

CÁLCULO DA EROSIDADE DAS CHUVAS NO ESPÍRITO SANTO COM USO DE SÉRIES SINTÉTICAS DE PRECIPITAÇÃO

Roberto A. Cecílio¹, Michel C. Moreira², Danilo C. Fukunaga³, José Eduardo M. Pezzopane⁴,
Fernando F. Pruski⁵

¹ Engenheiro Agrícola, D. Sc., Professor Adjunto, Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq, Departamento de Engenharia Florestal, UFES – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES, Tel.: (28) 3558-1823. E-mail: racecilio@yahoo.com.br;

² Bel. Ciência da Computação, D. Sc., Professor Adjunto, Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável, UFBA – Universidade Federal da Bahia. E-mail: michelcm@ufba.br;

³ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. Bolsista FAPES. E-mail: danilofukunaga@hotmail.com.

⁴ Engenheiro Florestal, D. Sc., Professor Associado, Departamento de Engenharia Florestal, UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. E-mail: pezzopane@reitoria.ufes.br;

⁵ Engenheiro Agrícola, D. Sc., Professor Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV – Universidade Federal de Viçosa. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. E-mail: ffpruski@ufv.br;

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi calcular os índices de erosividade EI_{30} e $KE>25$ para 73 estações pluviométricas situadas no Estado do Espírito Santo, considerando duas metodologias de obtenção de energia cinética, a partir de séries sintéticas de chuva criadas pelo gerador climático ClimaBR 2.0. Uma rotina computacional foi desenvolvida para análise dessas séries e identificação das chuvas erosivas. A utilização de séries sintéticas de precipitação mostrou-se uma alternativa viável para obtenção da erosividade da chuva.

PALAVRAS-CHAVE: EI_{30} , $KE>25$, gerador climático.

ABSTRACT: The present work aimed to calculate the erosivity indexes EI_{30} and $KE> 25$ to 73 stations located in the Espírito Santo state, considering two methodologies for kinetic energy estimation from series created by the climate generator ClimaBR 2.0. Thus, a computer routine was developed to analyze these series, and then, identify erosive rainfalls. The use of synthetic series of precipitation proved to be a viable alternative for obtaining the rainfall erosivity.

KEYWORDS: EI_{30} , $KE>25$, climate generator.

INTRODUÇÃO: A chuva, devido à ação do impacto das gotas e ao escoamento superficial produzido, é fator climático preponderante no processo erosivo. Seu potencial em causar erosão é definido como erosividade da chuva (AQUINO et al., 2008). Somente o conhecimento dos totais anuais precipitados têm pouco significado para descrever o potencial erosivo das chuvas, sendo muito importante o conhecimento de outras características, como distribuição do tamanho, número e energia cinética das gotas, bem como a intensidade, duração e frequência da chuva (AMORIM, 2003). Dados assim são de difícil obtenção no Brasil, fazendo com que informações relativas à erosividade estejam disponíveis apenas para um pequeno número de localidades (MOREIRA et al., 2006). Por isso a importância da utilização de geradores climáticos que são modelos de simulação matemática que estimam a

ocorrência de variáveis climáticas e geram um conjunto de valores numéricos, denominado série sintética, com as mesmas características estatísticas da série histórica (ZANETTI et al., 2005). Do exposto, o presente trabalho teve como objetivo obter a erosividade média anual das chuvas em 73 localidades do Espírito Santo, por meio do uso de séries sintéticas de precipitação.

MATERIAL E MÉTODOS: Com base em informações pluviográficas disponíveis no software ClimaBR 2.0 (BAENA et al., 2005), foram geradas séries sintéticas (em uma base diária), com 100 anos de duração, para 73 estações pluviométricas situadas no Espírito Santo (Figura 1). As séries sintéticas possuíam as seguintes informações associadas à precipitação: precipitação total diária, duração do evento, intensidade máxima instantânea de precipitação, tempo de ocorrência da intensidade máxima, além de outros parâmetros que caracterizam o perfil da precipitação.

