 2, 5, 20, 50 and 100 years were 1,363, 2,415, 3,783, 5,950 and 8,000 MJ mm (ha h)⁻¹, respectively. Distribution of the local erosivity showed that 97 % of the annual EI_{30} occurs in the first semester of the year. Highest soil and water losses are to be expected during the months of February to May, since 70 % of the annual erosivity index value occurs in this quarter of the year, when conventional tillage is used for seedbed preparation and the canopy is incipient.

Index terms: R factor, conservation planning, EI_{30} index, Universal Soil Loss Equation.

INTRODUÇÃO

A demanda de produtos agrícolas vem crescendo rapidamente em resposta tanto ao crescimento exponencial da população, quanto à melhoria de seu poder aquisitivo. Além disso, no Brasil, o maior consumo de proteína animal, forçando a maior produção de grãos para rações, e, mais recentemente, a demanda de combustível derivado da biomassa da cana-de-açúcar vêm requerendo, cada vez mais, solos produtivos para satisfazer a essas crescentes necessidades.

Há 18 anos, Brown (1984) alertava que, em termos globais, o resultado desse incessável aumento de utilização agrícola das terras vinha exercendo forte pressão nos solos, muitos dos quais já não podiam atender à necessidade de produção auto-sustentável em virtude da aceleração das taxas de erosão. Atualmente, tal fato já é uma realidade, pois, no Ceará, paralelamente ao aumento de utilização agrícola das terras, têm sido constatados o aumento da área degradada pela erosão e a elevação das taxas de perdas de solo e água bem acima de limites toleráveis. Em conseqüência, vem ocorrendo o declínio na produtividade do solo, muitos dos quais já em fase de desertificação, dada a ausência de planejamento conservacionista da maior parte dos recursos de solo e de água nesse Estado (Magalhães

& Lima 1995; Silva, 2000). É inadiável, portanto, equacionar e propor soluções para esse grave problema. Nesse sentido, a modelagem do processo da erosão e seu controle é atualmente uma eficiente estratégia que vem sendo utilizada no planejamento do uso, manejo e conservação do solo.

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) é um modelo empírico que estima as perdas médias anuais de solo de determinado local, permitindo orientar o planejamento conservacionista com base na seleção de combinações de uso do solo, manejo da vegetação e práticas conservacionistas capazes de manter essas perdas em níveis toleráveis (Wischmeier & Smith, 1978). A EUPS abrange em um modelo matemático todos os fatores que influenciam a erosão pelo impacto das gotas de chuva e pela enxurrada sendo expressa como $A = R.K.LS.C.P$, em que A representa as perdas médias anuais de solo ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), R é o fator erosividade da chuva dado em $MJ\ mm\ (ha\ h\ ano)^{-1}$ e K é o fator erodibilidade do solo dado em $Mg\ ha\ h\ (ha\ MJ\ mm)^{-1}$. Os fatores LS, C e P são adimensionais, expressando relações entre as perdas de solo que ocorrem em determinados comprimento de rampa (L), declividade do terreno (S), culturas e seu manejo (C) e práticas conservacionistas (P) e as perdas que ocorrem em uma parcela-padrão.

A caracterização do fator R da EUPS requer o cálculo do índice de erosividade das chuvas (EI_{30}), cujo valor é obtido pela multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas de dado local: energia cinética total da chuva (E) e intensidade máxima em 30 min (I_{30}). Tomando os valores desse índice para todas as chuvas individuais erosivas que ocorrem em cada mês do ano, tem-se o EI_{30} mensal, cuja soma caracteriza o EI_{30} anual. A média anual desse índice, determinada na mais longa série histórica de dados de pluviografia disponível, representa o fator R do local em estudo. Mais de 30 anos de determinações em parcelas com coletores de enxurrada indicaram que quando todos os demais fatores que influem na erosão, exceto a chuva, são mantidos constantes, as perdas de solo em áreas cultivadas são diretamente proporcionais ao índice EI_{30} (Wischmeier, 1962).

Com o avanço das pesquisas sobre a erosão, algumas inovações no método de determinação dos fatores da EUPS vêm sendo introduzidas, visando aperfeiçoar a estimativa das perdas de solo em um modelo revisado dessa equação (Renard et al., 1991; 1994). Entretanto, Hudson (1995) afirmava que, diante da simplicidade e facilidade de operação, o modelo original da EUPS ainda continuaria a ser utilizado em alguns países como um valioso guia para o planejamento conservacionista. Dentre esses países encontra-se o Brasil, onde a partir do trabalho pioneiro de Lombardi Neto (1977) em Campinas (SP), pesquisadores, em grande número, optaram pela adoção do modelo original da EUPS para o cálculo do Fator R em municípios de outros estados, tais como: Amazonas (Oliveira Jr. & Medina, 1990), Ceará (Silva, 1990), Rio Grande do Norte (Moura & Medeiros, 1987), Paraíba (Maia Neto & Chaves, 1997; Chaves et al., 1997), Pernambuco (Margolis et al., 1985; Cantalice & Margolis, 1993; Albuquerque et al., 1994), Bahia (Lopes & Brito, 1993), Minas Gerais (Marques, 1996; Marques et al., 1997), Goiás (Dedecek, 1978; Silva et al., 1996), Mato Grosso (Morais et al., 1991), Mato Grosso do Sul (Carvalho et al., 1997; Castro Filho et al., 2000), Espírito Santo (Silva et al., 2000), São Paulo (Carvalho et al., 1989; Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Colodro et al., 2000; Roque et al., 2001), Paraná (Rufino et al., 1993), Santa Catarina (Bertol, 1993; 1994) e Rio Grande do Sul (Cogo et al., 1978; Morais et al., 1988). Esses resultados, em conjunto com novos trabalhos em desenvolvimento por pesquisadores nacionais, representam um valioso banco de dados para a delimitação das linhas iso-erosivas do Brasil.

