



Avaliação de modelos matemáticos para estimativa da erosividade da chuva na região de São Mateus-ES

Evaluation of mathematical models to estimate rainfall erosivity in the region of São Mateus-ES

Dione Pereira Cardoso^{1*}, Fábio Ribeiro Pires², Robson Bonomo³

Resumo: Objetivou-se estimar a erosividade da chuva, mediante seis modelos matemáticos, de regressão linear avaliando entre estes, qual é mais indicado para as condições climáticas da região de São Mateus-ES. Os dados pluviométricos foram obtidos junto à Agência Nacional das Águas-ANA, sendo de 1947 a 2014 para Itauninhas, de 1971 a 2014 para Barra Nova, de 1981 a 2014 para São João da Cachoeira Grande e de 1993 a 2014 para Boca da Vala. Para estimar a erosividade da chuva, a partir da precipitação anual e do coeficiente de chuva, foram utilizadas diferentes equações utilizadas em outros estados com aplicação ao estado do Espírito Santo ou ajustadas para o próprio estado. Para os modelos matemáticos (II) e (I), os valores médios foram de 6.541,2 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ a 936,357 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (Itauninhas), de 6.995,855 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ a 1.420,296 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (Barra Nova), de 6.297,272 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ a 1.014,815 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (São João da Cachoeira Grande) e de 5.427,659 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ a 1.626,489 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (Boca da Vala). Para os municípios de Barra Nova e Boca da Vala a erosividade da chuva foi estimada pela equação $EI_{30} = 6,4492 \cdot \pi - 391,63$ com distribuição leptocúrtica. Para as outras duas localidades, a distribuição foi platicúrtica. A estação climatológica com o maior valor de erosividade média da chuva foi Barra Nova, enquanto Boca da Vala apresentou a menor erosividade, considerando apenas a estimativa da erosividade da chuva pelo modelo matemático II. Os maiores e menores valores de erosividade da chuva foram obtidos com os modelos matemáticos I e II. Para estimar a erosividade da chuva, nas condições climáticas da região de São Mateus-ES, o modelo matemático mais adequado é o II.

Palavras-chave: Precipitação anual, coeficiente da chuva, erosão hídrica, modelagem

Abstract: This study aimed to estimate the rainfall erosivity by six mathematical models, linear regression, and evaluate these, which is more suitable for the climatic conditions of São Mateus-ES region. The rainfall data were obtained from the National Water Agency-ANA, and 1947-2014 for Itauninhas, 1971-2014 to Barra Nova, 1981-2014 for São João da Cachoeira Grande and 1993-2014 for Boca da Vala. To estimate the rainfall erosivity, from the annual precipitation and rainfall coefficient were used different equations used in other states with application to the state of the Holy Spirit or adjusted to the state itself. For mathematical models (II) and (I), the average values were 6541.2 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ year⁻¹ to 936.357 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ year⁻¹ (Itauninhas) of 6995.855 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ to 1420.296 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ year⁻¹ (Barra nova), to 6297.272 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ year⁻¹ and 1014.815 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ (São João da Cachoeira Grande) and 5427.659 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ year⁻¹ to 1626.489 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ year⁻¹ (Boca da Vala). For the municipalities of Barra Nova and Boca da Vala the rainfall erosivity was estimated by $EI_{30} = 6.4492 \cdot \pi - 391.63$ with leptokurtic distribution. For the other two locations, the distribution was platykurtic. The climatological station with the highest amount of average rainfall erosivity was Barra Nova, while Boca da Vala had the lowest erosivity, considering only an estimated rainfall erosivity by the mathematical model II. The highest and lowest values erosivity of the rain were obtained with the mathematical models I and II. To estimate the rainfall erosivity in the climatic conditions of São Mateus-ES region, the most suitable mathematical model is II.

Key words: Annual precipitation, rain coefficient, water erosion, modeling

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 20/03/2016; aprovado em 21/07/2016

¹Doutora em Fitotecnia, Centro Universitário Norte do Espírito Santo-CEUNES (UFES), São Mateus-ES; (27) 9.9986-6293, cardoso.dione@gmail.com.

