



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Machado, Roriz Luciano; Fonseca de Carvalho, Daniel; Ribeiro Costa Rouws, Janaina; Pinto Gomes, Daniela; Nazare Eduardo, Eliete

EROSIVIDADE DAS CHUVAS ASSOCIADA A PERÍODOS DE RETORNO E PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 37, núm. 2, 2013, pp. 529-547

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180226346024>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

NOTA

EROSIVIDADE DAS CHUVAS ASSOCIADA A PERÍODOS DE RETORNO E PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO⁽¹⁾

Roriz Luciano Machado⁽²⁾, Daniel Fonseca de Carvalho⁽³⁾, Janaina Ribeiro Costa Rouws⁽⁴⁾, Daniela Pinto Gomes⁽⁵⁾ & Eliete Nazare Eduardo⁽⁶⁾

RESUMO

O conhecimento da erosividade das chuvas associada à probabilidade de ocorrência e ao período de retorno pode contribuir para o planejamento conservacionista de uma região, em médio e longo prazo. A fim de gerar informações para melhor utilizar modelos e controle da erosão, dados de chuvas de 30 séries pluviográficas e pluviométricas, abrangendo 25 municípios, entre 1933 e 2006, foram estudados quanto à adequação das séries e do cálculo da probabilidade de ocorrência teórica (P) e período de retorno (T) da erosividade das chuvas (EI_{30} e $KE > 25$), para o Estado do Rio de Janeiro. Foi feita a espacialização do potencial erosivo associado aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos para todo o Estado. A erosividade anual média (EI_{30}) ou fator R da USLE para qualquer localidade no Estado do Rio de Janeiro pode ser igualada ou superada pelo menos uma vez, em média, em um período de 1,8 a 2,1 anos, com faixa de 48,5 a 54,9 % de probabilidade de ocorrência teórica. As localidades que apresentam maior erosividade associada aos períodos de retorno estão situadas nas mesorregiões Metropolitanas e em partes das mesorregiões Sul e Centro Fluminense. Foi possível identificar de oito a 12 regiões homogêneas, quanto à distribuição espacial da erosividade associada aos períodos de retorno de dois para 100 anos no Estado. De modo geral, a maior variação da distribuição espacial da erosividade apresenta-se na faixa de período de retorno de dois a cinco anos.

Termos de indexação: conservação do solo, USLE, recorrência da erosividade.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ. Recebido para publicação em 13 de dezembro de 2011 e aprovado em 14 de janeiro de 2013.

⁽²⁾ Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Câmpus Ceres, Rod. 154, Km 03. Caixa Postal 51. CEP 76300-000 Ceres (GO). E-mail: roriz.machado@ifgoiano.edu.br

⁽³⁾ Professor, UFRRJ. km 07, BR 465. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: carvalho@pq.cnpq.br

⁽⁴⁾ Pesquisadora, Embrapa Agrobiologia. BR 465, km 07. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: janaina@cnpab.embrapa.br

⁽⁵⁾ Doutoranda em Agronomia, Fitotecnia, UFRRJ. E-mail: danielagomesagro@hotmail.com

⁽⁶⁾ Eng. Agrônoma, Mestre em Agronomia-Ciência do Solo - UFRRJ. E-mail: elietenazare@gmail.com

SUMMARY: RAINFALL EROSIVITY ASSOCIATED TO RETURN PERIODS AND OCCURRENCE PROBABILITY IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO, BRAZIL

Knowledge on rainfall erosivity associated to occurrence probability and return periods can contribute to conservation planning in the medium and long term. With the objective of generating information for a better use of medium and long-term erosion models and erosion control, rainfall data of 30 pluviometric and pluviographic data sets from 25 cities ranging from 1933 to 2006 were studied in terms of adjustment of data sets, calculation of the probability of theoretical occurrence (P) and return period (T) of rainfall erosivity (EI_{30} and $KE > 25$) for the State of Rio de Janeiro, as well as the spatialization of erosivity associated to return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years for the whole state. Average annual erosivity (EI_{30}), or "R" factor of USLE, for any location in the state of Rio de Janeiro, can on average be equaled or surpassed at least once in a 1.8-2.1 year period, at a theoretical occurrence probability of 48.5 to 54.9 %. The locations with highest erosivity rates associated to return periods are located in the Metropolitan mesoregions as well as in parts of the South and Center Mesoregions. It was possible to identify 8-12 homogeneous regions of spatial distribution of erosivity associated to the return periods of 2-100 years in the state of Rio de Janeiro. In general, the variation of spatial distribution of erosivity was highest in a return period ranging from two to five years.

Index terms: soil conservation, USLE, erosivity return period.

INTRODUÇÃO

Em todo o mundo é cada vez mais frequente a erosão do solo, em vários graus de intensidade, o que gera danos em diferentes abordagens e impõe crescente desafio à pesquisa em caracterizar e prever a influência dos diferentes fatores causadores do fenômeno, bem como, o uso das informações geradas no desenvolvimento de tecnologias preventivas e corretivas de conservação de solo e água.

Fundamentalmente, a erosão hídrica é definida como o resultado dos processos de desagregação de partículas do solo, transporte e deposição dessas partículas (unitárias e agregadas) em razão da ação do impacto da gota de chuva e o escoamento superficial da água sobre o solo (Ellison, 1947). Segundo Hudson (1973) e Wischmeier & Smith (1978), os principais fatores da erosão hídrica estão relacionados a clima, solo, relevo, cobertura e uso do solo e práticas conservacionistas.

A chuva é considerada o fator climático que mais influencia a erosão do solo, especialmente nos trópicos por causa das suas características, sobretudo relacionadas ao volume precipitado e à sua distribuição temporal e espacial (Hudson, 1995). A energia cinética da chuva representa o efeito do impacto da gota de chuva diretamente sobre o solo, que contribui para a erosão, em razão do desprendimento de partículas do solo no local do impacto, no transporte por salpicamento das partículas desprendidas e na produção de energia na forma de turbulência à água da superfície, constituindo o estágio inicial da erosão hídrica (Duley, 1939; Ellison, 1947). De acordo com Wischmeier & Smith (1958) e Wischmeier (1959), o produto da energia cinética pela intensidade das chuvas em 30 min é o melhor índice para estimar a erosividade, sendo

utilizado na obtenção do fator R da Equação Universal de Perda de Solo - USLE. Desse modo, o produto entre a energia cinética (E_c) e intensidade máxima em 30 min (I_{30}) representa um termo de interação que mede o efeito de como o salpico e a turbulência se combinam com a enxurrada para desagregar e transportar as partículas desprendidas do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A utilização do EI_{30} , no entanto, passou a ser discutida para países tropicais onde a intensidade das chuvas pode ultrapassar 150 mm h^{-1} , sendo propostos, em razão disso, índices alternativos como o $KE > 25$ (Hudson, 1995) entre outros. Esse índice considera a energia cinética total das chuvas que apresentam intensidades de precipitação superiores a 25 mm h^{-1} . De acordo com Lal (1976), o índice $KE > 25$ é mais fácil de ser determinado, uma vez que dispensa o uso da intensidade máxima em 30 min. No entanto, em várias localidades estudadas no Brasil, não foi encontrada diferença estatística com o índice EI_{30} (Marques et al., 1997), sendo esse último, recomendado por ser o índice oficial da USLE.

É comum no Brasil a escassez de dados pluviográficos e, ou, falta de séries históricas adequadas para se obterem índices de erosividade (Carvalho et al., 2005). Além da carência de informações, o intenso trabalho, necessário desde a leitura das informações de pluviogramas até o cálculo dos índices de erosividade, contribuiu para a busca de alternativas como a possibilidade de obtenção desses índices a partir de características pluviométricas (Bertoni & Lombardi Neto, 1990), como a altura precipitada e o coeficiente de chuva (R_c) (Fournier, 1956, modificado por Lombardi Neto, 1977). Outra situação comum nesse tipo de estudo é o fato de a estação meteorológica apresentar série pluviográfica

com poucos anos de registro e série pluviométrica com muitos anos de medição, o que torna oportuno aproveitar esses dados para ampliar a série pluviográfica, após estudo de correlação entre ambas para a mesma estação meteorológica ou estação vizinha. Estudos dessa natureza foram desenvolvidos por Roque et al. (2001), para Piraju, SP, Colodro et al. (2002), para Teodoro Sampaio, SP, e Gonçalves et al. (2006), para o Estado do Rio de Janeiro.

Carvalho et al. (1989) e Moreti et al. (2003b), visando planejamento conservacionista em médio e longo prazo, relataram que o uso de índices de erosividade associado a períodos de retorno pode ser útil para solucionar problemas específicos relacionados a aspectos econômicos e ecológicos e dos possíveis danos admitidos, por ser mais consistente que simplesmente a erosividade média anual ou fator R da USLE. Além disso, a avaliação dos períodos de retorno e da probabilidade de ocorrência da erosividade anual das chuvas possibilita criar previsões da frequência com que as estimativas de perdas de solo são sub ou superestimadas (Cassol et al., 2008).

Diversos estudos sobre período de retorno da erosividade das chuvas foram desenvolvidos em diferentes localidades, podendo ser citados os trabalhos de Dias & Silva (2003), para Fortaleza, CE; Peñalva Bazzano et al. (2007), para Quaraí, RS; Peñalva Bazzano et al. (2010), para Rio Grande, RS; Carvalho et al. (1989), para Mococa, SP; Roque et al. (2001), para Piraju, SP; Colodro et al. (2002), para Teodoro Sampaio, SP; Moreti et al. (2003a), para São Manuel, SP; Moreti et al. (2003b), para Pedrinhas Paulista, SP; e Evangelista et al. (2006), para Lavras, MG. No Estado do Rio de Janeiro pode ser citado o trabalho realizado por Carvalho et al. (2010), para Seropédica.

Ao contrário de trabalhos individualizados a delimitação da erosividade para várias localidades, associada ao período de retorno e a sua espacialização, pode disponibilizar importantes informações para o planejamento conservacionista de uma região, principalmente aquelas que apresentam condições de forte declividade e altos índices pluviométricos como o Estado do Rio de Janeiro. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar a probabilidade de ocorrência teórica e período de retorno da erosividade das chuvas para diferentes localidades no Estado do Rio de Janeiro; e espacializar a erosividade das chuvas associada a diferentes períodos de retorno para o Estado.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado com dados de 30 estações pluviográficas disponibilizados pelas entidades: Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Serviços e Eletricidade S/A (LIGHT), Departamento Nacional de

Obras de Saneamento (DNOS) e Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA, atual INEA), abrangendo 25 municípios e cinco das seis mesorregiões do Estado do Rio de Janeiro (Quadro 1 e Figura 1).

As chuvas foram individualizadas, utilizando critérios adotados por Cabeda (1976), que considera uma chuva individual, quando essa estiver separada de outra por no mínimo 6 h, com precipitação pluvial inferior a 1 mm; e, erosivas, quando a altura precipitada é superior a 10 mm, ou quando igual ou superior a 6 mm, em um período máximo de 15 min. Em seguida, os dados foram submetidos ao *software* CHUVEROS (programa elaborado pelo professor Elemar Antônio Cassol), para o cálculo dos índices de erosividade EI_{30} e $KE > 25$.