O litoral do Ceará, onde se situa o município de Fortaleza, é uma região intensamente cultivada pois é privilegiada por altas normais pluviométricas, em contraste com a predominância de condições de semi-aridez em cerca de 90 % do território desse Estado. Além disso, em aproximadamente 70 % dessa região ocorrem Argissolos de alta erodibilidade, aumentando os riscos de degradação das áreas

cultivadas. A ausência de informações sobre a erosividade das chuvas nessa região constitui, portanto, um obstáculo ao planejamento de controle da erosão e ao manejo racional dos solos locais, tendo em vista uma agricultura produtiva e sustentável.

Nesse contexto, os objetivos deste trabalho foram: (a) determinar os índices EI_{30} mensais e anuais em Fortaleza (CE), no período de 1962 a 1981; (b) avaliar a distribuição anual e mensal do índice de erosividade local; (c) determinar as probabilidades de ocorrência e períodos de retorno dos índices anuais de erosividade e de seus valores máximos anuais para as chuvas individuais, e (d) criar um banco de dados que permita, em uma análise posterior, avaliar a correlação entre o índice EI_{30} anual e os parâmetros de pluviometria, objetivando simplificar o cálculo desse índice e atualizar seus valores até o ano 2000.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área e do material do estudo

A primeira etapa do estudo, abrangendo um período de 20 anos, foi realizada utilizando-se 7.300 diagramas diários de pluviógrafo disponíveis nos anos de 1962 a 1981, na Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, situada no município de Fortaleza (CE). A referida estação, fundada em 1961, é do tipo Climática Principal e localiza-se na latitude $3^{\circ} 44' S$ e na longitude $38^{\circ} 33' W$ na altitude de 20 m. A precipitação média anual no período estudado foi de 1.677 mm e a temperatura média anual de $27^{\circ} C$. O clima é do tipo Aw_i , segundo a classificação de Köppen, caracterizando-se como tropical chuvoso com precipitações de verão e temperatura do mês mais frio superior a $18^{\circ} C$.

O banco de dados criado no presente trabalho, no qual, em uma segunda etapa, foi analisada a correlação do índice EI_{30} com o coeficiente de chuva (Dias, 2002), permitiu prosseguir o estudo no período de 1982 a 2000, tendo em vista que não houve continuidade na leitura dos diagramas de pluviógrafos durante os anos posteriores a 1981.

Determinação do índice de erosividade EI_{30} com dados de pluviografia

Nos pluviogramas em que foram registradas as chuvas, em décimos de mm no eixo vertical, e o tempo no eixo horizontal, com subdivisões em intervalos de 10 min, cobrindo um período de 24 h, foram separados os segmentos de chuva de intensidade uniforme. Essas intensidades expressas em $mm h^{-1}$ foram identificadas a cada ponto onde ocorria uma mudança na declividade da curva do registro da chuva. Todas as chuvas de 10 mm ou mais, ou, ainda, as menores que 10 mm, porém apresentando em

15 min, 6 mm ou mais, foram selecionadas como chuvas individuais erosivas. Chuvas separadas por menos de 6 horas foram computadas como uma única chuva individual para o cálculo da energia cinética e do índice de erosividade (Lombardi Neto, 1977). Digitalizados todos os valores da quantidade de chuva (mm), suas durações (minutos) e intensidades (mm h^{-1}) nos pluviogramas diários do período de 1962 a 1981, esses valores foram utilizados no programa EROSIVIDADE I, desenvolvido por Freitas & Madeira Netto (1980)⁽⁴⁾. Neste, foram computadas as intensidades, as intensidades máximas em 30 min, as energias cinéticas parciais e totais, bem como os índices de erosividade EI_{30} diários, mensais e anuais. Os resultados obtidos foram transformados para o Sistema Internacional de Unidades (Foster et al., 1981) no qual a energia cinética é obtida pela equação:

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I$$

em que E é a energia cinética (MJ (ha mm)^{-1}) e I, a intensidade (mm h^{-1}). Para $I > 76 \text{ mm h}^{-1}$ utilizou-se o valor de $0,283 \text{ MJ (ha mm)}^{-1}$ para E (Foster et al., 1981).

Seguindo o método de Wischmeier & Smith (1978), o índice de erosividade EI_{30} (MJ (ha mm h)^{-1}) de cada chuva individual erosiva foi calculado pela multiplicação da energia cinética pela sua intensidade máxima em 30 min (mm h^{-1}). O EI_{30} mensal foi calculado pela adição dos valores desse índice para todas as chuvas individuais erosivas que ocorreram em cada mês do ano, cuja soma, por sua vez, caracterizou o EI_{30} anual. A média anual desse índice, determinada nos anos de 1962 a 1981, representou o fator R de Fortaleza nesse período de 20 anos.

Probabilidade de ocorrência e período de retorno do índice EI_{30}

Nas análises de probabilidade de ocorrência e do período de retorno do índice EI_{30} determinados para os anos de 1962 a 1981, foram utilizadas a lei de probabilidade logarítmica e a teoria de valores extremos (Schwab et al., 1966). Utilizou-se o programa *Probability Plot – Loglogistic distribution* (MINITAB, 1998) como auxílio na confecção do gráfico da plotagem dos valores determinados das probabilidades de ocorrência, dos períodos de retorno e da curva de distribuição de probabilidade.