²Doutor em Fitotecnia, Centro Universitário Norte do Espírito Santo-CEUNES (UFES), pires.fr@gmail.com

³Doutor em Engenharia Agrícola, Centro Universitário Norte do Espírito Santo-CEUNES (UFES), robson.bonomo@gmail.com



INTRODUÇÃO

A erosividade da chuva (fator R) é o potencial da chuva em causar erosão, sendo este fator estimado pelo produto da energia cinética pela intensidade máxima das chuvas em 30 min consecutivos (WISCHMEIER; SMITH, 1958; WISCHMEIER; SMITH, 1978). A metodologia para estimar a erosividade das chuvas requer a utilização de registros pluviográficos (WISCHMEIER; SMITH, 1958). Em algumas estações climatológicas há apenas dados pluviométricos, por isso, para estimar a erosividade necessita-se de equações ajustadas para aquela determinada condição climática.

Atualmente, há vários trabalhos que utilizam dados de coeficiente da chuva para estimar a erosividade da chuva. Dentre eles, podem ser citados os de Colodro et al. (2002), Bazzano et al. (2007), Valvassori e Back (2014), nos municípios de Teodoro Sampaio-SP, Quaraí-RS e Urussanga-SC, respectivamente; além desses, foram estimadas para o bioma Pantanal (MACHADO et al., 2014); para a região centro-leste do estado de MG (SILVA et al., 2010); para o estado do Tocantins (VIOLA et al., 2014); parte do norte, nordeste e sudeste do Brasil (SILVA et al., 2004) e trabalhos conjuntos para todos os estados brasileiros (OLIVEIRA et al., 2012, MELLO et al., 2013). O coeficiente da chuva é o parâmetro mais utilizado para estimar erosividade da chuva, no entanto, são escassas equações ajustadas que apresentam como variável independente a precipitação anual. Como por exemplo, podem ser citados os estudos de Leprun et al. (1981) e Martins et al. (2010).

Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) desenvolveram uma equação para correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos. Segundo os mesmos esta regressão linear ajustada alterou o coeficiente de chuva-Rc que foi proposto por Fournier (1956). Embora seja ajustada para as condições climáticas de Campinas-SP, é uma equação muito utilizada para outros locais e até mesmo para outros estados. Outros autores, também utilizaram o coeficiente da chuva no ajuste matemático, como por exemplo, Silva (2004) para as condições climáticas de Juazeiro-BA, Carvalho et al. (2005) para Seropédica e Nova Friburgo, RJ. Martins et al. (2010) ajustaram uma equação para o município de Aracruz-ES, neste caso, utilizaram como variável independente, a precipitação anual.

A equação de Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) pode ser utilizada para determinação da erosividade em diversas localidades do Brasil, como para o estado do Piauí (AQUINO et al., 2006), sul (MELLO et al., 2007) e sudoeste (PAES et al., 2010) de Minas Gerais, para o município de Fortaleza-CE (SILVA; DIAS, 2003). As equações de Silva (2004), Carvalho et al. (2005) e Oliveira et al. (2009), foram ajustadas para outros estados. E a equação de Martins et al. (2010) ajustada para as condições climáticas do Espírito Santo.

Para estimativa da erosividade da chuva para o estado do Espírito Santo alguns modelos matemáticos já foram utilizados (SILVA, 2004; CARVALHO et al., 2005; OLIVEIRA et al.; 2009). Algumas dessas equações, foram utilizadas por Mello et al. (2012) para estimar os valores mensais e anuais da erosividade para o estado do Espírito Santo, assim como Mello et al. (2013), que utilizaram as equações de Martins et al. 2010 ajustada para as condições climáticas de Aracruz-ES. Entretanto, trabalhos específicos para a região de São Mateus-ES, norte do estado são escassos. Por outro lado, mesmo que com vários modelos matemáticos já utilizados para o estado do Espírito Santo, não se tem a indicação segura de qual, dentre eles, seria o mais adequado para estimar a erosividade da chuva (fator R) da Equação Universal de Perda de Solo para o norte do estado.