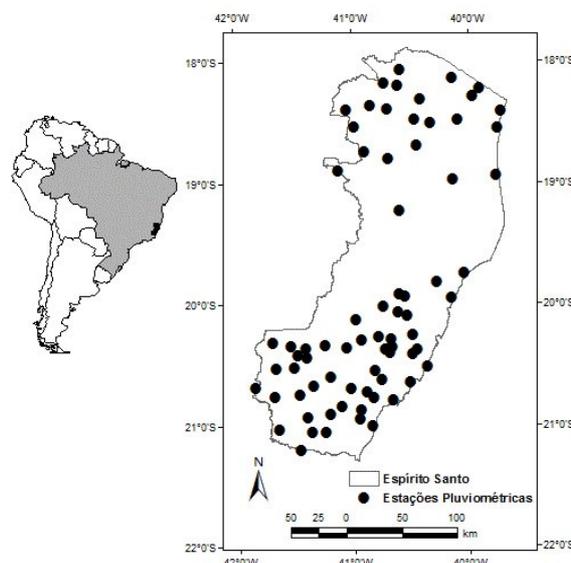


Figura 1 – Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Uma rotina computacional foi desenvolvida para identificar, a partir dessas informações, com base nos critérios propostos por Wischmeier e Smith (1958) e modificados por Cabeda (1976), as chuvas erosivas. Foram consideradas como erosivas as chuvas com 10 mm ou mais de total precipitado ou aquelas com total precipitado inferior a 10 mm nas quais a quantidade precipitada em 15 minutos foi igual ou superior a 6 mm. A energia cinética das chuvas erosivas foi então determinada pelas equações sugeridas por Foster et al. (1981) (FOS) e Wagner e Massambani (1988) (WM) (Equações 1 e 2, respectivamente). As equações foram aplicadas quando a intensidade de precipitação foi inferior a 76 mm h^{-1} , uma vez que, segundo Foster et al. (1981), o diâmetro das gotas de chuva não aumenta quando as intensidades são iguais ou superiores a este valor, passando a energia cinética a ter valor constante de $0,283 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

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

$$EC = 0,153 + 0,0645 \log I \quad (2)$$

em que:

EC = energia cinética, $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$;

I = intensidade da chuva, mm h^{-1}

Depois de obtida a energia cinética das chuvas erosivas para cada uma das duas equações, pôde-se então calcular a erosividade da chuva para os índices EI_{30} e $KE>25$, os quais foram obtidos de acordo com os procedimentos descritos em Wischmeier e Smith (1958) e Hudson (1973), respectivamente. Como são dois índices, cada um calculado para as duas equações de energia cinética, obtiveram-se quatro valores de erosividade da chuva para cada localidade. O valor anual da erosividade corresponde a soma das erosividades mensais. A determinação do EI_{30} foi feita de acordo com os seguintes procedimentos: (a) Determinação das energias cinéticas parciais para cada uma das intensidades, nos respectivos intervalos de 1 minuto, com o uso das equações FOS e WM; (b) Soma dos valores do produto das energias cinéticas parciais, calculadas para a intensidade de cada intervalo, em $MJ\ ha^{-1}\ mm^{-1}$, pela altura precipitada no respectivo intervalo, em mm, resultando na energia total da chuva, em $MJ\ ha^{-1}$; (c) Multiplica-se a energia total da chuva pela máxima intensidade de precipitação em 30 minutos consecutivos (I_{30}), obtendo-se o EI_{30} , em $MJ\ mm\ h^{-1}\ ha^{-1}$. A determinação do $KE>25$ foi feita de acordo com os seguintes procedimentos: (a) Determinação das energias cinéticas parciais para as intensidades superiores ou iguais a $25\ mm\ h^{-1}$, nos respectivos intervalos de 1 minuto, com o uso das equações FOS e WM; (b) Soma dos valores do produto das energias cinéticas parciais, calculadas para intensidades maiores que $25\ mm\ h^{-1}$, em $MJ\ ha^{-1}\ mm^{-1}$, pela altura precipitada nos respectivos intervalos, em mm, resultando na energia total da chuva, em $MJ\ ha^{-1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Tabela 1 apresenta os valores anuais dos índices de erosividade EI_{30} (WISCHMEIER e SMITH, 1958) e $KE>25$ (HUDSON, 1973) determinados com a utilização das duas equações de cálculo de energia cinética da chuva: FOS e WM, obtidas por meio das séries sintéticas de precipitação para as 73 estações do Estado do Espírito Santo. Observam-se, para o índice EI_{30} , maiores magnitudes quando da utilização da equação WM, havendo diferenças percentuais médias em torno de 3,0%, sendo a máxima igual a 6,2%. Todavia, para o índice $KE>25$, a comparação entre os valores determinados por meio da utilização das duas equações mostra que as diferenças nos valores de R não ultrapassaram 1,1%, com maiores valores obtidos quando da utilização da equação FOS, pois de acordo com Gonçalves et al. (2006) esta equação fornece valores maiores de energia cinética quando a intensidade da chuva foi superior a $31\ mm\ h^{-1}$. Tais fatos mostram que ambas as equações fornecem resultados semelhantes, para os padrões de precipitação do Espírito Santo. O índice EI_{30} médio anual variou de $2.123\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ na estação Santo Agostinho, a $9.885\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ em Burarama (DNOS). O valor do EI_{30} anual mínimo ocorreu em na região norte do Estado, caracterizada por baixa precipitação pluviométrica, enquanto o máximo ocorreu nas proximidades do litoral, na região sul caracterizada por maiores médias anuais de precipitações e influência orográfica nas chuvas. O índice $KE>25$ anual médio variou de $5,0\ MJ\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ a $105,0\ MJ\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ nas mesmas estações. Os valores médios dos índices EI_{30} e $KE>25$ no Espírito Santo foram, respectivamente, $5.592\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ e $58\ MJ\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, muito próximos àqueles encontrados por Carvalho et al. (2005) e Gonçalves et al. (2006) para diversas localidades do Rio de Janeiro, estado vizinho e com características pluviométricas homogêneas às do Espírito Santo, segundo Keller Filho et al. (2005). Na área em estudo, existem determinações de erosividade da chuva por meio de registros pluviográficos (série histórica com apenas seis anos de extensão) apenas para o município de Aracruz, com valores de EI_{30} variando entre 4.635 e $8.817\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ (MARTINS et al., 2010), próximos, portanto, ao valor encontrado no presente estudo (cerca de $5.000\ MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$), mais uma vez confirmando a aplicabilidade do uso das séries sintéticas para o cálculo da erosividade das chuvas.