Distribuição anual e mensal da percentagem acumulada da erosividade

Os valores dos índices EI_{30} médios mensais foram divididos pelo seu valor médio anual, encontrando-

se os respectivos valores relativos mensais. Esses valores, transformados em percentagens, foram plotados numa curva de distribuição mensal em um gráfico no qual a ordenada representa a percentagem acumulada do EI_{30} para cada mês, e a abscissa, os meses do ano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição anual e mensal do índice de erosividade EI_{30}

No período de 20 anos de determinações da erosividade, encontrou-se, para Fortaleza (CE), um valor médio anual do índice EI_{30} igual a $6.774 \text{ MJ mm (ha h ano)}^{-1}$, com um desvio-padrão de 3.083 e coeficiente de variação de 46 % (Quadro 1).

Esse valor do EI_{30} é semelhante aos encontrados por vários autores brasileiros em clima tropical, conforme as seguintes referências em que os valores médios anuais da erosividade, ou sua amplitude, encontrados em $\text{MJ mm (ha h ano)}^{-1}$, são citados entre parênteses: Cogo (1978), em Guaíba (RS), (6.275); Carvalho et al. (1997), em Selvíria (MS), (6.728); Pissarra et al. (2000), em Pereira Barreto (SP), (6.966); Bertoni & Lombardi Neto (1990), no litoral do estado de São Paulo, (6.000 a 7.500); Rufino et al. (1993), no estado do Paraná, (5.500 a 12.000); Castro Filho et al. (2000), na Bacia do Rio Paraná (5.000 a 14.000), e Maia Neto & Chaves (1997), no estado da Paraíba (2.000 a 8.000). Em outras localidades, esse índice apresentou valores médios anuais superiores aos do local em estudo, conforme mostrado nas referências seguintes: Cogo (1978), em Ijuí (RS), (8.606) e Passo Fundo (RS), (7.342); Dedecek (1978), em Brasília (DF), (8.319); Carvalho et al. (1989), em Mococa (SP), (7.747); Oliveira Jr. & Medina (1990), em Manaus (AM), (14.129); Moraes et al. (1991), no Sudoeste do estado de Mato Grosso, (7.830 a 8.439); Silva et al. (1996), em Goiânia (GO), (8.355); Colodro et al. (2000), em Teodoro Sampaio (SP) (7.172), e Roque et al. (2001), em Piraju (SP), (7.074). Entretanto, quando comparada com localidades sob clima semi-árido, a erosividade média anual de Fortaleza apresentou-se superior, como pode ser apreciado nas referências seguintes: Margolis et al. (1985), em Caruaru (PE) (2.060); Lopes & Brito (1993), na região do Médio São Francisco no pólo Petrolina (PE) – Juazeiro (Ba) (3.772); Chaves et al. (1997), em Patos (PB) (5.200); Albuquerque et al. (2001), em Sumé (PB) (4.298).

Valores do índice médio anual em outros locais do Brasil também podem ser encontrados na literatura pertinente ao tema em estudo. Entretanto, esses valores não se prestam a comparações com o presente estudo, posto que foram determinados em períodos demasiadamente curtos (1 a 4 anos), incluindo, em certos casos, anos com volumes de

⁽⁴⁾ FREITAS, P.L. & MADEIRA NETTO, J.S. Um programa computacional para cálculo dos índices de erosividade das chuvas. Brasília, EMBRAPA-SNLCS.1980. Não paginado.

Quadro 1. Distribuição mensal e anual do índice de erosividade EI₃₀ de Fortaleza (CE) no período de 1962 a 1981

Ano	Índice de erosividade EI ₃₀												Anual
	Mensal												
	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	
	MJ mm (ha h) ⁻¹												MJ mm (ha h ano) ⁻¹
1962	1.069	265	343	383	177	0	0	0	0	0	0	0	2.237
1963	2.080	1.315	3.855	4.493	422	39	0	0	0	0	137	540	12.881
1964	1.619	2.325	2.413	3.375	1.521	275	49	0	29	0	0	20	11.625
1965	608	49	2.158	2.659	736	814	108	0	0	0	0	0	7.132
1966	69	29	177	3.453	1.629	608	324	0	69	0	0	0	6.357
1967	59	3.149	1.167	1.089	4.640	442	275	20	0	0	0	0	10.840
1968	1.295	177	785	1.629	1.570	29	128	0	0	177	0	98	5.886
1969	108	461	3.296	1.423	5.219	294	549	0	0	0	0	0	11.350
1970	314	20	1.089	608	147	245	20	0	0	0	186	0	2.629
1971	1.570	569	1.844	589	1.334	628	2.443	39	0	0	0	137	9.153
1972	0	304	893	775	1.736	530	226	69	0	0	0	69	4.601
1973	540	1.285	1.050	1.148	2.462	422	353	49	118	0	49	0	7.475
1974	1.167	608	2.404	834	618	451	0	206	255	0	0	432	6.975
1975	167	1.373	2.688	549	2.109	471	196	0	29	0	69	29	7.681
1976	216	1.128	873	1.364	245	206	59	59	0	0	20	0	4.169
1977	648	255	687	2.963	775	775	285	69	0	0	0	0	6.455
1978	157	294	540	177	697	167	618	0	39	0	0	157	2.845
1979	118	1.069	1.452	383	854	79	0	157	343	0	0	0	4.454
1980	1.638	2.668	324	108	137	226	39	118	29	0	0	0	5.288
1981	422	677	2.688	893	451	108	0	0	0	0	0	206	5.445
Média	693	901	1.536	1.445	1.374	340	284	39	46	9	24	84	6.774
Desvio-padrão	655	906	1.066	1.259	1.395	246	541	60	93	39	52	152	3.083
C.V. (%)	95	101	69	87	102	72	191	152	202	449	219	180	46

chuvas muito superiores ou inferiores às normais pluviométricas locais. Geralmente, a ausência de registros pluviográficos anteriores e a necessidade de agilizar as informações sobre a erosividade, ainda que em nível preliminar ou exploratório, motivaram essas determinações de curto prazo. Nessa situação, encontram-se as referências de Silva et al. (1981), em Quixadá (CE), (7.087); Moura & Medeiros (1987), em Mossoró (RN), (16.767); Silva (1990), em Ubajara (CE), (5.961) e em Tianguá (3.030); Marques (1996), em Sete Lagoas (MG) (5.835), e Silva et al. (2000), em Aracruz (ES) (4.126).