Diante do exposto, objetivou-se estimar a erosividade da chuva, mediante seis modelos matemáticos, de regressão linear, avaliando entre estes, qual é o mais indicado para as condições climáticas da região do município de São Mateus-ES.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados pluviométricos foram provenientes das estações climatológicas de Itauninhas, Barra Nova, São João da Cachoeira Grande e Boca da Vala pertencente ao município de São Mateus, situado ao norte do estado do Espírito Santo, os quais foram obtidos junto à Agência Nacional das Águas – ANA. As séries de dados obtidas foram de 1947 a 2014 para Itauninhas, de 1971 a 2014 para Barra Nova, de 1981 a 2014 para São João da Cachoeira Grande e de 1993 a 2014 para Boca da Vala. As descrições das estações climatológicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das Estações Climatológicas denominadas Itauninhas, Barra Nova, São João da Cachoeira Grande e Boca da Vala.

Estação - Nome	Itauninhas	Barra Nova	São João da Cachoeira Grande	Boca da Vala
Código	1840003	1839006	1840020	1840026
Nível de consistência	Consistido	Consistido	Consistido	Consistido
Sub-bacia	55	55	55	55
Estado	ES	ES	ES	ES
Município	SÃO MATEUS	SÃO MATEUS	SÃO MATEUS	SÃO MATEUS
Estação	Pluviométrica	Pluviométrica	Pluviométrica	Pluviométrica
Latitude	-18°29'22"	-18°56'60"	-18°33'53"	-18°39'31"
Longitude	-40°05'26"	-39°44'30"	-40°20'12"	-40°05'28"
Altitude (m)	90	6	100	6

Fonte: Agência Nacional das Águas-ANA (2015).

O município de São Mateus está localizado na microregião litoral região Norte do Espírito Santo-ESE possui um área territorial de 2.338,727 Km² (IBGE, 2013). O clima

na região, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, é Aw, clima tropical com estação seca de inverno (PEEL et al., 2007).

Para estimar a erosividade da chuva, a partir do coeficiente de chuva-Rc (mm) e da precipitação anual-pi (mm), foram utilizadas diferentes equações obtidas para outros estados, sendo as equações foram ajustadas para o estado de São Paulo (I), a II para o município de Aracruz-ES e as demais III (Juazeiro-BA), IV (região do Rio Doce-MG), (V e VI) para Seropédica e Nova Friburgo – RJ.

(I) $EI_{30} = 67,355 * Rc^{0,85}$ (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1980);

(II) $EI_{30} = 6,4492 * pi - 391,63$ (MARTINS et al., 2010);

(III) $EI_{30} = 42,31 * Rc + 69,76$ (SILVA, 2004);

(IV) $EI_{30} = 121,39 * Rc^{0,7982}$ (OLIVEIRA et al., 2009);

(V) $EI_{30} = 33,86 * Rc + 67,99$ (CARVALHO et al., 2005); e

(VI) $EI_{30} = 38,14 * Rc + 64,87$ (CARVALHO et al., 2005).

Em que:

EI_{30} = erosividade da chuva ou fator R ($MJ ha^{-1} mm h^{-1} ano^{-1}$);

$Rc = p^2/P$, sendo p a precipitação média mensal e P a precipitação média anual, expressas em mm; e

pi = precipitação anual (mm).

Com os dados de erosividade anual da chuva obteve-se a análise estatística descritiva de posição e dispersão. Para avaliar a aderência dos valores obtidos utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, a um nível de significância de 5%. Posteriormente, obteve-se a análise de variância e quando significativo, as médias foram comparadas entre as estações climatológicas e entre modelos matemáticos pelo teste de tukey, ao nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de 66 anos (1947 a 2014), os valores médios estimados de erosividade da chuva considerando os extremos, a partir das equações (II) e (I), foram de 6.541,2 $MJ ha^{-1} mm h^{-1} ano^{-1}$ a 936,357 $MJ ha^{-1} mm h^{-1} ano^{-1}$, respectivamente, para a estação climatológica de Itauninhas (Tabela 2). O modelo matemático (II) apresentou valores de 2.213,603 $MJ ha^{-1} mm h^{-1} ano^{-1}$ (desvio-padrão), de 272,476 $MJ ha^{-1} mm h^{-1} ano^{-1}$ (erro-padrão), de 16.572,991 $MJ ha^{-1} mm h^{-1} ano^{-1}$ (máximo) e 2.604,668 $MJ ha^{-1} mm h^{-1} ano^{-1}$ (mínimo).