Utilizaram-se também para o cálculo desses índices, séries pluviométricas localizadas no mesmo posto das estações pluviográficas ou vizinhas a essas, obtidas da base de dados Hidroweb/ANA, para substituição de séries pluviográficas de baixa qualidade (Quadro 1). Para estimativa desses índices, foram utilizadas equações obtidas por Gonçalves (2002) e Montebeller (2005), que ajustaram modelos entre os índices de erosividade, oriundos de pluviógrafo e precipitação pluvial mensal média (p) ou fator chuva - R_c (Fournier, 1956, modificado por Lombardi Neto, 1977), para igual período entre as séries. O critério adotado sobre qual equação utilizar baseou-se na estação de maior valor de coeficiente de determinação (R^2), verificando, em seguida, a qualidade do valor estimado, como ausência de valores negativos.

Para validar o uso das equações na estimativa dos índices de erosividade para séries com maior número de anos que os que deram origem a essas, ainda que no mesmo posto meteorológico, foi aplicada a análise de intervalo de confiança (IC), conforme Moreti et al. (2003a), para determinar o máximo de anos possível em que a altura precipitada (mm) obtida da série pluviométrica fosse estatisticamente semelhante à altura precipitada na série pluviográfica disponível (série menor). Isso foi realizado de forma gráfica, sendo analisada a sobreposição dos intervalos de confiança de ambas as séries, após as tentativas necessárias, variando o tamanho da série pluviométrica disponível. Com essa análise, 18 estações pluviométricas foram utilizadas na estimativa dos índices de erosividade, em substituição às séries pluviográficas com poucos anos e com falhas. Moreti et al. (2003a) obtiveram resultados satisfatórios com a utilização da técnica de análise de IC para avaliar a adequação do uso de equação desenvolvida para a região de Mococa, SP, com base no coeficiente de chuva (R_c), visando estimar dados de erosividade em São Manoel, SP.

Em relação ao período e tamanho das séries históricas, após estudo de adequação, não foi possível estabelecer período comum para todas as séries selecionadas, que variaram de 1933 a 2006. A média de anos das séries de cada mesorregião foi de 16 anos

Quadro 1. Identificação das séries pluviométricas/pluviográficas estudadas, de acordo com Brasil (2009)

Código	Nome	Resp.	Município	Lat.	Long.	Alt.(m)	Série utilizada (tamanho)
Mesorregião Baixadas Litorâneas							
02242101	Rio Mole ⁽¹⁾	SERLA	Saquarema	-22,8531	-42,5519	10	1979-1994 (16)
Mesorregião Centro Fluminense							
02142014	Paquequer ^(1,2) /Carmo	ANA	Carmo	-21,8778	-42,6422	150	1977-2006 (30)
2242031	Cordeiro ⁽¹⁾	ANA	Cordeiro	-22,0333	-42,3500	480	1947-1965 (19)
02142059	Usina Ilha dos Pombos ⁽³⁾	LIGTH	Carmo	-21,8433	-42,5783	146	1979-1989; e 1991 (12)
02242023	Conselheiro Paulino ^(1,2) /						
	Nova Friburgo	ANA	Nova Friburgo	-22,2167	-42,5167	830	1960-1970 (11)
02142016	Sta M. Madalena ⁽¹⁾	ANA	Sta M. Madalena	-21,9500	-42,0167	-	1966-1979 (14)
Mesorregião Metropolitana							
02243235	Andorinhas ⁽³⁾	SERLA	Magé	-22,5433	-43,0603	60	1977-1996 (20)
02242095	Cachoeiras de Macacu ⁽³⁾	SERLA	Cachoeiras de Macacu	-22,4794	-42,6578	40	1979-1993 (15)
02243239	Capela Mayrink ⁽³⁾	SERLA	Rio de Janeiro	-22,9578	-43,2778	460	1980-1995 (16)
02243186	Ecologia Agrícola ⁽¹⁾	INMET	Seropédica	-22,7667	-43,6833	33	1973-2002 (30)
02243083	Eletrobrás ⁽¹⁾	SERLA	Rio de Janeiro	-22,9217	-43,4200	40	1969-1994 (26)
02242094	Escola União ⁽³⁾	SERLA	Magé ⁽⁴⁾	-22,5842	-42,9408	10	1977-1994 (19)
02242100	Fazenda Coqueiro ⁽³⁾	SERLA	Teresópolis	-22,4283	-42,8008	140	1978-1993 (16)
02242096	Fazenda Sto Amaro ⁽³⁾	SERLA	Cachoeiras de Macacu	-22,4108	-42,7236	260	1977-1995 (19)
02242014	Japuiba ⁽¹⁾	ANA	Cachoeiras de Macacu	-22,5592	-42,6989	50	1967-2005 (39)
02242098	Posto Garrafão ⁽³⁾	SERLA	Magé ⁽⁴⁾	-22,4822	-42,9961	640	1980-1995 (16)
02242097	Sambaetiba ⁽³⁾	SERLA	Itaboraí	-22,6394	-42,8006	10	1977-1995 (19)
02242091	Tanguá ⁽³⁾	SERLA	Rio Bonito	-22,7081	-42,7042	40	1980-1995 (16)
02243151	Vassouras ⁽¹⁾	INMET	Vassouras	-22,4167	-43,6667	437	1961-1978 (18)
02243238	Xerém ⁽³⁾	SERLA	Duque de Caxias	-22,5508	-43,3042	143	1977-1995 (19)
Mesorregião Norte Fluminense							
02241001	Farol de São Tomé ^(1,2) /						
	Campos	ANA	Campos	-22,0425	-41,0556	2	1991-2006 (16)
02241010	Quicamã ^(1,2) /Macaé	DNOS	Macaé ⁽⁵⁾	-22,1000	-41,4667	-	1945-1955; 1967-1980 (25)
Mesorregião Sul Fluminense							
02243008	Manuel Duarte ⁽¹⁾	ANA	Rio das Flores	-22,0858	-43,5567	396	1977-2006 (30)
02243165	Pirai ⁽¹⁾	INMET	Pirai	-22,6333	-43,8833	388	1961-1978 (18)
02244030	Nhangapi ^(1,2) /Resende	ANA	Resende	-22,5033	-44,6156	440	1957-2005 (49)
02243211	Barragem de Lajes ^(1,2) /						
	Ribeirão das Lajes	LIGTH	Pirai	-22,7008	-43,8783	462	1942-1978 (37)
02243205	Elevat. Santa Cecília ⁽¹⁾	LIGTH	Barra do Pirai	-22,4819	-43,8392	371	1933-2003 (71)
02244033	Sta Isabel do Rio Preto ⁽¹⁾	ANA	Valença	-22,2311	-44,0647	567	1973-2006 (34)
02244103	Barragem de Tocos ⁽³⁾	LIGTH	Rio Claro	-22,7489	-44,1247	453	1981-1988; 1993-1999 (15)
02344016	Vila Mambucaba ⁽¹⁾	ANA	Angra dos Reis	-23,0258	-44,5181	-	1983-2006 (24)

⁽¹⁾ Dados pluviométricos; ⁽²⁾ Pluviométrica localizada próxima e utilizada em substituição à pluviográfica; ⁽³⁾ Dados pluviográficos; ⁽⁴⁾ Coordenadas descritas por Brasil (2009) rebatem as estações 02242094 e 02242098 para o município de Guapimirim, RJ; e ⁽⁵⁾ Coordenadas informadas por Brasil (2009) posiciona a estação 02241010 em Quissamã, RJ.

para a mesorregião Baixada Litorânea; 17,2 anos, para a Centro Fluminense; 20,6 anos, para a Metropolitana; 20,5 anos, para a Norte Fluminense; e 34,8 anos, para a Sul Fluminense (Quadro 1).

Conforme Wischmeier & Smith (1978), para obter-se o fator R da USLE de forma confiável são necessários pelo menos 22 anos de dados. No Brasil, a erosividade é determinada com número de anos inferior a essa

recomendação, pois é difícil atender a essa exigência, em razão da escassez de dados pluviográficos (Marques et al., 1997).

Após definição do período a ser usado de cada série pluviométrica, foram elaboradas planilhas com as precipitações médias mensais (p) e o coeficiente de chuva (Rc) para o mês i e ano j, para cada estação pluviométrica. Utilizando as equações de Gonçalves

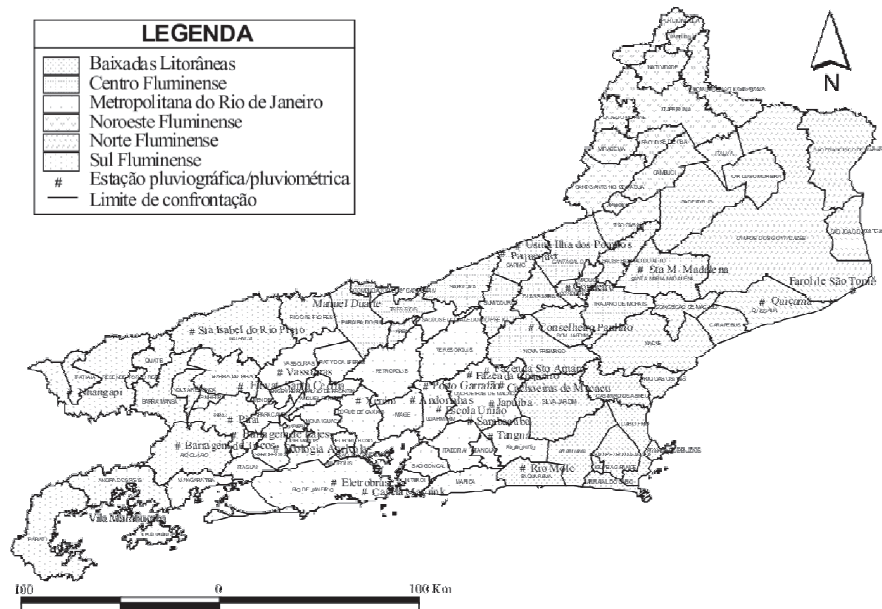


Figura 1. Localização das estações pluviométricas/pluviográficas no Estado do Rio de Janeiro (mapa político administrativo do IBGE).

(2002) e Montebeller (2005) e as planilhas de dados pluviométricos (p e R_c), gerou-se nova planilha com índices mensais de erosividade, para cada ano da série, conforme Moreti et al. (2003a), para as estações estudadas, aplicando-se a equação 1:

$$E_{ij} = \frac{(P_{ij} \cdot IE_{ij})}{Pa_{ij}} \quad (1)$$

em que: E_{ij} = índice de erosividade do mês i contido no ano j da série de dados; P_{ij} = total precipitado no mês i contido em um ano j da série de dados; IE_{ij} = índice de erosividade (IE_{30} ou $KE > 25$) mensal média, em que o mês i está contido na série de dados; Pa_{ij} = precipitação mensal média em que o mês i está contido na série.

O somatório dos índices mensais de erosividade (IE_{30} e $KE > 25$) dentro de cada ano foi usado para o cálculo do índice de erosividade para o ano em questão; o conjunto de todos os anos da série foi utilizado para determinar a probabilidade de ocorrência e o período de retorno, conforme a seguir.

Probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas

O período de retorno (T) e a probabilidade de ocorrência (Pr) foram obtidos, conforme Villela & Matos (1975), utilizando as equações 2 e 3, respectivamente:

$$T = \frac{N+1}{m} \quad (2)$$

em que: N = número de anos da extensão da série parcial de dados; m = número de ordem do índice de erosividade.

$$Pr = \frac{100}{T} \quad (3)$$

Nas equações 2 e 3, T é expresso em anos e Pr , em percentagem.