Tabela 1 – Índices de erosividade EI₃₀ e KE>25 calculados por meio das equações de cálculo da energia cinética de Foster et al. (1981) (FOS) e Wagner & Massambani (1988) (WM)

LOCALIDADE	EI ₃₀ (MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ ano ⁻¹)			KE>25 (MJ ha ⁻¹ ano ⁻¹)		
	FOS	WM	Dif.(%)	FOS	WM	Dif.(%)
Morro D'anta (Pedro Canário)	2.696	2.780	3,1	27	27	0,0
Conceição da Barra	5.675	5.843	3,0	57	56	1,8
Fazenda Viração	4.952	5.113	3,3	50	49	2,0
Fazenda Klabin	5.038	5.212	3,5	49	49	0,0
Barra Nova	6.944	7.133	2,7	71	71	0,0
Barra Seca	4.968	5.110	2,9	52	51	1,9
Fazenda Alegria	4.888	5.016	2,6	52	51	1,9
Itauninhas	4.501	4.639	3,1	47	46	2,1
Barra de São francisco	4.029	4.145	2,9	43	42	2,3
Mucurici	5.559	5.704	2,6	59	58	1,7
Água Doce	5.248	5.398	2,9	56	55	1,8
Cedrolândia	4.613	4.745	2,9	49	49	0,0
Cotaxe	5.176	5.320	2,8	54	54	0,0
Fazenda Limoeiro	4.548	4.686	3,0	47	47	0,0
Ecoporanga	4.324	4.449	2,9	45	45	0,0
Joaçuba	6.434	6.602	2,6	69	69	0,0
Patrimônio Santa Luzia do Norte	4.571	4.697	2,8	49	48	2,0
Patrimônio xv	5.021	5.158	2,7	52	52	0,0
São João do Sobrado	3.729	3.832	2,8	40	40	0,0
Córrego da Boa Esperança	4.652	4.786	2,9	47	47	0,0
Mantenópolis	5.097	5.235	2,7	56	55	1,8
Santo Agostinho	2.123	2.254	6,2	6	5	16,7
Santa Cruz - litoral	4.541	4.681	3,1	47	46	2,1
Riacho	5.051	5.212	3,2	52	51	1,9
Valsugana Velha - montante	8.560	8.810	2,9	88	87	1,1
Novo Brasil	5.493	5.646	2,8	57	57	0,0
Santa Tereza - Museu de Biologia	5.138	5.302	3,2	53	52	1,9
Aracruz	4.914	5.070	3,2	49	49	0,0
Domingos Martins (DNOS)	6.928	7.151	3,2	70	69	1,4
Fazenda Jucuruaba	5.863	6.027	2,8	62	61	1,6
Alfredo Chaves (DNOS)	7.795	8.004	2,7	82	81	1,2
Guarapari (DNOS)	4.492	4.620	2,8	45	45	0,0
Iconha - montante	7.506	7.708	2,7	78	77	1,3
Usina Paineiras (DNOS)	5.006	5.167	3,2	51	50	2,0
Santa Maria do Jetibá (DNOS)	5.484	5.632	2,7	59	58	1,7
Garrafão (DNOS)	3.979	4.095	2,9	43	42	2,3
Anchieta (DNOS)	4.992	5.146	3,1	49	49	0,0
Santa Leopoldina (DNOS)	6.144	6.322	2,9	62	62	0,0
Matilde (DNOS)	8.357	8.598	2,9	88	87	1,1
Marechal Floriano (DNOS)	6.625	6.821	3,0	69	69	0,0
Rio Novo do Sul (DNOS)	7.657	7.867	2,7	78	78	0,0
Duas Bocas (DNOS)	3.892	3.988	2,5	40	40	0,0
Perobinha (DNOS)	3.986	4.120	3,4	41	41	0,0
Duas Barras (DNOS)	8.107	8.325	2,7	83	82	1,2
Cachoeira Suíça (DNOS)	5.687	5.867	3,2	58	58	0,0
Granja São Jerônimo (DNOS)	6.222	6.412	3,1	65	64	1,5
Ponta da Fruta	4.335	4.480	3,3	43	42	2,3
São Rafael	3.420	3.535	3,4	35	34	2,9
Córrego do Galo (DNOS)	5.061	5.235	3,4	51	51	0,0
Canaã	6.167	6.332	2,7	64	63	1,6
Aflilio Vivacqua	4.955	5.099	2,9	52	52	0,0
Guaçuí	6.592	6.785	2,9	69	69	0,0
Castelo	5.649	5.816	3,0	60	59	1,7
Rive	6.584	6.773	2,9	70	69	1,4
Cachoeiro do Itapemirim (DNOS)	4.657	4.801	3,1	48	47	2,1
Jacigua (DNOS)	7.055	7.262	2,9	73	72	1,4
Conceição do castelo (DNOS)	5.374	5.527	2,8	57	57	0,0
Muniz freire (DNOS)	6.608	6.803	3,0	70	70	0,0
Iuna	5.099	5.247	2,9	54	53	1,9
Dores do Rio Preto	5.890	6.061	2,9	63	62	1,6
Fazenda Monte Alegre (DNOS)	6.067	6.250	3,0	64	63	1,6
Ibitirama (DNOS)	7.121	7.326	2,9	76	75	1,3
Santa cruz - Caparão (DNOS)	6.732	6.929	2,9	71	71	0,0
Usina Fortaleza (DNOS)	6.632	6.823	2,9	71	71	0,0
Itaici	6.564	6.751	2,8	70	70	0,0
Arace (DNOS)	5.939	6.108	2,8	64	64	0,0
Burarama (DNOS)	9.643	9.885	2,5	105	104	1,0
Terra Corrida (DNOS)	7.010	7.212	2,9	75	75	0,0
Barra do Itapemirim (DNOS)	2.713	2.805	3,4	26	26	0,0
Ponte de Itabapoana	5.085	5.229	2,8	54	53	1,9
Mimoso do Sul (DNOS)	6.244	6.419	2,8	65	65	0,0
São José do Calçado	6.600	6.782	2,8	71	70	1,4
São José das Torres	7.246	7.450	2,8	75	74	1,3
MÉDIA	-	-	3,0	-	-	1,1