Tabela 2 – Resumo da análise estatística descritiva e medidas de posição e dispersão, referentes aos valores estimados de erosividade da chuva ($MJ ha^{-1} mm h^{-1} ano^{-1}$) por diferentes modelos matemáticos.

Modelos	Total	Média	D. P.	E. P.	Máx.	Mín.	Curtose	K-Scal.	P_{K-S}
Itauninhas									
(I)	61.799,594	936,357	533,634	65,686	3.494,371	249,299	7,589	0,183	<0,001
(II)	431.721,870	6.541,240	2.213,603	272,476	16.572,991	2.604,668	6,240	0,145	0,002
(III)	100.769,440	1.526,810	539,090	66,357	4.269,001	438,201	10,146	0,203	<0,001
(IV)	106.416,689	1.612,374	840,948	103,514	5.438,476	447,695	6,109	0,182	<0,001
(V)	90.313,093	1.368,380	440,216	54,187	3.562,358	399,334	9,648	0,207	<0,001
(VI)	92.416,191	1.400,245	487,338	59,987	3.872,080	402,955	10,067	0,204	<0,001
Barra Nova									
(I)	62.493,043	1.420,296	1.106,990	166,885	7.347,749	553,114	19,101	0,217	<0,001
(II)	307.817,634	6.995,855	2.424,812	365,554	11.812,191	1.532,166	-0,280	0,127	0,074
(III)	87.363,781	1.985,540	1.347,957	203,212	9844,630	1.135,941	27,809	0,264	<0,001
(IV)	103.913,070	2.361,661	1.615,341	243,522	10.654,631	1.002,618	15,813	0,200	<0,001
(V)	76.167,181	1.731,072	1.080,576	162,903	8.024,442	1.018,535	27,678	0,255	<0,001
(VI)	79.773,867	1.813,042	1.215,392	183,227	8.898,185	1.041,854	27,791	0,263	<0,001
São João da Cachoeira Grande									
(I)	34.503,707	1.014,815	676,939	116,094	4.036,154	434,779	13,424	0,289	<0,001
(II)	214.107,234	6.297,272	1.923,915	329,949	13.130,408	3.779,068	3,598	0,117	0,276
(III)	54.508,644	1.603,195	696,465	119,443	4.821,670	1.041,781	15,145	0,310	<0,001
(IV)	58.568,048	1.722,590	1.023,940	175,604	6.268,403	782,425	12,977	0,279	<0,001
(V)	48.499,423	1.426,454	555,635	95,291	4.004,650	955,343	15,284	0,308	<0,001
(VI)	49.932,522	1.468,604	627,531	107,621	4.370,280	958,959	15,165	0,309	<0,001
Boca da Vala									
(I)	35.782,753	1.626,489	729,124	155,450	3478,720	581,908	0,595	0,121	0,504
(II)	119.408,499	5.427,659	2.398,865	511,440	10.270,832	732,466	-0,257	0,103	0,705
(III)	47.687,439	2.167,611	711,052	151,597	4.017,786	1.210,175	0,662	0,149	0,227
(IV)	59.154,601	2.688,845	1.129,889	240,893	5.533,332	1.046,406	0,575	0,112	0,606
(V)	41.325,652	1.878,439	568,793	121,267	3.361,315	1.114,429	0,683	0,147	0,239
(VI)	43.503,658	1.977,439	640,927	136,646	3.645,625	1.114,727	0,665	0,148	0,229

Modelos = modelos matemáticos; D.P. = desvio padrão; E.P. = erro padrão; Máx. = máximo; Mín. = mínimo; K-Scal. = estatística calculada do teste de Kolmogorov-Smirnov e P_{K-S} = valor de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5%.

Para a estação climatológica de Barra Nova, no período de 44 anos (1971 a 2014), os valores médios anuais estimados de erosividade da chuva considerando os extremos, a partir das equações (II) e (I), foram de 6.995,855 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ a 1.420,296 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ respectivamente (Tabela 2). Os valores de erosividade da chuva estimados pelo modelo matemático (II) foram de 2.424,812 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (desvio-padrão), de 365,554 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (erro-padrão), de 11.812,191 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (máximo) e 1.532,166 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (mínimo).