Com auxílio de uma planilha eletrônica, os valores dos índices de erosividade anuais médios de cada estação foram dispostos em ordem decrescente e associados a um valor de ordem. Devido ao fato de trabalhos anteriores terem sido desenvolvidos usando a função Log-normal (Moreti et al., 2003a; Evangelista et al., 2006), típica de eventos hidrológicos (Roque et al., 2001), foi realizado inicialmente, ajuste para essa distribuição. Para isso, foi estimado o valor do coeficiente de frequência (Z), utilizando a equação 4:

$$Z = \frac{\text{Log}(IE) - \overline{IE}}{DPI} \quad (4)$$

em que: IE = índice de erosividade; \overline{IE} = média do logaritmo dos valores de IE ; DPI = desvio-padrão do logaritmo dos valores de IE .

Em seguida, foram estimados valores teóricos de probabilidade (Prt), por meio da função distribuição de probabilidade Log-normal, utilizando-se o aplicativo Excel.

$$Prt = \frac{1}{IE \cdot DP \sqrt{2\pi}} E^{-\frac{(\ln(IE) - \overline{IE})^2}{2DP^2}} \quad (5)$$

em que: \overline{IE} = média dos valores de IE ; DP = desvio-padrão dos valores de IE .

Avaliação do ajuste dos dados de chuvas à distribuição Log-Normal

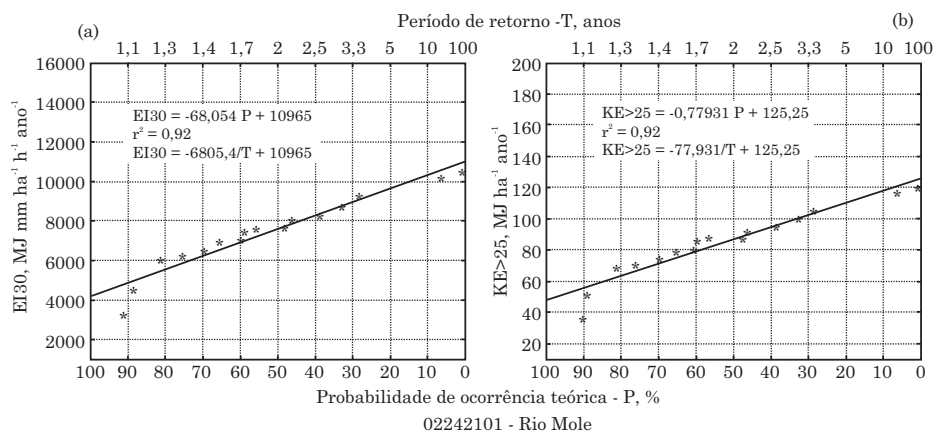
A fim de verificar o ajuste dos dados à distribuição Log-Normal, foi utilizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S), a 5 %, conforme Evangelista et al. (2006). Para cada valor de ordem foi estimada a diferença entre o valor de probabilidade calculado pela equação 3 e o valor teórico obtido pela equação 5. Finalmente, com base nos valores teóricos de probabilidade, do período de retorno e dos índices de erosividade, foram confeccionadas, no ambiente MatLab, curvas e equações de ajuste linear (Figuras 2 a 9), possibilitando, assim, a estimativa dos índices

EI_{30} e $KE > 25$, para diferentes valores de período de retorno e probabilidade de ocorrência.

Seguindo o padrão encontrado na literatura (Roque et al., 2001; Moreti et al., 2003a; Evangelista et al., 2006; Almeida et al., 2011), a fim de permitir comparações entre diferentes localidades, foram estimados, para cada estação, índices de erosividade com períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Espacialização dos valores de erosividade associada a períodos de retorno

Para obter a noção geral da iso-ocorrência da erosividade das chuvas no Estado do Rio de Janeiro,



02242101 - Rio Mole

Figura 2. Distribuição da probabilidade de ocorrência (P) e do período de retorno (T) da erosividade das chuvas, por meio dos índices EI_{30} (a) e $KE > 25$ (b) anuais para a Mesorregião Baixadas Litorâneas.

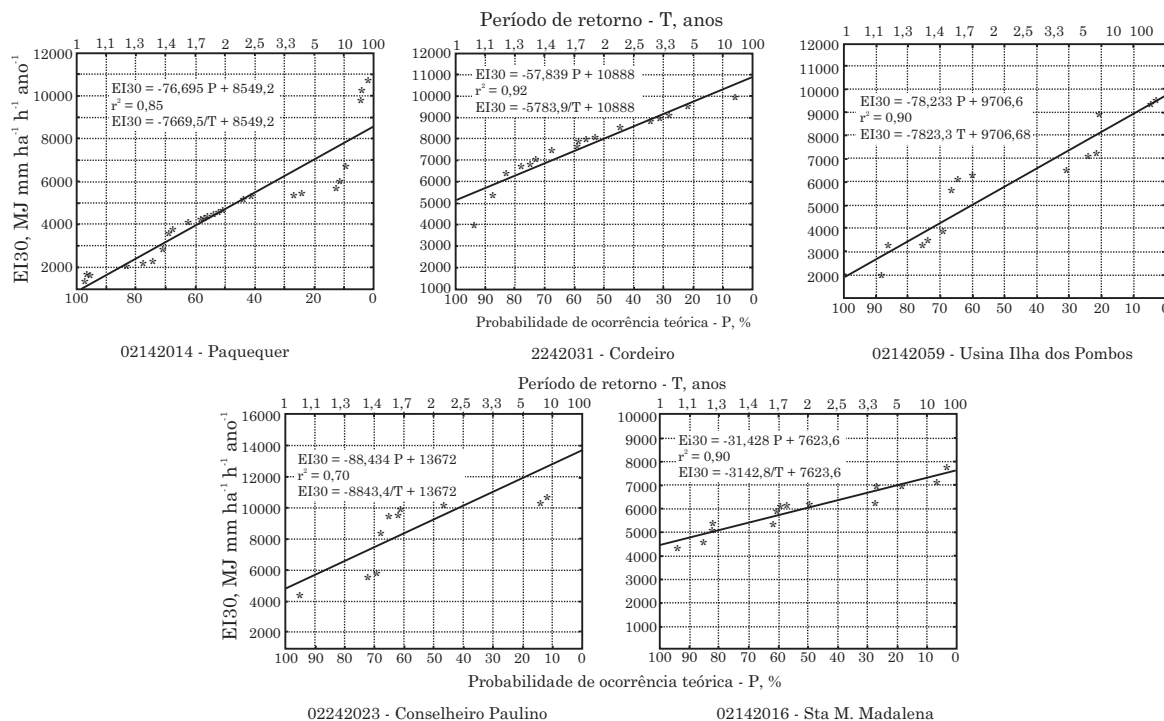


Figura 3. Distribuição da probabilidade de ocorrência (P) e do período de retorno (T) da erosividade das chuvas por meio do índice EI_{30} anual para as estações localizadas na Mesorregião Centro Fluminense.

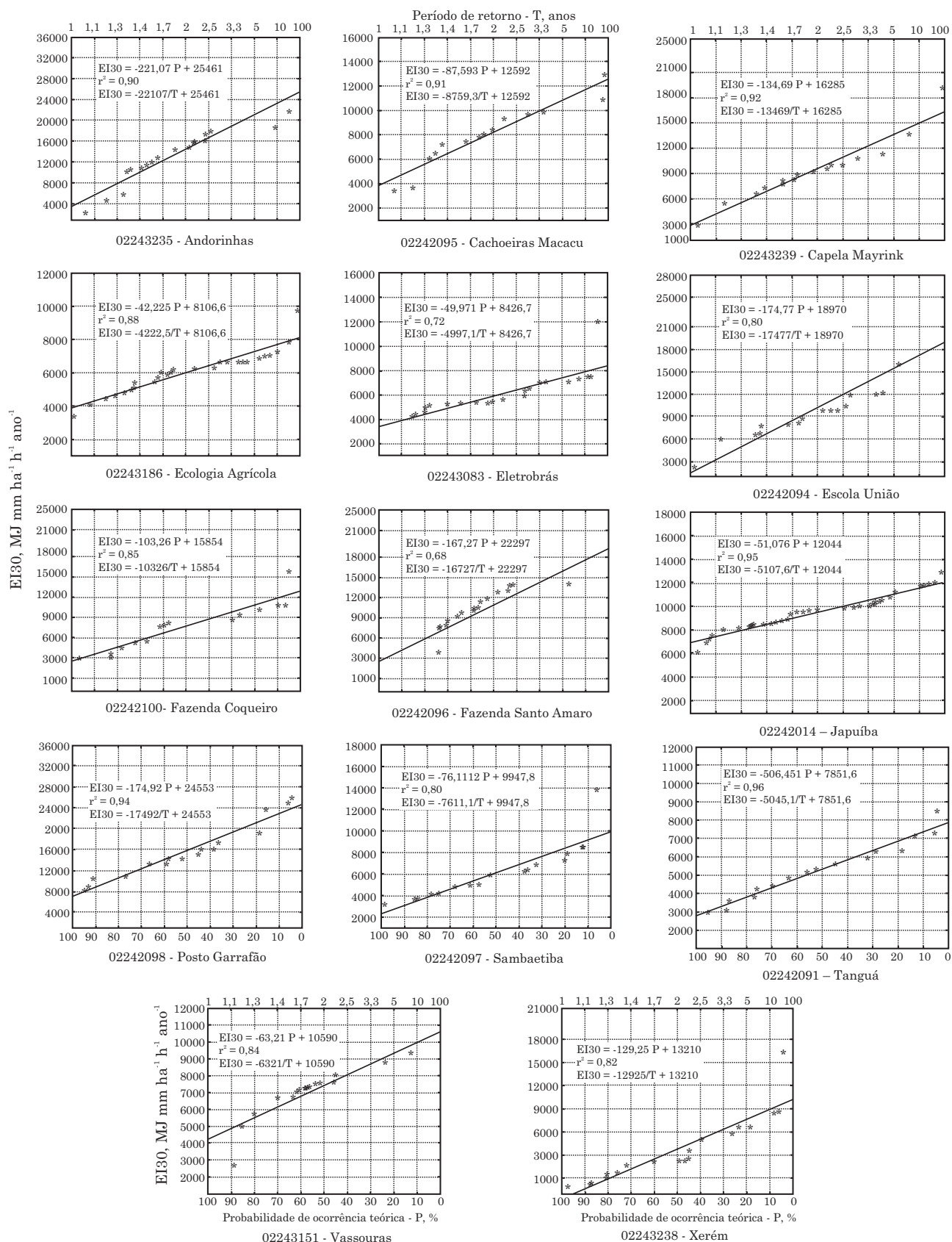


Figura 4. Distribuição da probabilidade de ocorrência (P) e do período de retorno (T) da erosividade das chuvas, pelo índice EI_{30} anual, para as estações localizadas na Mesorregião Metropolitana.