Albuquerque et al. (1998), em Sumé (PB), e Carvalho & Hernani (2001), em Dourados (MS), com base em dados de chuvas individuais erosivas ocorridas em períodos de 5 anos, introduziram parâmetros da enxurrada em modelos matemáticos para aprimorar a estimativa da erosividade. Essa é uma alternativa que merece atenção dos pesquisadores sobre o tema em apreço. Entretanto, um período mais dilatado de tempo de determinações em diferentes solos e condições de climas locais deveria ser considerado para a avaliação dessa inovação metodológica na estimativa da erosividade.

A grande variação dos valores anuais da erosividade (2.237 a 12.881 MJ mm (ha h ano)⁻¹), em

Fortaleza (Quadro 1), é coerente com observações de Wischmeier (1976) que detectou, em determinados anos, valores iguais a menos da metade ou até mais do dobro do EI₃₀ médio anual determinado em longos períodos (22 anos). Essa variação, segundo esse autor, está relacionada com a grande variabilidade temporal das chuvas, bem como com efeitos cíclicos que ocorrem em longos prazos.

Distribuição das chuvas e das chuvas erosivas

Os totais de 162 chuvas e de 1.677 mm foram os valores médios anuais encontrados para o número de chuvas e de suas alturas pluviométricas, enquanto os valores desses parâmetros para as chuvas erosivas foram iguais a 41 e 959 mm, respectivamente. Esses valores médios anuais das chuvas erosivas correspondem a 25,3 e 57,2 % dos que foram encontrados para as médias anuais do número de chuvas e de suas alturas pluviométricas determinadas no período de 1962 a 1981. Entretanto, a concentração dessas chuvas no período de janeiro a junho (Figura 1) constitui uma característica bem mais importante que esses percentuais médios anuais. No primeiro semestre do ano, ocorreu um total de 866 mm de chuvas erosivas, correspondendo a 90,3 % da média das chuvas erosivas anuais.

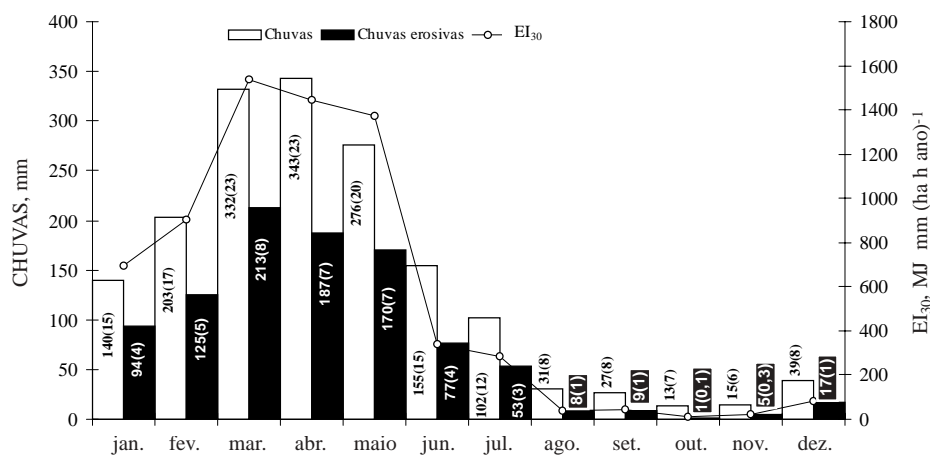


Figura 1. Distribuição de valores médios mensais das chuvas e das chuvas erosivas em relação aos valores médios mensais do índice El_{30} no período de 1962 a 1981, em Fortaleza (CE). Valores entre parêntese indicam o número médio de chuvas abaixo dos quais são indicados os valores médios mensais das chuvas em mm.

Os riscos de erosão aumentam particularmente nos meses de fevereiro a maio, visto que, somente nesses quatro meses, as chuvas erosivas (695 mm) correspondem a 72,5 % do total médio anual, sendo responsáveis por um valor do índice de erosividade El_{30} igual a 4.709 mm (ha h ano)⁻¹, ou seja, 70 % do total médio anual. Esses altos percentuais de chuvas erosivas em relação ao total de chuvas que ocorrem durante o ano coincidem com as observações de Hudson (1995) relacionadas com o maior potencial erosivo das chuvas tropicais em relação às chuvas de clima temperado. Esse autor estimou que, em clima temperado, com menores normais pluviométricas, apenas cerca de 5 % das chuvas são erosivas enquanto em clima tropical, como o do presente estudo, as normais pluviométricas, as intensidades e energias cinéticas são mais altas, com as chuvas erosivas atingindo em torno de 40 % do total anual das chuvas, explicando, dessa forma, as razões pelas quais a erosão é um problema mais grave em países com chuvas tropicais ou subtropicais.

A figura 1 mostra, ainda, que os valores da erosividade seguem, de modo geral, os das chuvas e das chuvas erosivas, destacando-se os meses de março e abril como os mais chuvosos e o mês de março como o que apresentou os maiores valores médios mensais de número de chuvas erosivas (8) e de seus volumes (213 mm). Observa-se, também, que a distribuição das chuvas e da erosividade enquadra-se no padrão uni-modal, no qual as chuvas concentram-se de janeiro a junho, seguindo-se um período de estio de julho a dezembro. Segundo Hudson (1995), esse padrão de distribuição das chuvas é característico de clima tropical no qual a erosão é o resultado tanto das chuvas mais intensas do período úmido quanto da dessecação da cobertura vegetal na estação seca do ano.