Para a estação climatológica de São João da Cachoeira Grande, num período de 34 anos (1981 a 2014), os valores totais estimados de erosividade da chuva considerando os extremos, a partir das equações (II) e (I), foram de 6.297,272 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ e 1.014,815 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Observou-se também, valores de 1.923,915 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (desvio-padrão), de 329,949 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (erro-padrão), de 13.130,408 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (máximo) e 3.779,068 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (mínimo), referente aos valores estimados de erosividade da chuva pelo modelo matemático (II).

No período de 22 anos (1993 a 2014), os valores médios anuais estimados de erosividade da chuva considerando os extremos, a partir das equações (II) e (I), foram de 5.427,659 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ e MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, para a estação climatológica de Boca da Vala (Tabela 2). Verifica-se na Tabela 2, os valores de 2.398,865 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (desvio-padrão), de 511,440 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (erro-padrão), de 10.270,832 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (máximo) e 732,466 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ (mínimo), referente aos valores estimados de erosividade da chuva pelo modelo matemático (II).

Os menores valores observados de erosividade da chuva foram para o modelo matemático (I), sendo esta equação ajustada por Lombardi Neto e Moldenhauer (1980). Ela foi ajustada para o município de Campinas-SP, neste município, as temperaturas médias são de 22 a 24 °C (de outubro a março) e de 18 °C a 22 °C (abril a setembro) e precipitações de 1.057 mm para estação quente e chuvosa e de 325 mm para estação seca (ORTOLANI et al., 1995). Isto explica, a diferença significativa dos valores de erosividade da chuva, pois as condições climáticas deste município são diferentes daquelas verificadas no município de São Mateus-ES, cujo clima é tipo Aw – clima tropical com inverno seco, com temperatura média anual do ar de 23,8 °C (PEZZOPANE et al., 2010)

A curtose significa o grau de achatamento em relação à distribuição normal. Pela Tabela 2, verifica-se que as distribuições foram platicúrticas, com exceção, para os municípios de Barra Nova e Boca da Vala, que apresentaram erosividade da chuva estimada pela equação $EI_{30} = 6,4492 * \pi - 391,63$ com distribuição leptocúrtica. Isso é explicado, pois a erosividade da chuva não segue uma distribuição normal, devido ao fato em que há meses com maiores e outros com menores quantidades de chuvas erosivas, sendo perceptível quando comparado os seus valores máximos e mínimos.

Para Itauninhas, Barra Nova, São João da Cachoeira Grande e Boca da Vala, os maiores valores de erosividade média da chuva (modelo matemática II) foram 6.541,240 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹, 6.995,855 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹, 6.297,272 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ e 5.427,659 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Os valores de erosividade média da chuva, para todas as Estações Climatológicas, foram superiores aos

encontrados para região de São Mateus-ES, sendo este valor obtido a partir do relatório gerado pelo software netErosividadeES desenvolvido por Moreira et al. (2012), cujo valor foi de 5.056 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ e 5.354 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹, pelos métodos propostos por Foster e Wagner & Massambani, respectivamente. Entretanto, os valores de erosividade média da chuva, para as estações climatológicas de São José da Cachoeira Grande e Boca da Vala, corroboram com Mello et al. (2012), que estimaram valores variando de 4.142 a 6.258 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹. Embora, estes autores, tenham utilizado o modelo ajustado para as condições climáticas diferentes do município de São Mateus-ES. A estação climatológica com o maior valor de erosividade média da chuva foi Barra Nova (Tabela 2), enquanto Boca da Vala apresentou a menor erosividade, considerando apenas a estimativa obtida pelo modelo matemático (II). Neste caso, esta diferença pode ser explicada porque Mello et al. (2012) utilizaram uma equação ajustada para condições climáticas de Juazeiro na Bahia, ao passo, o modelo matemático denominado II foi ajustado para as condições climáticas de Aracruz-ES.