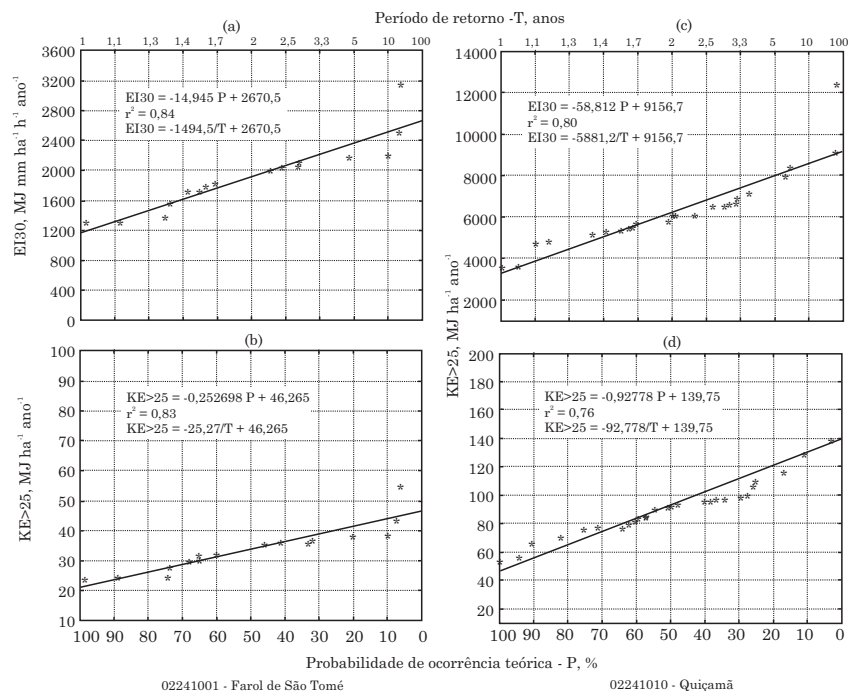


Figura 5. Distribuição da probabilidade de ocorrência (P) e do período de retorno (T) da erosividade das chuvas, pelo índice EI_{30} (a,c) e $KE > 25$ (b,d) anuais, para as estações localizadas na Mesorregião Norte Fluminense.

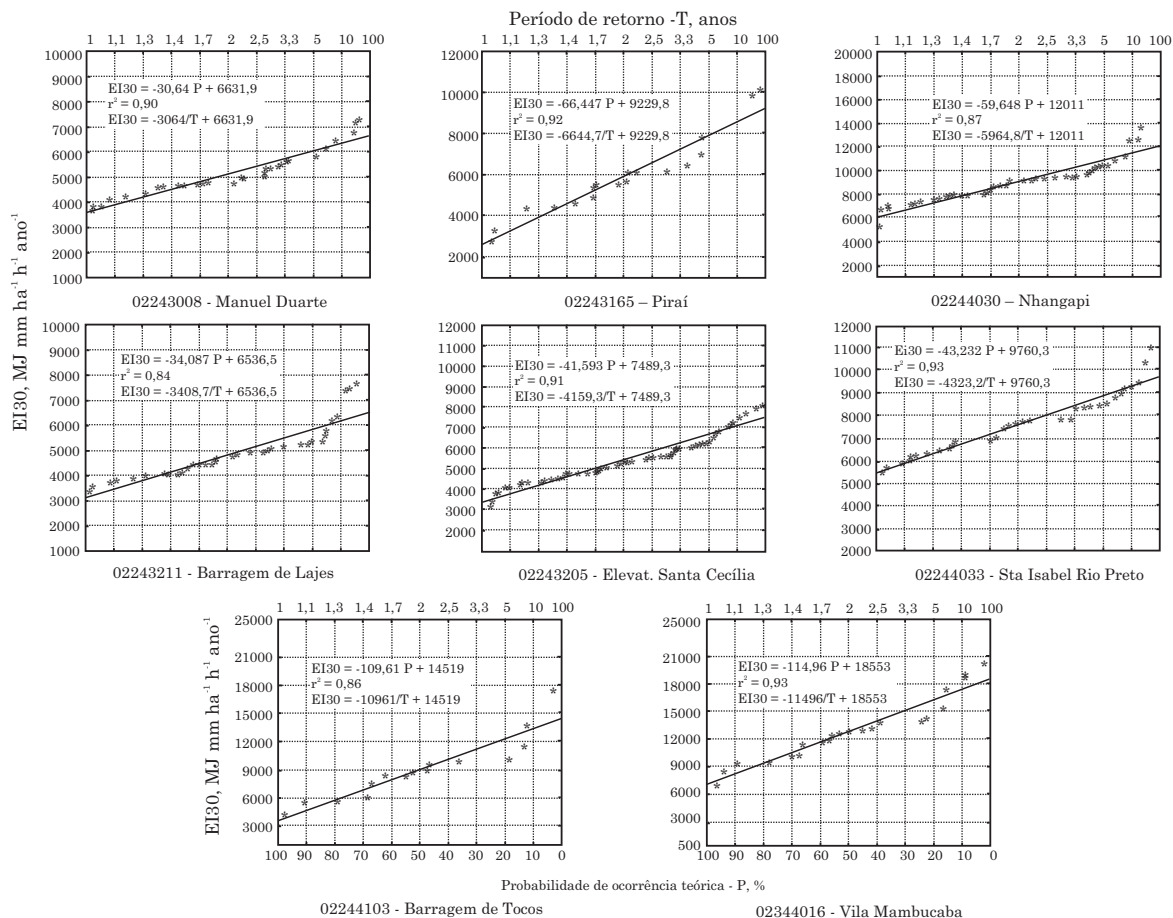


Figura 6. Distribuição da probabilidade de ocorrência (P) e do período de retorno (T) da erosividade das chuvas, pelo índice EI_{30} anual, para as estações localizadas na Mesorregião Sul Fluminense.

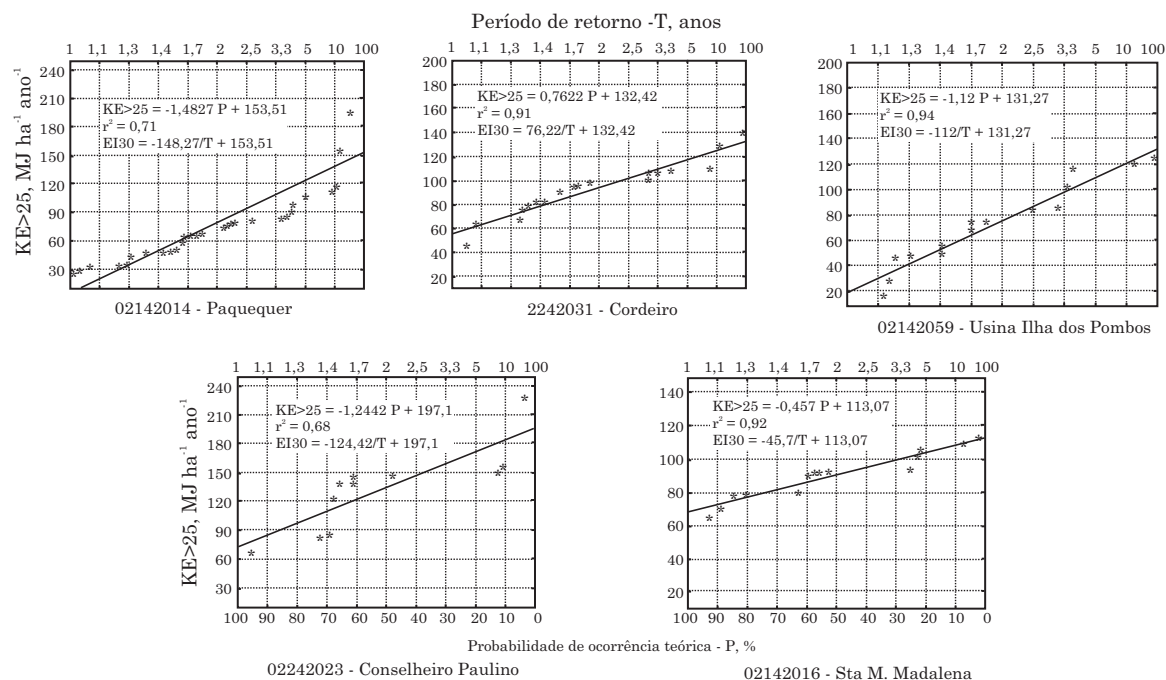


Figura 7. Distribuição da probabilidade de ocorrência (P) e do período de retorno (T) da erosividade das chuvas, medidos pelo índice $KE > 25$ anual, para estações localizadas na Mesorregião Centro Fluminense.

associada aos diferentes períodos de retorno, foi realizada, para cada período de retorno, a interpolação dos valores sobre base georreferenciada, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, com o contorno, “máscara”, do Estado, contendo a divisão das mesorregiões e municípios. Essa base, que se encontrava anteriormente no formato *shape*, foi convertida para o formato *grid* e submetida à técnica de interpolação do inverso do quadrado da distância, utilizando uma malha de 200 m e os dados de erosividade associados aos períodos de retorno estudados. Em seguida, foram elaborados os mapas com uso do programa de computação *Surfer 8.0*.

A interpolação de valores para locais não amostrados, utilizando a técnica do inverso do quadrado da distância, tem sido questionada quando comparada com técnicas de melhor precisão, como a Krigagem (Gotway et al., 1996), apresentando algumas desvantagens como a impossibilidade de geração de mapas de erros e de correlação com outras variáveis (Montebeller et al., 2007). No entanto, para aplicação da Krigagem, é necessário utilizar quantidade mínima de dados (pontos) para que a dependência espacial, caso exista, possa ser expressa. Quando não existe dependência espacial não se justifica a adoção da interpolação por Krigagem. Montebeller (2005) não encontrou dependência espacial ao trabalhar com índices de erosividade (EI_{30} e $KE > 25$ anuais médios) das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro, referentes a 36 estações pluviográficas, muitas em comum com este trabalho. Esse autor conseguiu ajustar semivariogramas quando passou a utilizar informações provenientes de 88 estações, incluindo dados pluviométricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov, verificou-se que todas as estações avaliadas apresentaram ajuste à distribuição Log-Normal, sendo essa adequada para a natureza dos dados. Em relação ao uso de equações com base na precipitação média mensal (p) e no coeficiente de chuva (R_c), essa última evidenciou-se mais adequada na estimativa de 64 % dos índices EI_{30} e 71 %, dos $KE > 25$ (Quadros 2 e 3). O uso do coeficiente R_c para estimativa de EI_{30} foi também o mais indicado nos estudos de Carvalho et al. (1991), em Mococa, SP; Rufino et al. (1993), em oito regiões no Paraná; e Silva & Dias (2003), em Fortaleza, CE. No entanto, nos trabalhos de Silva et al. (1997), em Goiânia, e Peñalva Bazzano et al. (2007), em Quaraí, RS, ambos os índices (p e R_c), foram considerados satisfatórios.

Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas no Estado do Rio de Janeiro

De acordo com as séries históricas trabalhadas, os valores de EI_{30} anual médio e $KE > 25$ no Estado do Rio de Janeiro variaram de 1.927,3 e 33,8 com desvio-padrão de 472,9 e 8,1 em Farol de São Tomé (Campos); e a 15.805,8 e 171,8 com desvio-padrão de 5.980,0 $MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$ e 63,1 $MJ ha^{-1} ano^{-1}$ em Posto Garrafão, respectivamente (Quadros 2 e 3). As localidades sob influência das estações Conselheiro Paulino (Nova Friburgo) e Posto Garrafão (município de Magé), ambas na Mesorregião Centro Fluminense

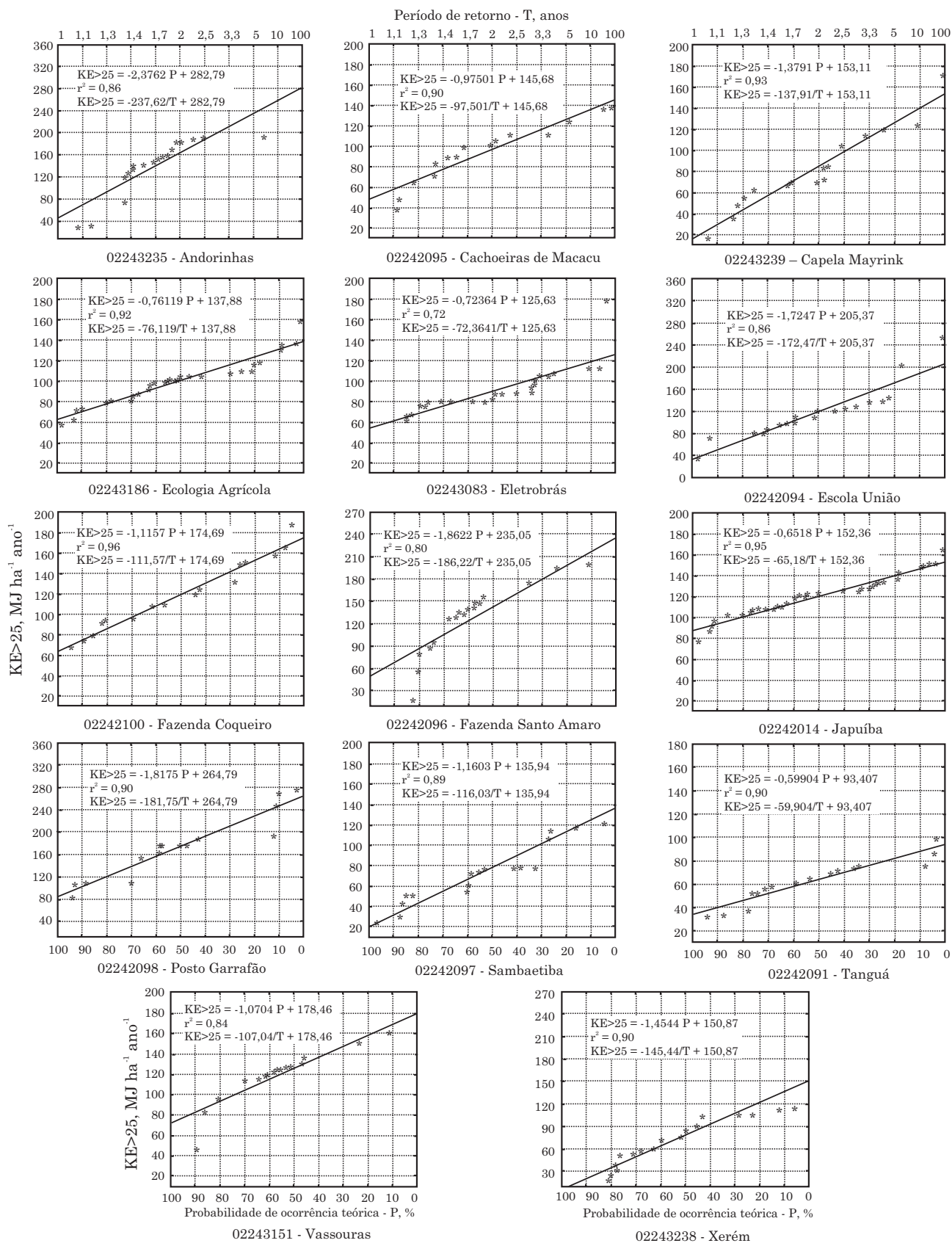


Figura 8. Distribuição da probabilidade de ocorrência (P) e do período de retorno (T) da erosividade das chuvas, medidos pelo índice KE > 25 anual, para estações localizadas na Mesorregião Metropolitana.

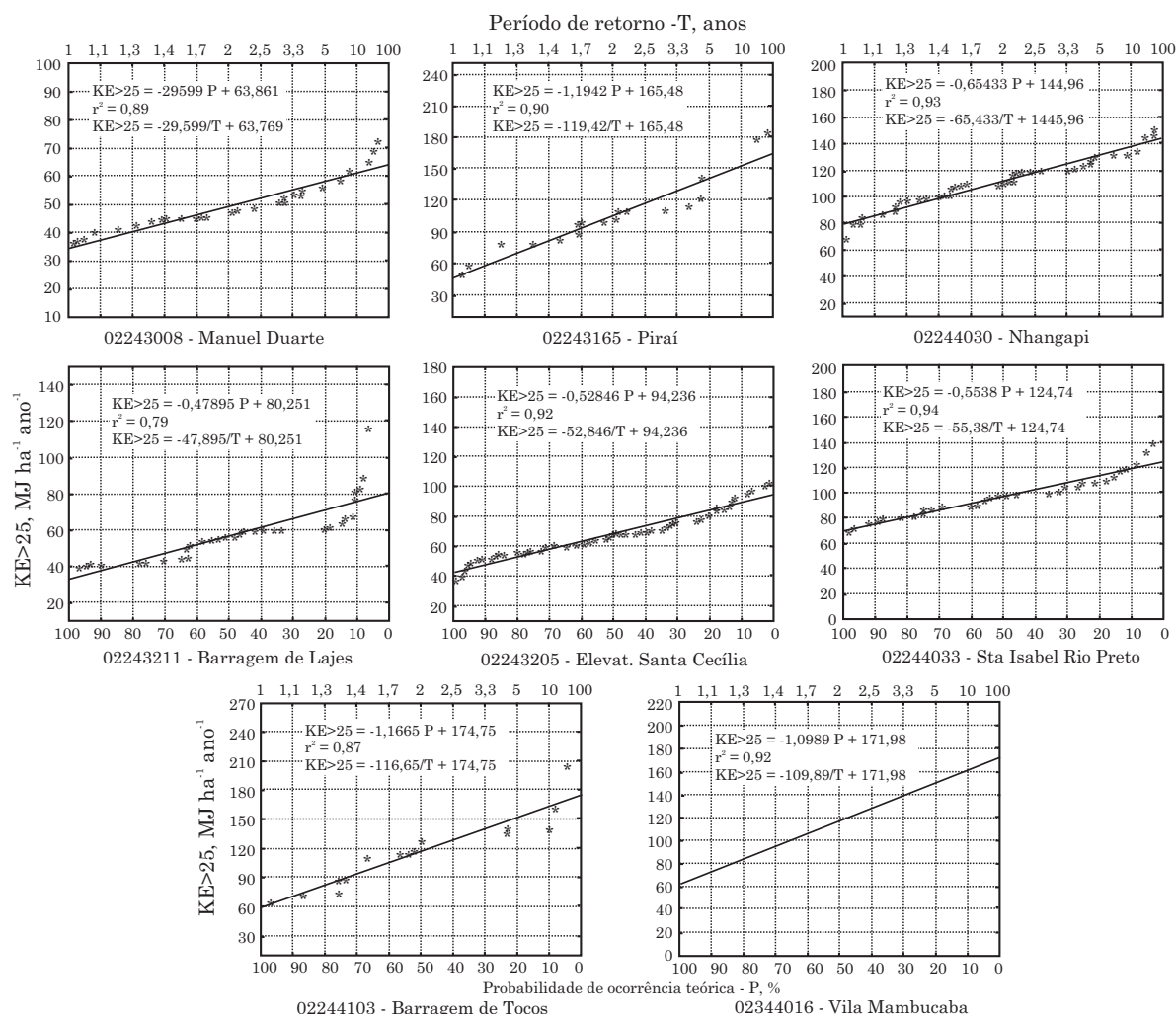


Figura 9. Distribuição da probabilidade de ocorrência (P) e do período de retorno (T) da erosividade das chuvas, medidos pelo índice KE > 25 anual, para estações localizadas no Sul Fluminense.

(base IBGE), e da estação Vila Mambucaba, no município de Angra dos Reis, possuem o maior potencial erosivo das chuvas no Estado. De acordo com trabalho de André et al. (2008), esses maiores valores estão relacionados à localização dessas estações nas regiões homogêneas 3 (região serrana; no caso de Conselheiro Paulino) e 4 (encosta da serra do Mar e região Sul Fluminense), onde a precipitação pluvial média anual varia de 1.203,03 a 2.002,03 mm, podendo, consequentemente, apresentar maior energia erosiva total.

No quadro 2, observa-se que a probabilidade de ocorrência teórica (Pr) e o período de retorno T da erosividade média (EI₃₀) apresentaram valores próximos entre as estações estudadas, variando de 48,5 a 54,9 % e de 1,8 a 2,1 anos, respectivamente. Utilizando a estação de Rio Mole como exemplo, pode-se afirmar que o valor de erosividade anual médio de 7.365,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ dessa localidade pode ser igualado ou ultrapassado pelo menos uma vez, em média, a cada 1,9 ano, com 52,9 % de probabilidade.

Os valores de probabilidade de ocorrência do EI₃₀ para as diferentes localidades do Rio de Janeiro foram um pouco mais elevados que os encontrados na literatura, enquanto os de período de retorno apresentaram-se ligeiramente menores que os encontrados em outras regiões do país, como nos trabalhos realizados por Carvalho et al. (1989), para Mococa, SP (Pr = 42 % e T = 2,4 anos); Moreti et al. (2003a), em São Manuel, SP (Pr = 42,9 % e T = 2,3 anos); Mazurana et al. (2009), para Santa Rosa, RS (Pr = 43,3 % e T = 2,3 anos); Hickmann et al. (2008), para Uruguaiana, RS (Pr = 48 % e T = 2,0 anos); e Evangelista et al. (2006), para Lavras, MG (Pr = 34 % e T = 2,9 anos). Martins et al. (2010) encontraram para a região de tabuleiros costeiros do Espírito Santo Pr de 29,78 % e T de 3,4 anos.

Para a erosividade anual média medida pelo índice KE > 25, os resultados variaram de 48,8 a 54,4 % e 1,8 a 2,1 anos para Pr e T, respectivamente, semelhante ao observado para o índice EI₃₀. Da mesma forma, esses valores foram relativamente menores que

Quadro 2. Valores anuais médios, probabilidade de ocorrência e período de retorno da erosividade das chuvas (EI₃₀) e estatísticas simples para diferentes localidades no Estado do Rio de Janeiro