A distribuição mensal da erosividade calculada como percentagens do valor médio anual e acumulada a cada mês sob forma de uma curva mostrada na figura 2 indica a época do ano na qual ocorre o maior potencial das chuvas para provocar erosão.

Essas percentagens também são imprescindíveis ao cálculo do fator C da EUPS, uma vez que a proteção do solo por determinada cultura depende do estágio de desenvolvimento vegetativo no qual ela se encontra em relação aos valores da erosividade que ocorrem no aludido estágio (Wischmeier & Smith, 1978).

Assim é que, no período de janeiro a março, correspondendo à época de preparo do solo e plantio, e no mês de abril, correspondendo à época de estabelecimento das culturas, ocorre um alto potencial de perdas de solo e água pela erosão, em face da ocorrência de 67,5 % da erosividade anual apenas nesses quatro meses (Figuras 1 e 2). Essas grandes perdas por erosão, esperadas nessas épocas, são conseqüências do fato de o solo encontrar-se sem cobertura e desagregado, particularmente, quando executado o preparo convencional (janeiro a março) com sucessivas arações e gradagens, e em abril as plantas, em seu estágio inicial de crescimento, ainda não apresentam cobertura do solo suficiente para dissipar a elevada energia cinética das gotas de chuva em queda livre. Nesse contexto, cumpre ressaltar a necessária e urgente substituição do preparo convencional do solo, ainda vigente no Ceará, pelo plantio direto no qual a palha age como eficiente cobertura e proteção do solo, diminuindo significativamente as perdas por erosão (De Maria, 1999; Silva, 2000).

A concentração do potencial erosivo das chuvas em poucos meses do ano também tem sido observada

em todas as pesquisas desenvolvidas em outras regiões brasileiras. Dentre essas podem ser citadas as de Bertoni & Lombardi Neto (1990), Moraes et al. (1991) e Lopes & Brito (1993), nas quais cerca de 60, 76 a 91 e 65 % de toda a erosividade anual ocorrem, respectivamente, nos meses de novembro a março, janeiro a março e fevereiro a abril.

Distribuição de frequência dos valores anuais da erosividade

Os valores do índice EI₃₀ anual, os valores máximos para chuvas individuais, dispostos em ordem decrescente, respectivos meses de ocorrência, períodos de retorno e probabilidades de ocorrência são mostrados no quadro 2. O valor máximo da erosividade anual

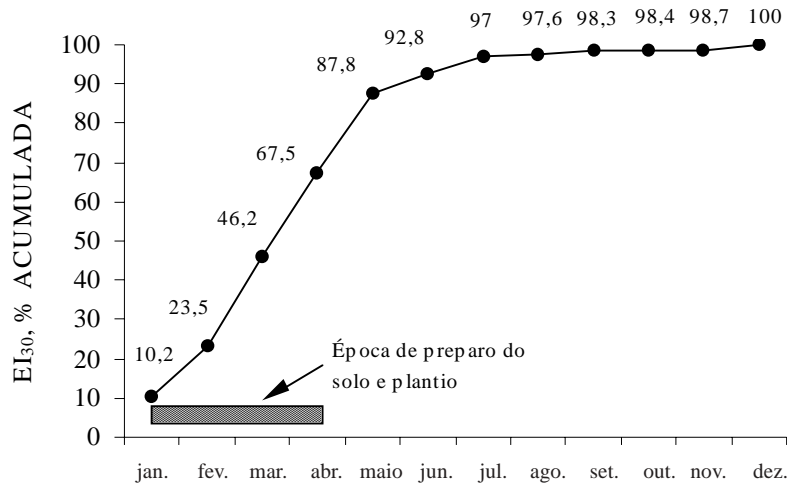


Figura 2. Distribuição percentual acumulada da erosividade em Fortaleza (CE).

Quadro 2. Probabilidade de ocorrência e períodos de retorno dos valores dos índices anuais de erosividade EI₃₀ de Fortaleza (CE) durante o período de 1962 a 1981

Índice de erosividade (EI30)		Valor máximo para chuvas individuais		Número de ordem	Período de retorno	Probabilidade de ocorrência	
Ano	Anual	Ano	Mês				
	MJ mm (ha h ano) ⁻¹		MJ mm (ha h) ⁻¹	m	T ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	
1963	12.881	1967	Maio	3.904	1	21,00	4,8
1964	11.625	1969	Maio	3.274	2	10,50	9,5
1969	11.350	1966	Abril	2.543	3	7,00	14,3
1967	10.840	1963	Abril	2.540	4	5,25	19,1
1971	9.153	1977	Abril	1.912	5	4,20	23,8
1975	7.681	1971	Julho	1.815	6	3,50	28,6
1973	7.475	1973	Maio	1.741	7	3,00	33,3
1965	7.132	1965	Março	1.696	8	2,63	38,0
1974	6.975	1981	Março	1.594	9	2,33	42,9
1977	6.455	1964	Abril	1.424	10	2,10	47,6
1966	6.357	1980	Janeiro	1.302	11	1,91	52,4
1968	5.886	1962	Janeiro	989	12	1,75	57,1
1981	5.445	1968	Janeiro	931	13	1,62	61,7
1980	5.288	1975	Fevereiro	885	14	1,50	66,7
1972	4.601	1970	Março	749	15	1,40	71,4
1979	4.454	1974	Abril	574	16	1,31	76,3
1976	4.169	1976	Abril	573	17	1,24	80,7
1978	2.845	1972	Maio	532	18	1,17	85,5
1970	2.629	1979	Março	451	19	1,11	90,1
1962	2.237	1978	Março	324	20	1,05	95,2
Média	6.774	-	-	1.488	-	-	-
Desvio-padrão	3.083	-	-	978	-	-	-
C.V. (%)	45,5	-	-	65,7	-	-	-

⁽¹⁾ T = (N + 1) m⁻¹ em que N = 20 anos. ⁽²⁾ P = 100 (T)⁻¹.