Dif. = diferença percentual entre os valores calculados para cada índice.

CONCLUSÕES: A análise dos resultados permitiu concluir que não houve diferenças significativas entre os índices EI₃₀ e KE>25 obtidos a partir das duas metodologias de cálculo de energia cinética e que a utilização de séries sintéticas de precipitação mostrou-se uma alternativa viável para obtenção da erosividade da chuva.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos para predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras.** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 120p. (Dissertação de Doutorado).
- AQUINO, R. F.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; SÁFADI, T.; CURI, N. Uso de modelos de séries temporais para predição da erosividade mensal, para o município de Lavras, MG. **R. Bras. Agrometeorologia**, v.16, n. 2, p.205–210, 2008.
- BAENA, L. G. N.; PRUSKI, F. F.; MOREIRA, M. C.; SOUZA, V. B. C de. ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, V. P S. Programa computacional para geração de séries sintéticas de dados climáticos. **Engenharia na Agricultura**, v.13, n.3, p.210-220, 2005.
- CABEDA, M. S. V. **Computation of storm EI value.** West Lafayette: Purdue Univ., 1976. 6p.
- 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. Agríc. Amb.**, v.9, n.1, p.7-14, 2005.
- FOSTER, G. R., McCOOL, K. G., MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **J. Soil Water Cons.**, v.36, n. 6, p.355-359, 1981.
- GONÇALVES, F. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v.10, n.2, p.269-276, 2006.
- HUDSON, N. W. **Soil conservation.** Ithaca: Cornell University Press, 1973. 320p.
- KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 40, n.4, p.311-322, 2005.
- MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, 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**, v.34, n.3, p.999-1004, 2010.
- MOREIRA, M. C.; CECÍLIO, R. A.; PINTO, F. de A. de C.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, n.6, 1069-1074, 2006.
- WAGNER, C. S., MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 12, n. 3, p.197-203, 1988.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Trans. Am. Geophy. Union**, 39:285-291, 1958.
- ZANETTI, S. S.; PRUSKI, F. F.; MOREIRA, M. C.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, D. D. Programa computacional para geração de séries sintéticas de precipitação. **Eng. Agríc.**, v. 25, n. 1, p. 96 – 104, 2005.