Estação	EI ₃₀ (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)						TEI ₃₀ anual médio	PrEI ₃₀ anual médio
	Tipo Eq.	Anual médio (fator R)	Mín.	Máx.	DP	CV (%)		
Mesorregião Baixadas Litorâneas								
Rio Mole	Rc	7.365,1	3.238,2	10.499,4	1.896,5	25,7	1,9	52,9
Média	-	7.365,1	-	-	-	-	-	-
Mesorregião Centro Fluminense								
Paquequer	Rc	4.637,2	1.369,1	10.759,2	2.365,1	51,0	2,0	51,0
Cordeiro	Rc	7.847,5	4.010,0	10.898,3	1.614,7	20,6	1,9	52,6
Usina Ilha dos Pombos	⁽¹⁾	5.652,7	1.918,0	9.511,0	2.557,2	45,2	1,9	51,8
Conselheiro Paulino	Rc	9.100,5	4.390,7	15.811,1	3.121,0	34,3	1,9	51,7
Sta M. Madalena	Rc	6.017,4	4.324,4	7.809,0	997,3	16,6	2,0	51,1
Média	-	6.651,1	-	-	-	-	-	-
Mesorregião Metropolitana								
Andorinhas	⁽¹⁾	13.653,5	2.194,7	2.8768,0	5.980,0	43,8	1,9	53,4
Cach. de Macacu	⁽¹⁾	7.962,0	3.480,0	12.975,0	2.507,2	31,5	1,9	52,9
Capela Mayrink	⁽¹⁾	9.331,6	2.915,0	1.9180,0	3.605,3	38,6	1,9	51,6
Ecologia Agrícola	p	5.960,4	3.350,6	9.792,9	1.278,3	21,4	2,0	50,8
Eletrobrás	Rc	5.988,6	3.818,8	11.993,9	1.627,2	27,2	2,0	48,8
Escola União	⁽¹⁾	10.077,9	2.485,0	25.903,0	4.773,1	47,4	2,0	50,9
Fazenda Coqueiro	⁽¹⁾	10.605,9	5.901,2	18.701,8	3.398,5	32,0	2,0	50,8
Fazenda Sto Amaro	⁽¹⁾	13.106,0	1.418,5	19.491,4	4.090,1	31,2	1,8	54,9
Japuiba	p	9.452,4	6.097,0	12.915,4	1.530,8	16,2	2,0	50,7
Posto Garrafão	⁽¹⁾	15.805,8	8.382,0	25.829,0	5.387,0	34,1	2,0	50,0
Sambaetiba	⁽¹⁾	6.201,7	3.207,0	13.817,9	2.578,4	41,6	2,0	49,2
Tanguá	⁽¹⁾	5.292,5	2.994,0	8.492,0	1.577,5	29,8	2,0	50,7
Vassouras	Rc	7.179,3	2.713,2	9.878,4	1.599,5	22,3	1,9	54,0
Xerém	*	6.719,4	1.890,9	19.285,0	4.318,6	64,3	2,0	50,2
Média	-	9.095,5	-	-	-	-	-	-
Mesorregião Norte Fluminense								
Farol de São Tomé	p	1.927,3	1.302,8	3.154,9	472,9	24,5	2,0	49,7
Quiçamã	Rc	6.257,3	3.549,9	12.393,5	1.703,1	27,2	2,0	49,3
Média	-	4.092,3	-	-	-	-	-	-
Mesorregião Sul Fluminense								
Manuel Duarte	p	5.128,3	3.697,9	7.258,3	936,1	18,3	2,0	49,1
Piraí	Rc	5.879,9	2.769,8	10.143,9	1.937,7	33,0	2,0	50,4
Nhangapi	Rc	9.063,3	5.172,2	14.519,3	1.803,6	19,9	2,0	49,4
Barragem de Lajes	p	4.882,0	3.334,1	7.681,1	1.072,6	22,0	2,1	48,5
Elevat. Santa Cecília	p	5.417,8	2.983,2	9.519,0	1.256,0	23,2	2,0	49,8
Sta. Isa. Rio Preto	p	7.613,4	5.458,7	10.949,6	1.349,0	17,7	2,0	49,7
Barragem de Tocos	⁽¹⁾	9.030,5	4.204,0	17.629,0	3.426,3	37,9	2,0	50,1
Vila Mambucaba	Rc	12.800,9	7.001,0	20.266,7	3.520,0	27,5	2,0	50,0
Média	-	7.477,0	-	-	-	-	-	-
Mínimo	-	1.927,3	1.302,8	3.154,9	472,9	16,2	1,8	48,5
Máximo	-	15.805,8	8.382,0	28.768,0	59,80	64,3	2,1	54,9
Médio	-	7.865,3	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ Dados pluviográficos; p= precipitação mensal média; e Rc= coeficiente de chuva (Rc).

Quadro 3. Valores anuais médios, período de retorno (T, anos) e probabilidade de ocorrência (P, %) da erosividade das chuvas (KE > 25) e estatísticas simples para diferentes localidades no Estado do Rio de Janeiro

Estação	KE > 25 (MJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)					CV (%)	T	P
	Tipo Eq.	Médio	Mín.	Máx.	DP		KE>25 anual	médio
Mesorregião Baixadas Litorâneas								
Rio Mole	Rc	84,0	37,0	119,0	21,8	25,9	1,9	52,9
Média	-	84,0	-	-	-	-	-	-
Mesorregião Centro Fluminense								
Paquequer	Rc	80,2	26,3	258,9	50,2	62,6	2,0	49,4
Cordeiro	p	92,9	46,0	139,0	22,3	24,0	1,9	51,9
Usina Ilha dos Pombos	⁽¹⁾	72,4	16,3	124,2	33,1	45,6	1,9	52,5
Conselheiro Paulino	Rc	132,8	66,4	228,2	44,5	33,5	1,9	51,7
Sta M. Madalena	Rc	89,7	64,0	113,0	14,4	16,1	2,0	51,2
Média	-	93,6	-	-	-	-	-	-
Mesorregião Metropolitana								
Andorinhas	⁽¹⁾	153,9	29,4	296,3	63,1	41,0	1,8	54,2
Cachoeiras de Macacu	⁽¹⁾	94,2	39,0	138,0	29,5	31,3	1,9	52,8
Capela Mayrink	⁽¹⁾	81,0	15,8	171,3	38,6	47,6	1,9	52,3
Eletrobrás	Rc	90,3	58,0	176,8	23,4	25,9	2,1	48,8
Ecologia Agrícola	Rc	99,2	57,0	158,0	22,3	22,4	2,0	50,8
Escola União	⁽¹⁾	117,5	33,9	253,9	48,4	41,2	2,0	51,0
Fazenda Coqueiro	⁽¹⁾	118,5	67,8	186,9	35,4	29,9	2,0	50,4
Fazenda Sto Amaro	⁽¹⁾	133,8	16,0	206,0	49,6	37,1	1,8	54,4
Japuiba	p	119,3	77,0	164,0	19,6	16,4	2,0	50,7
Posto Garrafão	⁽¹⁾	171,8	83,0	276,0	56,5	32,9	2,0	51,1
Sambaetiba	⁽¹⁾	62,2	32,4	98,4	18,6	29,8	1,9	52,1
Tanguá	⁽¹⁾	120,7	46,0	167,0	27,2	22,5	1,9	53,9
Vassouras	Rc	73,9	8,0	184,0	42,6	57,6	1,9	52,9
Xerém	⁽¹⁾	153,9	29,4	296,3	63,1	41,0	1,8	54,2
Média	-	113,6	-	-	-	-	-	-
Mesorregião Norte Fluminense								
Farol de São Tomé	p	33,8	23,0	55,0	8,1	24,0	2,0	49,5
Quiçamã	Rc	94,3	53,9	200,6	28,1	29,7	2,0	49,0
Média	-	64,0	-	-	-	-	-	-
Mesorregião Sul Fluminense								
Manuel Duarte	p	49,4	36,0	72,0	9,1	18,4	2,1	48,9
Piraí	Rc	105,4	50,0	184,0	35,1	33,3	2,0	50,3
Nhangapi	p	111,7	67,4	165,6	19,0	17,0	2,0	50,8
Barragem de Lajes	Rc	69,0	46,0	130,0	16,5	24,0	2,1	48,9
Elevat. Santa Cecília	Rc	67,9	37,0	120,0	15,9	23,5	2,0	49,8
Sta. Is. Rio Preto	p	97,2	69,0	138,0	17,2	17,7	2,0	49,7
Barragem de Tocos	⁽¹⁾	115,8	63,4	204,9	37,7	32,5	2,0	50,6
Vila Mambucaba	Rc	117,0	61,0	190,0	33,6	28,7	2,0	50,0
Média	-	91,7	-	-	-	-	-	-
Mín.	-	33,8	8,0	55,0	8,1	16,1	1,8	48,8
Máx.	-	171,8	83	296,3	63,1	62,6	2,1	54,4
Médio	-	100,1	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ Dados pluviográficos; p= precipitação mensal média; e Rc= coeficiente de chuva (Rc).

os obtidos por Carvalho et al. (1991) para a região de Mococa, SP, que apresentou Pr de 44 % e T de 2,3 anos, para o KE > 25 médio anual (Quadros 2 e 3).

No quadro 4, são apresentados os índices de erosividade das chuvas associados aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. Como podem ser observados, os valores de índices de erosividade esperados aumentaram em razão dos períodos de retorno. No entanto, de 50 para 100 anos, esse aumento foi relativamente pequeno, tanto para EI₃₀ quanto para o índice KE > 25.

Para o período de retorno de dois anos, os valores de erosividade anual variaram de 1.923 a 15.807 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ para o índice EI₃₀ e de 34 a 174 MJ ha⁻¹ ano⁻¹ para o índice KE > 25 para as estações Farol de São Tomé e Posto Garrafão, respectivamente. Esses resultados foram semelhantes aos observados para a distribuição dos índices anuais médios de EI₃₀ e KE > 25 nessas mesmas estações, em razão de a probabilidade de ocorrência desses índices serem coincidentemente de dois anos (Quadros 2 e 3).

No quadro 5, são apresentados os valores de EI₃₀ associados aos períodos de retorno, obtidos por

diferentes autores e localidades. Dentre as estações estudadas, Rio Mole, Cordeiro, Cachoeiras de Macacu, Vassouras e Santa Isabel do Rio Preto no Estado do Rio de Janeiro foram as que apresentaram resultados mais próximos a esses (Quadro 4). A variação do EI₃₀ entre as localidades para os diferentes períodos de retorno é de certa forma semelhante (Quadro 5). No entanto, o mesmo não é observado quando se compara a variação ao longo dos mesmos períodos de retorno entre as estações dos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo, apresentados no quadro 4, onde, nesse último, constatou-se maior variação da erosividade (EI₃₀).

Em relação ao KE > 25, os valores obtidos foram de 36, 41, 44, 45, 46, 46 MJ ha⁻¹ ano⁻¹, para a estação de Farol de São Tomé, e 174, 288, 247, 256, 261 e 263 MJ ha⁻¹ ano⁻¹, para a estação Posto Garrafão, para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente. Carvalho et al. (1991), realizando semelhante estudo para Mococa - SP, encontraram valores de KE > 25 de 136, 167, 187, 207 e 251 MJ ha⁻¹ ano⁻¹ para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 100 anos, respectivamente. Os valores encontrados por esses autores ficaram próximos para algumas

Quadro 4. Índices anuais médios de erosividade, EI₃₀ e KE > 25 e associados a períodos de retorno (anos) para diferentes localidades no Estado do Rio de Janeiro

Estação	Ano						Anual médio	Ano						Anual médio
	2	5	10	20	50	100		2	5	10	20	50	100	
EI ₃₀ (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)														
Mesorregião Baixadas Litorâneas														
Rio Mole	7.562	9.604	10.284	10.625	10.829	10.897	7.365,1	86	110	117	121	124	124	84,0
Mesorregião Centro Fluminense														
Paquequer	4.714	7.015	7.782	8.166	8.396	8.472	4.637,2	79	124	139	146	151	152	80,2
Cordeiro	7.996	9.731	10.310	10.599	10.772	10.830	7.847,5	94	117	125	129	131	132	92,9
Usina Ilha dos Pombos	5.795	8.142	8.924	9.315	9.550	9.628	5.652,7	75	109	120	126	129	130	72,4
Conselheiro Paulino	9.250	11.903	12.788	13.230	13.495	13.584	9.100,5	135	172	185	191	195	196	132,8
Sta M. Madalena	6.052	6.995	7.309	7.466	7.561	7.592	6.017,4	90	104	109	111	112	113	89,7
Mesorregião Metropolitana														
Andorinhas	14.408	21.040	23.250	24.356	25.019	25.240	13.653,5	164	235	259	271	278	280	153,9
Cachoeiras de Macacu	8.212	10.840	11.716	12.154	12.417	12.504	7.962,0	97	126	136	141	144	145	94,2
Capela Mayrink	9.551	13.591	14.938	15.612	16.016	16.150	9.331,6	146	150	152	152	153	153	81,0
Eletrobrás	5.928	7.427	7.927	8.177	8.327	8.377	5.960,4	89	111	118	122	124	125	99,2
Ecologia Agrícola	5.995	7.262	7.684	7.895	8.022	8.064	5.988,6	100	123	130	134	136	137	90,3
Escola União	10.232	15.475	17.222	18.096	18.620	18.795	10.077,9	119	171	188	197	202	204	117,5
Fazenda Coqueiro	10.691	13.789	14.821	15.338	15.647	15.751	10.605,9	119	145	154	158	161	162	118,5
Fazenda Sto Amaro	13.934	18.952	20.624	21.461	21.962	22.130	13.106,0	142	198	216	226	231	233	133,8
Japuiba	9.490	11.022	11.533	11.789	11.942	11.993	9.452,4	120	139	146	149	151	152	119,3
Posto Garrafão	15.807	21.055	22.804	23.678	24.203	24.378	15.805,8	174	228	247	256	261	263	171,8
Sambaetiba	6.142	8.426	9.187	9.567	9.796	9.872	6.201,7	78	113	124	130	134	135	62,2
Tanguá	5.329	6.843	7.347	7.599	7.751	7.801	5.292,5	63	81	87	90	92	93	120,7
Vassouras	7.430	9.326	9.958	10.274	10.464	10.527	7.179,3	125	157	168	173	176	177	73,9
Xerém	6.748	10.625	11.918	12.564	12.952	13.081	6.719,4	78	120	134	141	145	146	153,9
Mesorregião Norte Fluminense														
Farol de S. Tomé	1.923	2.372	2.521	2.596	2.641	2.656	1.927,3	34	41	44	45	46	46	33,8
Quicamã	6.216	7.980	8.569	8.863	9.039	9.098	6.257,3	93	121	130	135	138	139	94,3