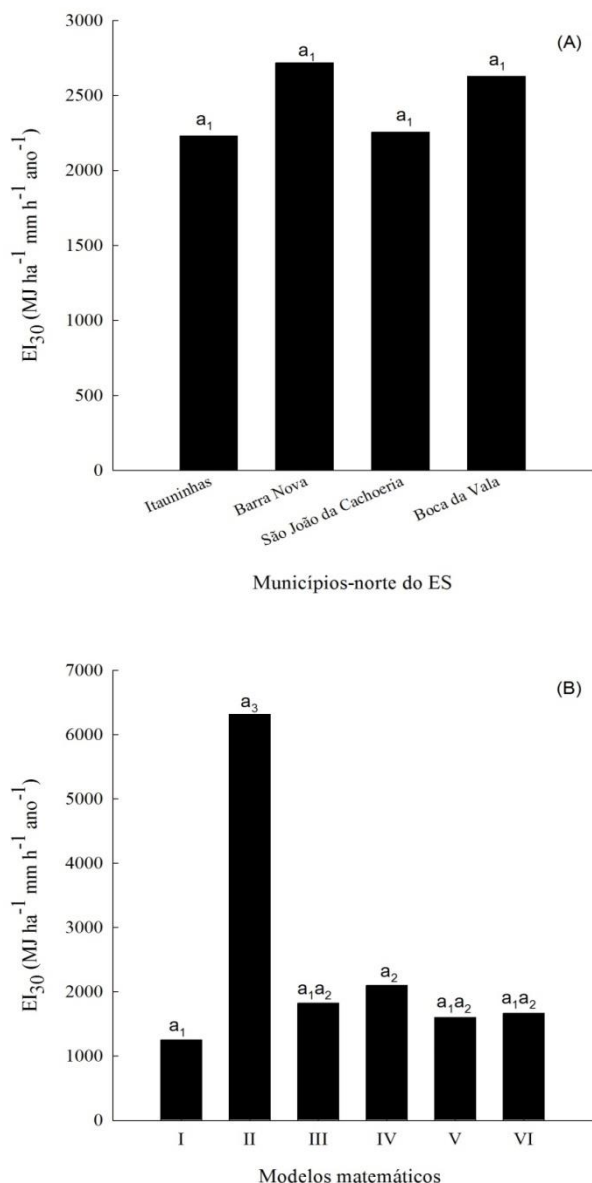
Na Tabela 2 são apresentados os valores do teste de aderência Kolmogorov-Smirnov aplicados aos valores de erosividade da chuva para cada estação climatológica, ao nível de 5% de significância. Estes valores da estatística crítica do teste de Kolmogorov-Smirnov foram 167, 201, 227 e 281 para Itauninhas, Barra Nova, São João da Cachoeira Grande e Boca da Vala, respectivamente. Nota-se que os valores da estatística calculada do teste, em alguns casos, foram maiores quando comparado com o valor tabelado. Verifica-se que para Itauninhas, Barra Nova e São João da Cachoeira Grande não apresentaram distribuição normal. Com exceção para os valores ajustados a partir do modelo matemático (II) para Itauninhas, Barra Nova e Boca da Vala e também o modelo (I) para Itauninhas, que apresentaram uma distribuição normal. Para Boca da Vala, todos os modelos matemáticos utilizados para estimar a erosividade da chuva apresentaram uma distribuição normal.

Pela Figura 1A e 1B, observação o teste de médias, entre as estações climatológicas e também entre os modelos matemáticos. Não há diferença estatística entre as estações climatológicas estudadas (Figura 1A), devido ao fato de ser uma mesma condição pluviométrica, ou seja, estas estão inseridas na mesma região climática localizada no norte do Espírito Santo.

Observa-se diferença estatística entre os modelos matemáticos estudados, sendo o melhor modelo para estimar a erosividade da chuva, o II (Figura 1B). Estes resultados corrobora os valores encontrados por Mello et al. (2012) para o mesmo município.

Portanto, para as condições climáticas da região de São Mateus-ES, a equação adequada para estimar a erosividade da chuva seria a ajustada por Martins et al. (2010) para a condição climática do município de Aracruz-ES.

Figura 1. Representação dos valores do teste de média (Tukey), entre as estações climatológicas (A) e entre os modelos matemáticos (B).



CONCLUSÕES

Os valores de erosividade anual média da chuva são 6.541,240 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹, 6.995,855 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹, 6.297,272 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ e 5.427,659 MJ ha⁻¹ mm h⁻¹ ano⁻¹ para Itauninhas, Barra Nova, São João da Cachoeira Grande e Boca da Vala, respectivamente.