(12.881 MJ mm (ha h ano)⁻¹), determinado no ano de 1963, e o mínimo (2.237 MJ mm (ha h ano)⁻¹), determinado no ano de 1962, apresentaram, respectivamente, períodos de retorno de 21 e 1,05 anos e probabilidades de ocorrência de 4,8 %, para o primeiro, e de 95,2 %, para o último.

Espera-se, portanto, com essas probabilidades, que esses valores máximos e mínimos possam ser igualados ou superados, pelo menos uma vez, a cada 21 anos e a cada 1,05 anos, respectivamente. Para um período de análise de 22 anos, em Campinas (SP), Lombardi Neto (1977) encontrou valor máximo (13.832 MJ mm (ha h ano)⁻¹) e mínimo (3.443 MJ mm (ha h ano)⁻¹) da erosividade anual, com períodos de retorno de 23 e 1,05 anos e probabilidades de ocorrência de 4,3 e 95,7 %, respectivamente. Para um período de estudo de 23 anos, Roque et al. (2001), em Piraju (SP), encontraram 12.940 e 3.624 MJ mm (ha h ano)⁻¹, para os valores máximos e mínimos de erosividade anual, com período de retorno e probabilidades de ocorrência iguais a 24 anos e 4,2 % para o máximo e 1,04 anos e 96,2 % para o mínimo. Certamente, os períodos de estudo diferentes do da presente análise, bem como as diferenças climáticas existentes entre Ceará e São Paulo, condicionaram valores superiores da erosividade encontrada por esses autores em relação aos de Fortaleza.

Com relação aos valores da erosividade para chuvas individuais, o valor máximo (3.904 MJ mm (ha h ano)⁻¹) foi determinado no mês de maio de 1967, esperando-se que possa ser igualado ou superado, pelo menos uma vez a cada 21 anos, com probabilidade de 4,8 %, enquanto o valor mínimo (324 MJ mm (ha h ano)⁻¹) ocorreu no mês de março de 1978, podendo ser superado ou igualado, pelo menos uma vez a cada 1,05 anos, com probabilidade de 95,2 % (Quadro 2).

A curva de distribuição dos valores da erosividade anual de Fortaleza (Figura 3) seguiu o padrão log-normal, típico de eventos hidrológicos (Lombardi Neto, 1977; Carvalho et al., 1989; Roque et al., 2001).

A leitura dessa curva permite estimar os períodos de retorno e probabilidades de ocorrência para diferentes valores da erosividade. Dessa forma, pode ser estimado que o valor médio anual do índice EI₃₀ (6.774 MJ mm (ha h ano)⁻¹), correspondendo ao fator R para Fortaleza (CE), pode ocorrer com probabilidade de 46 % e período de retorno de 2,2 anos, aproximadamente.

Os valores da erosividade para chuvas individuais (Figura 4) estimados para os períodos de retorno de 2, 5, 20 e 50 anos são de 1.363, 2.415, 3.873 e 5.950 MJ mm (ha h ano)⁻¹. Para o período de retorno de 100 anos, é esperado, para chuvas individuais, um valor máximo do índice de erosividade de 8.000 MJ mm (ha h ano)⁻¹.

Embora no sul do País já seja possível a consulta de dados sobre a distribuição, probabilidades de

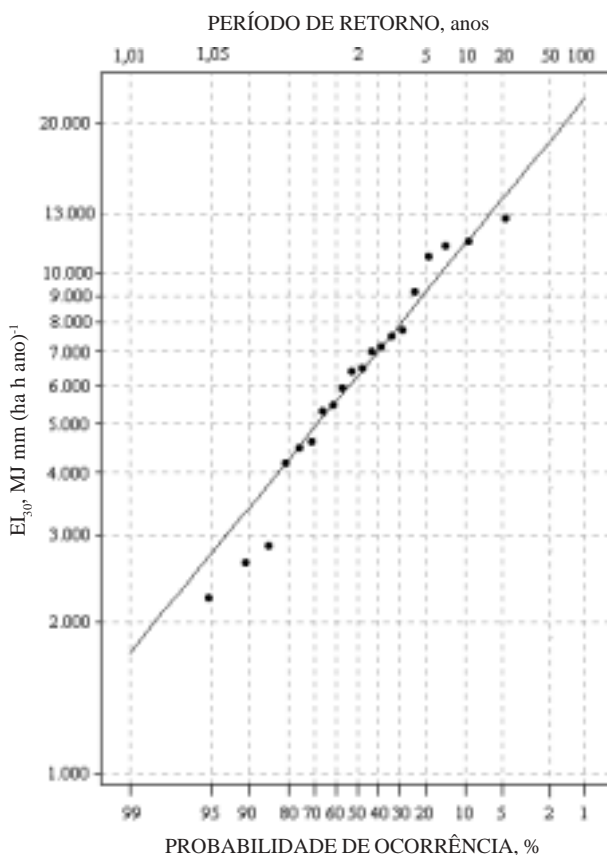


Figura 3. Curva de distribuição da probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade anual de Fortaleza (CE) no período de 1962 a 1981.

ocorrência e períodos de retorno de índices EI₃₀ anuais (Lombardi Neto, 1977; Carvalho et al., 1989; Carvalho et al., 1997; Colodro et al., 2000; Roque et al., 2001), são poucos os trabalhos que investigaram esses parâmetros relacionados com os valores máximos do índice EI₃₀ para as chuvas individuais (Lombardi Neto, 1977; Roque et al., 2001).