Quadro 5. Índice anual médio de erosividade (EI_{30}) para diferentes localidades e períodos de retorno

Localidade	T (ano)						EI_{30} anual médio
	2	5	10	20	50	100	
	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹						
Mococa - SP ⁽¹⁾	7.355	9.151	-	11.455	-	14.062	7.747
Piraju - SP ⁽²⁾	6.696	8.730	10.076	11.367	13.039	14.292	7.074
Teodoro Sampaio - SP ⁽³⁾	6.831	8.666	9.877	11.046	12.546	13.675	7.172
São Manuel - SP ⁽⁴⁾	7.216	8.675	9.641	10.568	11.768	12.667	7.487
Pedrinhas Paulista - SP ⁽⁵⁾	7.404	8.833	9.779	10.686	11.860	12.740	7.670
Lavras - MG ⁽⁶⁾	5.400	7.000	8.000	8.800	9.900	10.500	5.403
Cuiabá - MT ⁽⁷⁾	8.442	10.426	11.739	12.999	14.630	15.852	8810

⁽¹⁾ Carvalho et al. (1989); ⁽²⁾ Roque et al. (2001); ⁽³⁾ Colodro et al. (2002); ⁽⁴⁾ Moreti et al. (2003a); ⁽⁵⁾ Moreti et al. (2003b); ⁽⁶⁾ Evangelista et al. (2006); e ⁽⁷⁾ Almeida et al. (2011).

localidades da mesorregião metropolitana, com exceção para o período de retorno de 100 anos.

Distribuição espacial da erosividade associada aos diferentes períodos de retorno

Conforme se observa nos mapas (Figuras 10 e 11), independentemente do período de retorno, os locais que apresentaram maiores valores de erosividade estão localizados na mesorregião Metropolitana e em partes da Sul e Centro Fluminense, com valores de EI_{30} acima de 9.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, para o período de retorno de dois anos (Figura 10a).

Analisando o período de retorno de dois anos, que é o tempo em que a erosividade anual média ou fator R da USLE pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez em média, a maior parte do Estado do Rio de Janeiro apresentou-se na faixa de erosividade de 7.000 a 9.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Excetuou-se dessa faixa de erosividade a mesorregião Norte Fluminense quase por inteira e partes das mesorregiões Metropolitana e Sul Fluminense, sendo, a primeira, onde ocorrem as áreas com menor índice de erosividade (partes dos municípios de Campos e São João da Barra, conforme divisão de municípios do IBGE) e, o contrário, nas outras duas. Apesar da diferença entre os métodos de mapeamento, a erosividade das chuvas associadas ao período de retorno de dois anos apresenta razoável semelhança aos resultados do estudo de espacialização da erosividade anual média no Estado do Rio de Janeiro, realizado por Montebeller et al. (2007). Assim como neste trabalho, esses autores já haviam constatado que a erosividade diminui da mesorregião Sul Fluminense (identificada como Baía de Ilha Grande), para o sentido Norte Fluminense.

Esses menores valores de erosividade corroboram com trabalho de André et al. (2008), os quais classificaram essa região climaticamente homogênea como a de menor precipitação total anual no Estado. Segundo os autores, a explicação para isso é que, tanto a região norte quanto a noroeste estão situadas em grande baixada a sotavento da serra do Mar, o que

contribui para a compressão na baixa troposfera em razão das entradas de escoamento de sudoeste, sendo os principais mecanismos de geração de nuvens nessas regiões.

Ainda no período de retorno de dois anos (Figura 10b), verificou-se que a classe de erosividade de 9.000 a 11.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ de forma geral é esperada na parte central da mesorregião Metropolitana, acompanhando a divisa com a mesorregião Centro-fluminense. Essa última chega a abranger parte dos municípios de Paraíba do Sul, Areal (quase todo), Três Rios, Sumidouro, Nova Friburgo, pequena porção do município de Silva Jardim (Baixadas Litorâneas), próxima aos limites de Nova Friburgo e Cachoeiras de Macacu. Essa mesma classe de erosividade ocorre também em Angra dos Reis, na mesorregião Sul-Fluminense. O comportamento de distribuição espacial dessa amplitude de erosividade está coerente com a classificação das regiões climatologicamente homogêneas 3 e 4 do estudo de André et al. (2008), os quais afirmaram ser locais onde ocorrem precipitações elevadas em razão da conformação do relevo e da maior umidade do ar vinda do oceano sentido sudoeste.

Em relação à distribuição espacial dos locais de maior erosividade no Estado, cor mais escura nos mapas, ocorre em parte nos municípios de Magé e Guapimirim, bem como na região próxima à divisa com Petrópolis e Teresópolis. Incide também em área relativamente pequena no município de Cachoeiras de Macacu e divisa com Nova Friburgo nas mesorregiões Metropolitana e Centro Fluminense, assim como em porção dos municípios de Parati na região Sul Fluminense. Isso está relacionado à proximidade de regiões de altas taxas de precipitação pluviométrica, resultante de fatores orográficos apontados por André et al. (2008), principalmente no caso de parte da área do município de Cachoeiras de Macacu, coincidindo com a região homogênea um (1) dos autores, considerada a de mais alta precipitação no Estado. Em complemento, Mello et al. (2007)

destacam a influência da zona de convergência do Atlântico Sul, de ocorrência comum no Sudeste brasileiro, combinada com sistemas atmosféricos ciclônicos, que intensificam os efeitos orográficos e de convecção atmosférica, sendo, esse último, gerado por maiores temperaturas médias.

De modo geral, a maior variação da distribuição da erosividade nos mapas tende a ocorrer no período de retorno de dois para cinco anos, evidenciado pelo aumento do número de classes de erosividade, em detrimento ao aumento ou redução de área de cada classe. No período de retorno de cinco anos, observou-se, na figura 10b, que as áreas referentes aos maiores valores de erosividade pouco se alteraram no mapa. No entanto, surgiram novas classes de erosividade com valores intermediários.

Analisando a erosividade anual média associada aos períodos de retorno de cinco anos em diante, constatou-se que o aumento do número de classes é pequeno, bem

como a área de cada classe. Dessa forma, a variação da erosividade está mais relacionada ao aumento do período de retorno que da distribuição espacial.

Em relação ao índice $KE > 25$, verificou-se, de modo geral, que o comportamento da erosividade associado aos períodos de retorno seguiu a mesma tendência ao observado para o índice EI_{30} (Figura 10). Levando em conta que o índice $KE > 25$ considera apenas os segmentos das chuvas com intensidade igual ou superior a 25 mm h^{-1} , é de se esperar que, nos locais de maior erosividade anual média, ocorra maior percentual de precipitações mais intensas e com maior potencial erosivo.

Os mapas (Figuras 10 e 11) aqui apresentados têm por objetivo oferecer visão geral do comportamento da erosividade das chuvas, associada aos diferentes períodos de retorno no Estado. Para informações mais precisas será necessário, em estudos futuros, introduzir mais estações, principalmente nas mesorregiões Norte

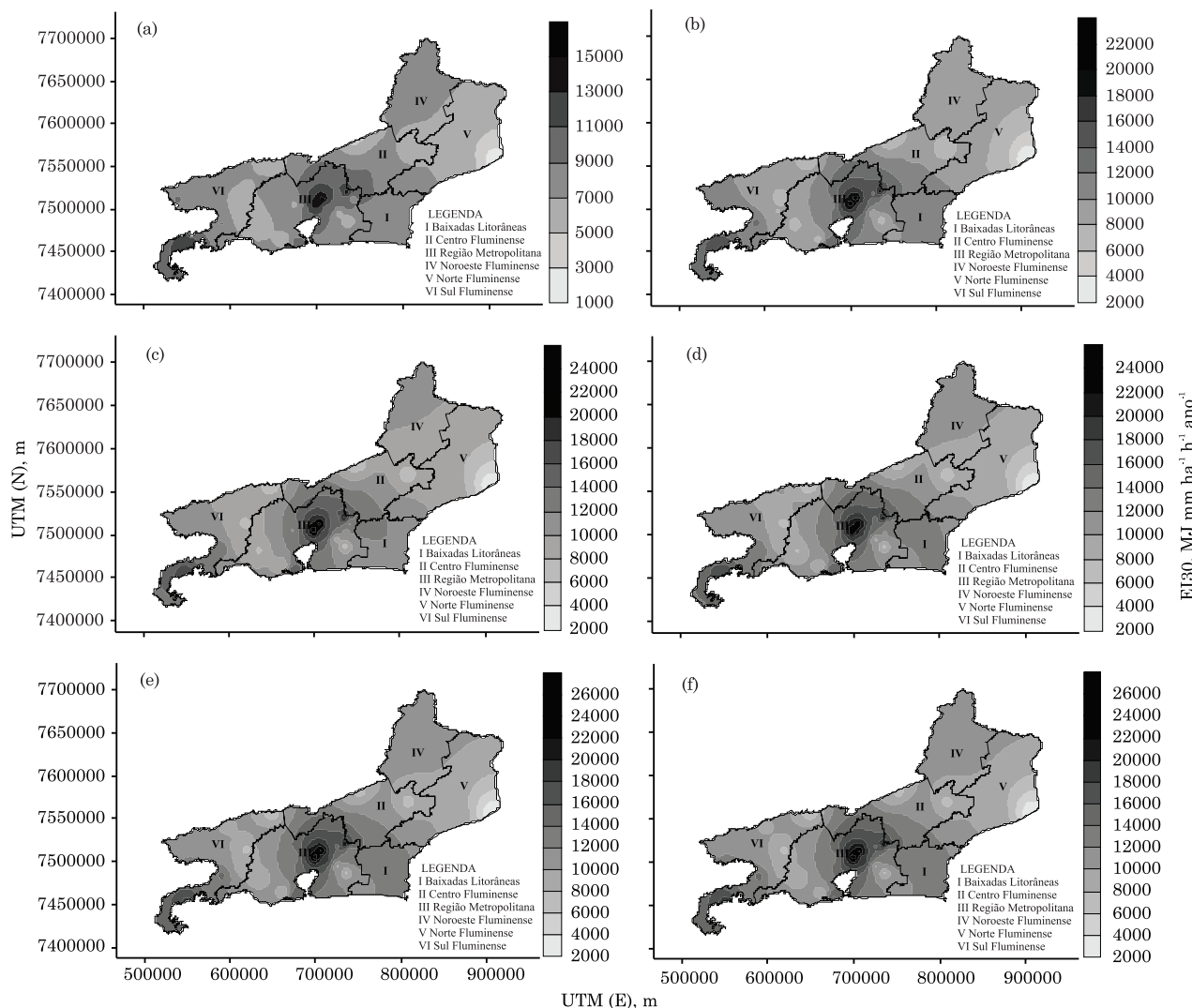


Figura 10. Mapas de iso-ocorrência da erosividade das chuvas (EI_{30}) associada aos períodos de retorno 2 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 50 (e) e 100 (f) anos.

