

Variação espaço-temporal da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do Rio Araçuaí-MG

José Ramalho dos Santos Neto ¹
Cristiano Christofaro^{1,2}

1 Programa de Pós Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Caixa Postal 22 - 39803-371 - Teófilo Otoni - MG, Brasil
joseramalho406@gmail.com

2 Depto. de Eng. Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e
Mucuri/UFVJM - Diamantina, Brasil
cristiano.christofaro@ufvjm.edu.br

Abstract. Soil erosion is one of the biggest environmental problems today. Every year, millions of tons of arable land are lost, which contributes to the loss of fertility of the land and, consequently, to the decline in crop productivity. This problem depends on a series of natural and anthropogenic factors in which rainfall erosivity is highlighted by erosive potential in tropical environments. In this scenario, the present work had as objective to determine the spatio-temporal variation of rainfall erosivity in the Araçuaí river basin - MG. For this purpose, precipitation data of 14 rainfall stations distributed in the basin territory were used, with historical series from 1996 to 2015. Erosivity was calculated from the Fournier Modified Index (MFI) and the mean monthly erosivity (EI30m). The erosivity data obtained for each precipitation station were interpolated for the entire basin by the Inverse Distance (IDW) method. The results indicate an average annual erosivity in the basin of $9125 \text{ MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. The highest values of erosivity occurred in the months of October to March, and the lowest values from April to September. The spatial analysis showed a decreasing gradient of erosivity in the south-north direction coinciding with higher and lower altitudes respectively.

Palavras-chave: Water erosion, Rainfall, MFI and RUSLE. erosão hídrica, precipitação pluvial, MFI e RUSLE.

1. Introdução

A erosão hídrica em sua forma laminar tem causado, anualmente, a perda de milhões de toneladas de solos agricultáveis em todo o território brasileiro. Tais perdas trazem sérios problemas à população, principalmente aos habitantes do meio rural, além de consequências negativas para os ecossistemas e para o país (Bertoni e Lombardi Neto, 2012). Esse tipo de erosão contribui para o empobrecimento e redução ou perda de sustentabilidade dos agroecossistemas, decorrentes do carreamento do solo, água, nutrientes e carbono orgânico das propriedades, o que causa a diminuição do rendimento de culturas e o aumento dos custos de produção (Cogo et al., 2004).

A dificuldade de caracterização dos processos erosivos em escala regional faz com que a utilização de modelos de predição da erosão torne cada vez mais frequente (Ferro, 1999; Panagos et al. 2015). A Equação Universal das Perdas de Solo (USLE) (Wischmeier e Smith, 1978) e a sua versão revisada (RUSLE) (Renard et al., 1997) têm sido amplamente utilizadas como modelos de avaliação da perda de solos. Trata-se de modelos simples, de fácil utilização e apresentam desempenho satisfatório nos resultados (Amorim, et al., 2010; Oliveira et al, 2012). Ambos consistem em modelos empíricos utilizados para predição de perda de solo por erosão em um determinado local (Oliveira et al, 2012). Tais modelos são considerados os mais eficientes na estimativa das perda de solos utilizados no mundo (Souza et al., 2003), com

ampla utilização em projetos agrícolas, bem como, de planejamento e gestão ambiental (Carvalho, 1987; Ruhoff, 2006).

A USLE/RUSLE relaciona seis fatores que influenciam na erosão do solo: erosividade da chuva (Fator R), erodibilidade do solo (Fator K), comprimento de rampa (Fator L), declividade (Fator S), uso, manejo e cobertura do solo (Fator C) e práticas conservacionistas (Fator P) (Wischmeier e Smith, 1978). Entre esses fatores, a erosividade da chuva destaca-se por representar o potencial da chuva e enxurrada na produção da erosão do solo (Wischmeier e Smith, 1978).

A erosividade da chuva, fator R da RUSLE é descrito como uma interação entre a energia cinética das gotas de chuva e a superfície do solo sendo originalmente calculado a partir do produto entre a energia cinética total da chuva e a sua intensidade máxima em 30 minutos (Hudson, 1971; Wischmeier e Smith, 1978). Determinada em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$, a erosividade corresponde à capacidade erosiva da chuva em seu contato direto com a superfície do solo. Este fator depende das características físicas das chuvas, tais como: intensidade, duração, distribuição e tamanho das gotas (Wischmeier & Smith, 1958).

Em sua proposição original, o fator R é calculado para cada evento de chuva, necessitando para isso, de dados pluviográficos (Wischmeier e Smith 1978). Esse tipo de dados é de difícil obtenção em várias partes do mundo devido a escassez de estações pluviográficas (Bertoni e Lombardi Neto, 2012), inclusive no Brasil (Silva, 2004). Para suprir tal problema, diversos autores têm encontrado relação entre valores anuais de erosividade e estimativas baseadas em dados pluviométricos anuais ou mensais (Angulo-Martínez e Beguería, 2009; Renard e Freimund, 1994; Silva, 2004), utilizando índices específicos, como o Índice de Fournier (Oliveira et al, 2012).