Em outras regiões brasileiras, considerando séries contínuas superiores a 20 anos, esses dados referentes a valores máximos da erosividade para chuvas individuais não existem, exceto no Nordeste, onde, em um único trabalho disponível na literatura, Chaves et al. (1997) relataram valores de erosividade e períodos de retorno para as 10 maiores chuvas ocorridas em Patos (PB) numa série de 50 anos. Esses autores encontraram valores do índice EI₃₀ iguais a 4.251, 3.337, 1.961 e 1.556 MJ mm (ha h ano)⁻¹ com probabilidades de ocorrência de 2, 5, 20 e 30 %, respectivamente. Dessa forma, os dados obtidos no presente estudo (Quadro 2 e Figuras 3 e 4) também contribuíram para aumentar as informações referentes à distribuição de frequência de eventos extremos relativos ao índice EI₃₀, as quais são praticamente desconhecidas no Nordeste brasileiro.

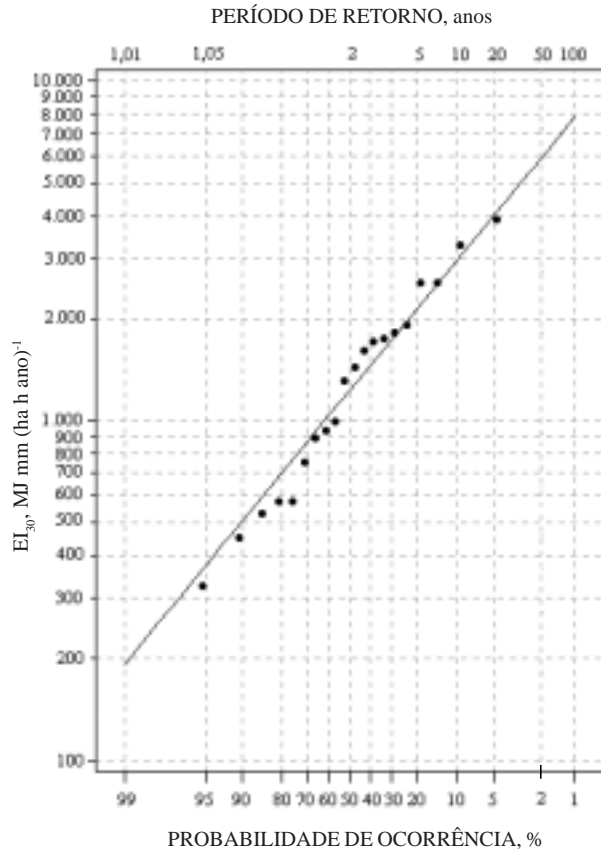


Figura 4. Curva de probabilidade de ocorrência e período de retorno dos valores máximos do índice de erosividade EI_{30} para chuvas individuais em Fortaleza (CE) no período de 1962 a 1981.

CONCLUSÕES

1. O fator R da Equação Universal de Perdas de Solo, em Fortaleza (CE), foi dimensionado no valor de $6.774 \text{ MJ mm (ha h ano)}^{-1}$, com um erro-padrão da média igual a 690, caracterizando-se as chuvas desse local como de alta erosividade.

2. A distribuição anual das chuvas enquadrrou-se no padrão uni-modal, no qual as chuvas concentraram-se no primeiro semestre do ano. Nos meses de janeiro a junho, verificou-se 97 % do valor da erosividade média anual.

3. Os riscos de erosão aumentaram particularmente nos meses de fevereiro a maio, visto que, somente nesses quatro meses, as chuvas erosivas (695 mm) foram responsáveis por um elevado valor do índice de erosividade EI_{30} , com um total de $4.709 \text{ MJ mm (ha h)}^{-1}$, ou seja, 70 % do total médio anual.

4. Estimou-se, com uma probabilidade de 46 %, ser possível a ocorrência de um valor do índice EI_{30} anual, igual ou superior ao fator R determinado, pelo

menos uma vez a cada 2,2 anos. Os valores da erosividade para chuvas individuais estimados para os períodos de retorno de 2, 5, 20 e 50 anos foram de 1.363, 2.415, 3.873 e $5.950 \text{ MJ mm (ha h)}^{-1}$. Para o período de retorno de 100 anos é esperado, para chuvas individuais, um valor máximo do índice de erosividade de $8.000 \text{ MJ mm (ha h)}^{-1}$, com 1 % de probabilidade de ocorrência.

5. Um banco de dados foi criado para, em análise posterior, avaliar a correlação entre parâmetros de pluviometria e valores mensais e anuais do índice EI_{30} , aqui calculados com registros pluviográficos, no sentido de simplificar o cálculo desse índice e agilizar a atualização de seus valores até o ano 2000.