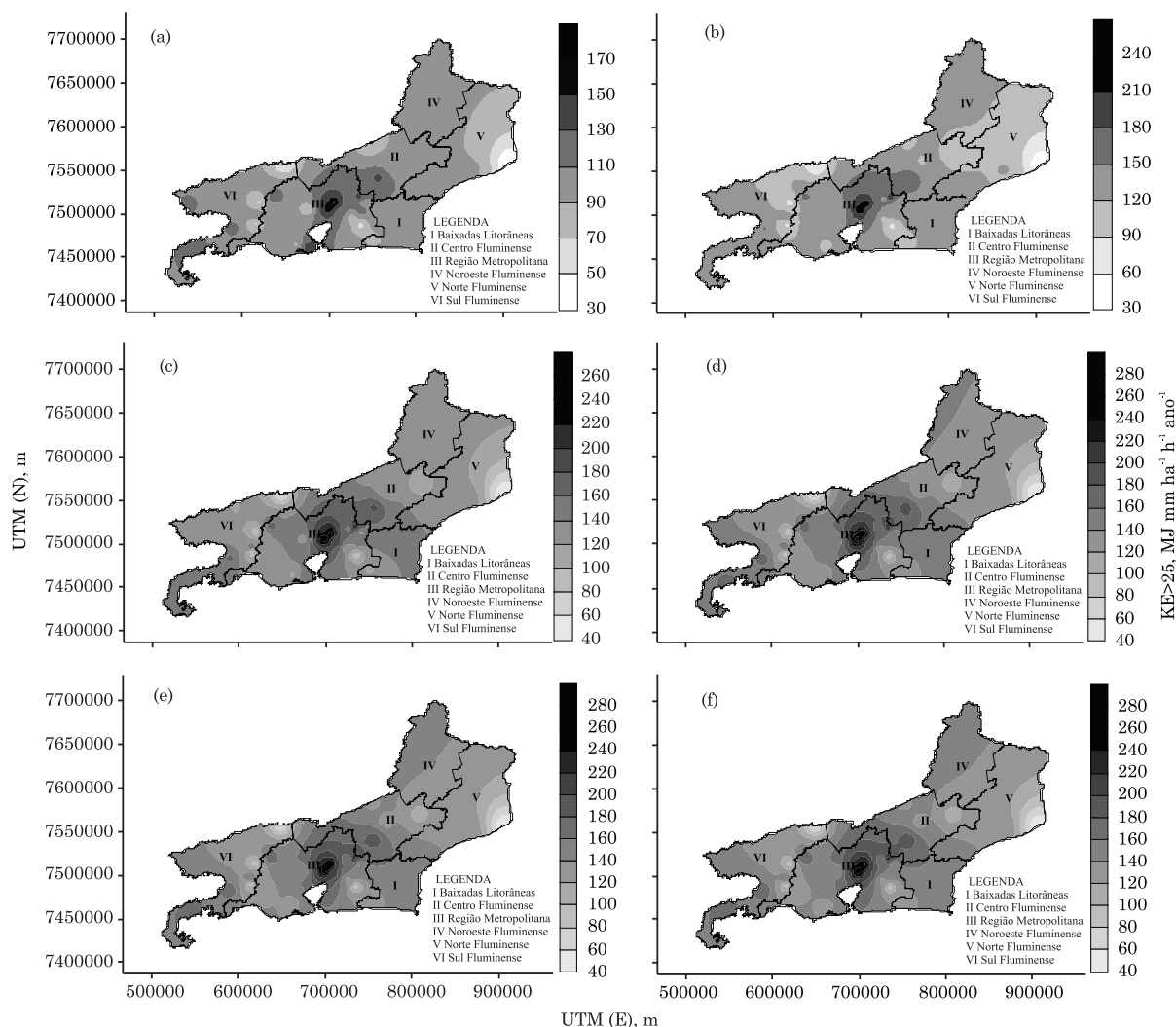


Figura 11. Mapas de iso-ocorrência da erosividade das chuvas ($KE > 25$) associada aos períodos de retorno de: 2 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 50 (e) e 100 (f) anos.

e Noroeste, além de utilizarem-se técnicas que levem em conta a dependência espacial, como os métodos geoestatísticos (krigagem).

CONCLUSÕES

1. A erosividade anual média (EI_{30}) ou fator R da USLE para qualquer localidade no Estado do Rio de Janeiro pode ser igualada ou superada pelo menos uma vez, em média, em um período de 1,8 a 2,1 anos, com faixa de 48,5 a 54,9 % de probabilidade de ocorrência teórica.

2. As condições do estudo realizado fizeram com que fosse possível identificar de oito a 12 regiões homogêneas quanto à distribuição espacial da erosividade, associada aos períodos de retorno de dois para 100 anos no Estado do Rio de Janeiro.

3. A maior variação espacial (número de classes e área de cada classe) da erosividade ocorre para períodos

de retorno de dois para cinco anos e para maiores valores de período de retorno, a variação está mais associada à magnitude das classes de erosividade. Há tendência de menor variação espacial (área) da erosividade nas partes mais planas do Estado, acompanhando menores valores de erosividade como ocorre nas Mesorregiões Norte, Noroeste e Baixadas Litorâneas.

4. Os índices de erosividade EI_{30} e $KE > 25$ apresentaram comportamento semelhante quanto à distribuição espacial da erosividade no Estado.

AGRADECIMENTOS

Às entidades ANA, INMET, LIGHT, DNOS, SERLA (atual INEA), pela disponibilidade dos dados pluviográficos; e ANA/Hidroweb, pelos dados pluviométricos. Ao professor Joseph Kalil Khoury Júnior (UFV), pela ajuda no uso do *software* MatLab.

Ao prof. Adão Evangelista (UFG), pelo auxílio em Distribuição de Probabilidade Log-Normal. Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar este trabalho por meio da tese. À CAPES, pelo indispensável auxílio financeiro (bolsa), durante os dois primeiros anos do Curso de doutorado.

LITERATURA CITADA

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Inventário das estações pluviométricas. 2.ed. Brasília, ANA/SGRH, 2009. 495p.
- ALMEIDA, C.O.S.; AMORIM, R.S.S.; COUTO, E.G.; ELTZ, F.L.F. & BORGES, L.E.C. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá-MT: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 15:178-184, 2011.
- ANDRÉ, R.G.B.; MARQUES, V.S.; PINHEIRO, F.M.A. & FERRAUDO, A.S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Rio de Janeiro utilizando-se valores mensais. R. Bras. Meteorol., 23:501-509, 2008.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 2.ed. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.
- CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI value. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. (Não publicado)
- CARVALHO, D.F.; MACHADO, R.L.; EVANGELISTA, A.W.P.; KHOURY JÚNIOR, J.K.; SILVA, L.D.B. Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno dos índices de erosividade EI_{30} e $KE > 25$ em Seropédica - RJ. Eng. Agríc., 30:245-252, 2010.
- CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R. & BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo-RJ. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 9:7-14, 2005.
- 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 dos solos. R. Bras. Ci. Solo, 13:237-242, 1989.
- CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J. & CATANEO, A. Correlação entre o índice de erosividade EI_{30} médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Mococa-SP. Científica, 19:1-7, 1991.
- 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 em São Borja, RS. R. Bras. Ci. Solo, 32:1239-1251, 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). R. Bras. Ci. Solo, 26:809-818, 2002.
- DIAS, A.S. & SILVA, J.R.C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I - Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1ª aproximação. R. Bras. Ci. Solo, 27:335-345, 2003.
- DULEY, F.L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 4:60-64, 1939.
- ELLISON, W.D. Soil erosion studies - part II: Soil detachment hazard by raindrop splash. Agric. Eng., 28:197-201, 1947.
- EVANGELISTA, A.W.P.; CARVALHO, L.G.; DANTAS, A.A.A.D. & BERNARDINO, D.T. Potencial erosivo das chuvas em Lavras, MG: Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno. Irriga, 11:1-11, 2006.
- FOURNIER, F. The effect climatics on soil erosion estimates for solids transported in suspension in runoff. [S.L.], Association Hydrologig Int. Public., 1956. v.38. 6p.
- GONÇALVES, F.A. Erosividade das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 90p. (Dissertação de Mestrado)
- GONÇALVES, F.A.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; CARVALHO, D.F. & CRUZ, E. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 10:269-276, 2006.
- GOTWAY, C.A.; FERGUSON, R.B.; HERGERT, G.W. & PETERSON, T.A. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. Soil Sci. Soc. Am. J., 60:1237-1247, 1996.
- HICKMANN, C.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. & COGO, C.M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinadas pelo índice EI_{30} , com base no período de 1963 a 1991. R. Bras. Ci. Solo, 32:825-831, 2008.
- HUDSON, N.W. Soil conservation. 3.ed. Ithaca, Cornell University Press, 1995. 324p.
- HUDSON, N.W. Soil Conservation. Ithaca, Cornell University Press, 1973. 320p.
- LAL, R. Soil erosion on alfisols in western Nigeria. III. Effects of rainfall characteristics. Geoderma, 16:389-401, 1976.
- LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1977. 53p. (Dissertação de Mestrado)
- MARQUES, J.J.G.S.M.; ALVARENGA, R.C.; CURTI, 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.
- MARTINS, S.G.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; NORTON, L.D. & FONSECA, S. Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed of Aracruz, in the coastal plain of Espírito Santo, Brazil. R. Bras. Ci. Solo, 34:999-1004, 2010.
- MAZURANA, J.; CASSOL, E.A.; SANTOS, L.C.; ELTZ, F.L.F. & BUENO, A.C. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). R. Bras. Eng. Agric. Amb., 13:975-983, 2009.

- MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C.; CURI, N.; MELLO, J.M.; VIOLA, M.R. & SILVA, A.M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:537-545, 2007.
- MONTEBELLER, C.A. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005. 103p. (Dissertação de Mestrado)
- MONTEBELLER, C.A.; CEDDIA, M.B.; CARVALHO, D.F.; VIEIRA, S.R. & FRANCO, E.M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. *Eng. Agríc.*, 27:426-435, 2007.
- 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). *R. Bras. Ci. Solo*, 27:713-725, 2003a.
- MORETI, D.; MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P. Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo. *Acta Sci. Agron.*, 25:137-145. 2003b.
- PEÑALVA BAZZANO, M.G.P.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). *R. Bras. Ci. Solo*, 34:235-244, 2010.
- PEÑALVA BAZZANO, M.G.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1205-1217, 2007.
- 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 da 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.
- SILVA, C.R.J. & DIAS, S.A. A erosividade das chuvas em Fortaleza, CE. II - Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:347-354, 2003.
- SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P. & CURI, N. Índices de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:977-985, 1997.
- VILLELA, S.M. & MATOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall-erosion losses, a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537)
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Am. Proc.*, 20:246-249, 1959.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Union*, 39:285-291, 1958.