Diversos estudos têm sido realizados para caracterizar a distribuição espacial regional da erosividade da chuva no Brasil e em outros países (Vieira e Lombardi Neto, 1995; Silva, 2004; Aquino, 2005; Mello et al., 2007; Men et al., 2008). Essa abordagem pode contribuir para identificar áreas com maiores riscos de sofrerem efeitos dos processos erosivos (Vito Ferro et al, 1999). Já a análise temporal permite observar eventuais tendências nos processos erosivos, bem como avaliar sua variabilidade temporal e períodos críticos nas áreas de interesse (Capolongo et al, 2008). Assim, as informações espaço-temporais da erosividade podem contribuir para a adoção de medidas mais efetivas de conservação e manejo do solo (Vito Ferro et al, 1999).

Nesse contexto, o presente trabalho objetivou estimar a variação espacial e temporal da erosividade e da precipitação pluviométrica, bem como produzir os seus respectivos mapas da bacia hidrográfica do Rio Araçuaí.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A Bacia do rio Araçuaí está compreendida entre os paralelos paralelos $16^{\circ}40'S$ e $18^{\circ}20'S$ e meridianos $41^{\circ}50'W$ e $43^{\circ} 25'W$, na região nordeste do Estado de Minas Gerais, pertencendo à Bacia do Rio Jequitinhonha (**Figura 1**).

Onde, MFI é o índice de Fournier, P_m^2 é a média mensal elevado ao quadrado (mm) e Pa é precipitação média anual (mm).

A partir dos MFIs, calculou-se os índices de erosividade mensal (EI_{30m}), conforme Oliveira et al, (2009), o qual consiste na aplicação da equação:

$$EI_{30m} = 121,385 (MFI_m)^{0,7982} \quad (2)$$

Onde EI_{30m} , é o índice de erosividade mensal em $MJ\ mm^{-1}\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$ e MFI_m é o índice de Fournier Modificado do respectivo mês. Através dos índices de erosividade mensais, calculou-se a erosividade de cada estação pluviométrica pela soma dos 12 meses do ano.

Os dados de erosividade, obtidos para cada estação pluviométrica, foram interpolados pelo método Peso Inverso da Distância (IDW), o qual consiste na aplicação da média ponderada pelo inverso da distância entre as estações pluviométricas e as localidades vizinhas (Mello e Silva, 2013), gerando arquivos contendo os dados de erosividade. Os arquivos gerados foram recortados com uma camada vetorial da bacia no formato Shapefile gerando os mapas de erosividade e posteriormente, foram classificados de acordo com a **Tabela 1** (Carvalho, 1994).

Tabela 1 – Classes para a interpretação da erosividade anual

Erosividade ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$)	Classe de Erosividade
$R \leq 2452$	Erosividade Fraca
$2452 < R \leq 4905$	Erosividade Média
$4905 < R \leq 7357$	Erosividade Média - Forte
$7357 < R \leq 9810$	Erosividade Forte
$R > 9810$	Erosividade Muito Forte

Fonte: Carvalho (1994).

3. Resultados e Discussão

A erosividade anual, em $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$, variou consideravelmente ao longo do território da bacia do Rio Araçuaí, variando de um valor mínimo de 7118,6 na estação 1642028 em Araçuaí-MG, até um máximo de 10638,4 na estação 1843003 em Mendanha-MG. No que se refere aos totais pluviométricos, o valor mínimo foi de 677,5 mm na estação 1642028 e máxima de 1184,63 na estação 1843003.

A interpolação dos dados de erosividade e precipitação nas estações pluviométricas gerou os mapas de erosividade e precipitação da bacia hidrográfica do Rio Araçuaí (**Figura 2**).