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.
- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F. & SRINIVASAN, V.S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). R. Bras. Ci. Solo, 25:121-128, 2001.
- ALBUQUERQUE, A.W.; CHAVES, I.B. & VASQUES FILHO, J. Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num Regossolo eutrófico de Caruarú (PE). R. Bras. Ci. Solo, 18:279-283, 1994.
- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lajes (SC). 1ª. aproximação. Pesq. Agropec. Bras., 28:515-521, 1993.
- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. Pesq. Agropec. Bras., 29:1453-1458, 1994.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.
- BROWN, L.R. The global loss of topsoil. J. Soil Water Conserv, 39:162-165, 1984.
- 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.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. & CATANEO, A. Erosividade da chuva de Mococa (SP) analisada pelo índice EI_{30} . R. Bras. Ci. Solo, 13:243-249, 1989.
- CARVALHO, M.P. & HERNANI, L.C. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com perdas de solo e erodibilidade de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). R. Bras. Ci. Solo, 25:137-146, 2001.
- CARVALHO, M.P.; PISSARA, T.C. & PAULINO, H.B. Erosividade da chuva de Selviria (MS): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM

- CASTRO FILHO, C.; CAVIGLIONE, J.H. & RUFINO, R.L. Determinação do potencial erosivo das chuvas da bacia do rio Paraná. 1ª. aproximação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., Ilhéus, 2000. Anais. Ilhéus, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM
- CHAVES, I.B.; LEITE JÚNIOR, G.P. & MAIA NETO, F.F. Análise da pluviometria e da erosividade das chuvas de Patos (PB). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM
- COGO, N.P.; DREWS, C.R. & GIANELLO, C. Índice de erosividade das chuvas dos municípios de Guaíba, Ijuí e Passo Fundo, no estado do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978, Anais. Passo Fundo, CNPT/SNLCS-EMBRAPA, 1978. p. 145-152.
- COLODRO, G.; CARVALHO, M.P. & ROQUE, C.G. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., Ilhéus, 2000. Anais. Ilhéus, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM
- DEDECEK, R.A. Capacidade erosiva das chuvas de Brasília – DF. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, CNPT/SNLCS-EMBRAPA, 1978. p.157-161.
- De MARIA, I.C. Erosão e terraços em plantio direto. B. Inf. SBCS, 24:17-21, 1999.
- DIAS, A.S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE): Distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com parâmetros pluviométricos. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. 2002. 42p. (Tese de Mestrado)
- FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. J. Soil Water Conserv., 36:355-359, 1981.
- HUDSON, N. Soil conservation. 3.ed. Ames, Iowa State University Press, 1995. 391p.
- LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity – its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1977. 53p. (Tese de Mestrado)
- LOPES, P.C.R. & BRITO, L.T.L. Erosividade da chuva no Médio São Francisco. R.Bras. Ci. Solo, 17:129-133, 1993.
- MAGALHÃES, S.A.R. & LIMA, R.R.A. Estratégia de desenvolvimento sustentável no Nordeste. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL, ed. Desertificação em revista. Rio de Janeiro, 1995. 237p. CD-ROM
- MAIA NETO, F.F. & CHAVES, I.B. Mapeamento da erosividade das chuvas da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM
- MARGOLIS, E.; SILVA, A.B. & JACQUES, F.O. Determinação dos fatores da equação universal das perdas de solo para as condições de Caruaru (PE). R. Bras. Ci. Solo, 9:165-169, 1985.
- MARQUES, J.J.G.S.M. Estimativas e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1996. 119p. (Tese de Mestrado)
- 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 fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados – primeira aproximação. R. Bras. Ci. Solo, 21:427-434, 1997.
- MINITAB. Minitab statistical software - Release 12. User's guide 1: data, graphics and macros. State College, 1998. Não paginado.
- 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.
- 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 de Mato Grosso. R. Bras. Ci. Solo, 15:339-344, 1991.
- MOURA, A.R.B. & MEDEIROS, J.F. Determinação inicial da erosividade da chuva (fator R) em 1985, em Mossoró (RN). R. Bras. Ci. Solo, 11:229-231, 1987.
- OLIVEIRA Jr., R.C. & MEDINA, B.F. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). R. Bras. Ci. Solo, 14:235-239, 1990.
- PISSARRA, T.C.T.; CARVALHO, M.P. & CHUEIRE, F.B. Erosividade da chuva de Pereira Barreto (SP): distribuição, período de retorno e probabilidade de ocorrência. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., Ilhéus, 2000. Anais. Ilhéus, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A. & PORTER, J.P. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. J. Soil Water Conserv., 46:30-33, 1991.
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; YODER, D.C. & McCOOL, D.K. RUSLE revisited: status, questions, answers and the future. J. Soil Water Conserv., 49:213-220, 1994.
- ROQUE, C.G.; CARVALHO, M.P. & PRADO, R.M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. R. Bras. Ci. Solo, 25:147-156, 2001.
- RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M. & MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná através da pluviometria: terceira aproximação. R. Bras. Ci. Solo, 17:439-444, 1993.
- SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W. & BARNES, K.K. Soil and water conservation engineering. 2.ed. New York, John Wiley, 1966. 683p.
- SILVA, J.R.C.; SAUNDERS, L.C.U.; PAIVA, J.B. & RODRIGUES, A.R. Erosividade das chuvas de Quixadá - Ceará: resultados do ano de 1980. Ci. Agron., 12:97-101, 1981.

- SILVA, J.R.C. A conservationist approach for Brazilian soils using a geographic information system. Ithaca, Cornell University. 1990. 280p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, J.R.C. Erosão e produtividade do solo no semi-árido. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS JR., R.N.; ROMERO, R.E.; SILVA, J.R.C., eds. Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Universidade Federal do Ceará, 2000. p.169-213.
- SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P. & CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 11., Águas de Lindóia. 1996. Anais. Águas de Lindóia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S. & MARTINS, S.G. Erosividade das chuvas na região dos tabuleiros costeiros, município de Aracruz (ES) - Primeira aproximação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., Ilhéus, 2000. Anais. Ilhéus, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM
- WISCHMEIER, W.H. Storms and soil conservation. *J. Soil Water Conserv.*, 17:55-59, 1962.
- WISCHMEIER, W.H. Use and misuse of the universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.*, 31:5-9, 1976.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p.