Os maiores e menores valores de erosividade da chuva foram obtidos com os modelos matemáticos, I (EI₃₀ = 67,355*Rc^{0,85}) e II (EI₃₀ = 6,4492*pi - 391,63).

Para estimar a erosividade da chuva, nas condições climáticas do município de São Mateus-ES, o modelo matemático mais adequado é o II (EI₃₀ = 6,4492*pi - 391,63).

AGRADECIMENTOS

A Agência Nacional das Águas – Ana pela disponibilidade da série histórica referente à precipitação da chuva. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo

(FAPES) pelo recurso financeiro e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Programa de Fixação de Doutores no estado do Espírito Santo (PROFIX).

REFERÊNCIAS

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. *Revista Ciência Agronômica*, v. 37, n. 3, p. 287-291, 2008.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v. 31, n. 5, p. 1205-1217, 2007.

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. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 7-14, 2005.

COLODRO, G.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v. 26, n. 3, p. 809-818, 2002.

FOURNIER, F. The effect of climatic factors on soil erosion estimates of solids transported in suspension in runoff. *Association Hydrologic Int. Public.*, 1956. v.38. 6p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Resolução nº 1, de 15 de janeiro de 2013. Área Territorial Oficial. *Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]*, Brasília, DF, n. 16, 23 jan. 2013. Seção I, p. 1-60.

LEPRUN, J.C. *A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste Brasileiro*. Recife: Ministério do Interior. SUDENE, Brasil. 1981, 107 p.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia*, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

MACHADO, D. O.; ALVES-SOBRINHO, T.; RIBEIRO, A. S.; IDE, C. N.; OLIVEIRA, P. T. S. Erosividade da chuva para o bioma Pantanal. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 195-201, 2014.

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, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v. 34, n. 3, p. 999-1004, 2010.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURTI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da

- chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.
- MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S.; NORTON, L. D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. *Geoderma*, Amsterdam, v. 70, n. 3, p. 88-102, 2013.
- MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; CURI, N.; SILVA, A. M. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v. 36, n. 6, p. 1878-1891, 2012.
- MOREIRA, M. C.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M.; PRUSKI, F. F.; FUKUNAGA, D. C. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no Espírito Santo. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa-MG, v. 20, n. 4, p. 350-356, 2012.
- OLIVEIRA, F. P.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; MELLO, C. R. Potencial erosivo da chuva no Vale do Rio Doce, região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais - primeira aproximação. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1569-1577, 2009.
- OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, Amsterdam, v. 100, n. 1, p. 139-147, 2012.
- ORTOLANI, A.A., CAMARGO, M.B.P. & PEDROJUNIOR, M.J. 1995. Normais climatológicas dos postos meteorológicos do Instituto Agrônomo: 1. Centro Experimental de Campinas. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.
- PAES, F. S.; DUPAS, F. A.; SILVA, F. G.B.; PEREIRA, J. C. D. Spatialization of soil loss in the basins that compose the city of Santa Rita do Sapucaí - MG (Brazil). *Geociências*, São Paulo, v. 29, n. 4, 2010.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology Earth and System Sciences*, Germany, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.
- PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; SOUZA, J. M.; PEZZOPANE, J. E. M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. *Ciência Rural*, v. 40, n. 6, p. 1257-1263, 2010.
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, Amsterdam, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.
- SILVA, J. R. C.; DIAS, A. S. 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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 347-354, 2003.
- SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SANTOS, G. R.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MENEZES, M. D.; Leite, F. P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no vale do rio doce, região centro leste do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1029-1039, 2010.
- VALVASSORI, M. L.; BACK, A. J. Avaliação do potencial erosivo das chuvas em Urussanga, SC, no período de 1980 a 2012. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v. 38, n. 3, p. 1011-1019, 2014.
- VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R.; LIMA, S. O.; ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v. 49, n. 2, p. 125-135, 2014.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, USDA, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 537).
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Rainfall energy and its relationship to soil loss*. Trans./Am. Geophys. Union, v. 39, p. 285-291, 1958.