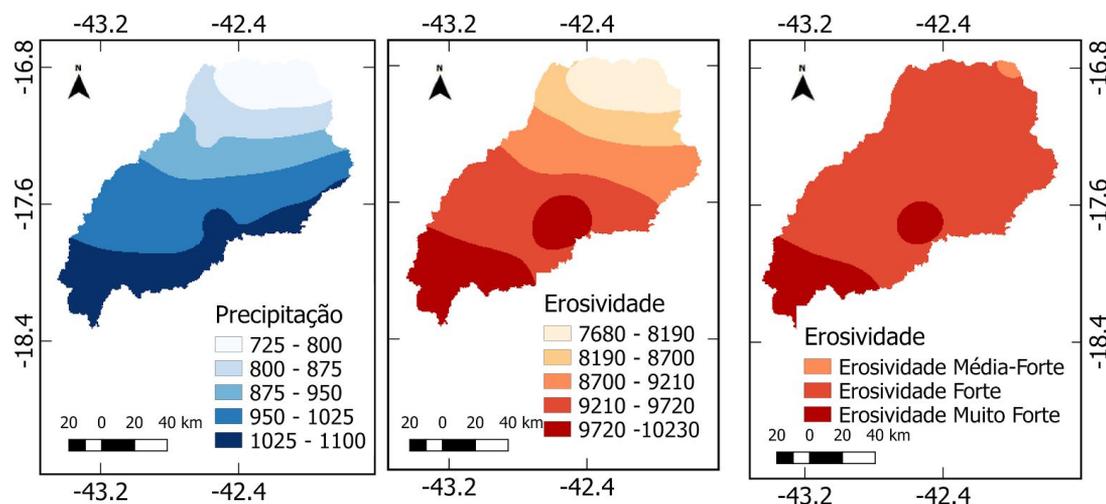


Figura 2: Comparação entre os totais pluviométricos (mm) e erosividade média na bacia do Rio Araçuaí ($\text{MJmm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

O mapa de erosividade da chuva mostra que na bacia do Rio Araçuaí, os maiores valores de erosividade estão situados em áreas de maior altitude, decrescendo gradualmente, na medida que se desloca para menores altitudes na parte norte. Das cinco classes de erosividade, três ocorrem na bacia: A erosividade Média-Forte, Forte e Muito Forte. A erosividade Média Forte, aparece apenas em um pequeno trecho junto à foz do Rio Araçuaí, a erosividade forte é a classe predominante na bacia, pois cobre quase que completamente o território da mesma, já a erosividade muito forte aparece em regiões próximas às nascentes, parte sul da bacia.

A análise da **Tabela 2** permite a visualizar a variação temporal da precipitação pluviométrica e da erosividade na bacia hidrográfica do Rio Araçuaí. Percebe-se que os meses de Junho, Julho e Agosto são os meses que apresentam os menores índices de precipitação e erosividade. Por outro lado, os meses de Janeiro e Dezembro representam os maiores índices.

Tabela 02 - Valores médios mensais e valor total anual da precipitação pluvial e da erosividade para a bacia do Rio Araçuaí (MG), entre 1996 e 2015.

Mês	Precipitação ⁽¹⁾		Erosividade ⁽¹⁾	
	mm	%	$\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{mês}^{-1}$	%
Janeiro	133,3 ± 29,8	14,0	1012,24 ± 138,7	13,7
Fevereiro	85,9 ± 18,6	9,0	298,98 ± 103,6	6,8
Março	116,4 ± 17,4	12,2	65,1 ± 41,0	11,0
Abril	53,9 ± 14,7	5,7	18,26 ± 22,3	3,2
Maio	20,3 ± 9,3	2,1	21,1 ± 37,4	0,7
Junho	8,5 ± 6,9	0,9	21,1 ± 10,7	0,2
Julho	8,5 ± 9,5	0,9	21,1 ± 37,4	0,2

Agosto	8,1 ± 7,1	0,9	17,42 ± 24,2	0,1
Setembro	21,1 ± 9,0	2,2	67,36 ± 36,8	0,7
Outubro	75,3 ± 11,5	7,9	505,72 ± 74,8	5,5
Novembro	206,9 ± 27,1	21,7	2534,0 ± 224,9	27,7
Dezembro	215,4 ± 37,8	22,6	2707,0 ± 498,9	29,6
Total	953,7 ± 198,7	100,0	9124,7 ± 1661,7	100,0

(1) Média de 20 anos e erro-padrão.

A precipitação média da bacia é de 953,7 mm, enquanto que a erosividade é de 9124,7 MJmm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Os cálculos de erosividade e precipitação apresentaram elevado erro-padrão, indicando alta variação da erosividade e precipitação na bacia. O mês com maior erosividade foi Dezembro com 2707,0 MJmm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹ enquanto o de menor valor foi agosto com 17,4 MJmm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹.

A precipitação pluvial do período de novembro a março corresponde a 79,5 % do total anual, e a erosividade para o mesmo período corresponde a 89,1 % do total, mostrando ser esse o período de maior risco em relação à erosão hídrica. Esses dados são similares a diversos trabalhos (Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Morais et al., 1991; Dias e Silva, 2003; Silva et al., 2009).

4. Conclusões

A bacia hidrográfica do Rio Araçuaí apresenta dois períodos bem definidos de precipitação pluviométrica: o chuvoso, que ocorre de outubro a março, com média máxima de 215,4 mm em dezembro; e o seco, que acontece de abril a setembro, com média mínima de 8,1 mm em agosto. As precipitações médias anuais acumuladas variam de 677,5 mm a 1184,6 mm.

As estimativas dos índices de EI30 revelam valores médios anuais acumulados de 7118,6 a 10638,37 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com maiores riscos de ocorrência de perdas de solo por erosão hídrica no mês de dezembro (2707,0 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹), principalmente na região sul da bacia (região de maior altitude).

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pelo apoio e fomento a pesquisa.

Referências Bibliográficas

AMORIM, R. S. S.; DA SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. De MATOS, A. T. Avaliação Do Desempenho Dos Modelos de Predição da Erosão Hídrica Usle, Rusle e Wepp para Diferentes Condições Edafoclimáticas do Brasil. *Revista Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.30, n.6, p.10461049, nov./dez. 2010.

ANGULO-MARTÍNEZ e BEGUERÍA, S. Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: a comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). *Journal of Hydrology* 379, 111–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.09.051>. 2009.

AQUINO, R.F. **Padrões de chuva e variabilidade espacial da erosividade para o sul do Estado de Minas Gerais**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2005. 98p. (Tese de Mestrado).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

BRAZIL, A. N. A. Hidroweb, Sistemas de Informações Hidrológicas (SIH). Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, DF, Brazil. 2016. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>. Acesso em 28 de Setembro de 2016.

CAPOLONGO *et al.* Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (southern Italy). **Journal of Hydrology** 356, 119–130.2008.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro, CPRM - Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, 1994. 372p.

CARVALHO, M.P. **Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa (SP)**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 1987. 104p. (Tese de Mestrado)

COGO, N. P. *et al.* **Retomada, redefinição e intensidade da pesquisa em erosão do solo no Brasil**. In: **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água: Manejo Integrado a Ciência do Solo na Produção de Alimentos**, 15. Santa Maria - RS. UFSM, 2004. p.1-18.

DINIZ, H. N.; PEREIRA, P. R. B.; GUTJAHR, M.R.; MENEGASSE, L. N.; OLIVEIRA, F. R.; DUARTE, U. Geologia, Climatologia e Hidrologia da Bacia do Rio Araçuaí, Estado de Minas Gerais – Brasil. In: **ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA**, 8, 2001, Santiago de Chile. Anais... Santiago de Chile: Universidad de Chile. 2001.

FERRO, Vito; PORTO, Paolo; YU, Bofu. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. **Hydrological Sciences Journal**, v. 44, n. 1, p. 3-24, 1999.

HORSWELL, M.; QUINN, N. Minimising sediment delivery to rivers: a spatial modelling approach developed for commercial forestry. **DIFFUSE POLLUTION CONFERENCE DUBLIN**, 2003. IGAM. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí: Relatório Síntese**. 2010.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. Cornell Univ. Press, New York, USA, 1971.

IGAM. Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí – JQ2. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais/bacia-do-rio-jequitinhonha/jq2-cbh-do-rio-aracuai/1164-conh-eca-a-bacia-jq2>>. Acesso em: 24.OUT.2016.

MELLO, C.R. e SILVA, A. M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. **R. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, 13:68-74, 2009.

MEN, M.; YU, Z. e XU, H. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on statistics in Hebei Province, China. **Front. Agric. China**, 2:281-289, 2008.

MORGAN, R. P. **Soil erosion and conservation**, 3rd ed. Blackwell Pub., Malden, MA, x, 304.2005.

OLIVEIRA, F. R.; MENEGASSE, L. N.; DUARTE, U. 2000. Hidrogeologia da região de Araçuaí, no Médio Vale do Rio Jequitinhonha-MG. **10º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 5º Congresso Latino Americano de Águas Subterrâneas**, ABAS / ALHSUD, Fortaleza, Ago. 2000.

OLIVEIRA, L. M. M. de; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO A. C. D.; SILVA, B. B. da; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1209-1217, 2012.

OLIVEIRA, F.P.; SILVA, M.L.N.; CURIN,.; 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.

PANAGOS et al. Rainfall erosivity in Europe. **Elsevier, Science of the Total Environment**. 2015.

RENARD, K.G., FREIMUND, J. R.,. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *J. Hydrol.* 1994.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; McCOOL, D.R.& YODER, D.C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington D.C., Departament of Agriculture, 1997. 404p.

RUHOFF, A. L. **Avaliação dos processos erosivos na bacia do Arroio Grande, RS, através da equação universal de perdas de solos**. 2006.

SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena* 57, 251–259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>. 2004.

SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C. & FERREIRA, M.M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:1811-1820, 2009.

SOUZA, C. K.; MARQUES JUNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal “SP”. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1067-1074. 2003.

VIEIRA, S.R., LOMBARDI NETO, F. Spatial variability of rainfall erosivity for the State of São Paulo, Brazil. **Bragantia** 54, 405–412. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051995000200018>.1995.

WISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington, DC, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537)