

Erosividade da chuva para a região do Planalto Serrano de Santa Catarina, Brasil

Rainfall erosivity for the Planalto Serrano Region of Santa Catarina, Brazil

Álvaro J. Back

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Epagri, Urussanga, SC, Brasil
(E-mail: ajb@epagri.sc.gov.br)
<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17264>

Recebido/received: 1017.10.18
Recebido em versão revista/received in revised form: 2018.01.23
Aceite/accepted: 2017.01.30

RESUMO

Este trabalho teve como objectivo estimar o factor erosividade das chuvas e avaliar o padrão de distribuição temporal das chuvas erosivas para a região do Planalto Serrano de Santa Catarina. Foram analisados os pluviogramas das estações meteorológicas de São Joaquim (do período de 1970 a 2014) e de Lages (do período de 1969 a 2014). A erosividade das chuvas foi determinada pelo índice EI30. Com base nos resultados obtidos foram ajustadas as equações para estimativa do índice EI30 em função do Índice de Fournier Modificado (IFM). As equações indicadas para estimativa da erosividade de Lages e São Joaquim são respectivamente $EI30 = 148,3 IFM^{0,584}$ e $EI30 = 35,4 IFM + 49,1$. Também foram determinadas as frequências de chuvas erosivas de acordo com o padrão de distribuição temporal. As chuvas erosivas representam 83,6% e 81,5% do volume das chuvas de São Joaquim e Lages, respectivamente. As equações ajustadas permitem estimar o factor de erosividade para os locais onde somente existem dados observados em pluviômetros. O factor erosividade estimado para São Joaquim é de $7579,3 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$, é classificado como erosividade Alta, e para Lages o valor foi $5546,8 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$, classificado com Média. Em ambas estações predominam as chuvas erosivas do padrão Avançado, seguido do Intermediário e Atrasado.

Palavras-chave: erosão; erosão hídrica, erosividade, factor R, índice EI30.

ABSTRACT

The objective of this work was to estimate the rainfall erosivity factor and evaluate the temporal distribution pattern of the erosive rains for the Planalto Serrano region of Santa Catarina, Brazil. The pluviograms of the meteorological stations of São Joaquim (from the period of 1970 to 2014) and of Lages (from 1969 to 2014) were analyzed. Rainfall erosivity was determined by the EI30 index. Based on the results obtained, the equations for estimating the EI30 index were adjusted according to the Modified Fournier Index (IFM). The equations recommended respectively for Lages and São Joaquim are $EI30 = 148.3 IFM^{0.584}$ and $EI30 = 35.4 IFM + 49.1$. The frequencies of erosive rains were also determined according to the temporal distribution pattern. Erosive rains represent 83.6% and 81.5% of the rainfall volume of São Joaquim and Lages, respectively. The adjusted equations allow estimating the erosivity factor for the places where only information measured in rain gauges exists. The estimated erosivity factor for São Joaquim is $7579.3 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$, classified as High Erosivity, and for Lages the value was $5546.8 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$, classified as Medium. In both stations the erosive rains of the Advanced pattern predominate, followed by Intermediate and Delayed.

Keywords: EI30 index, erosion, erosivity, R factor, water erosion.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é apontada como um dos maiores problemas ambientais, sendo também responsável pela diminuição da produtividade agrícola dos

solos (Lee e Lin, 2015; Wang *et al.*, 2016; Sadeghi *et al.*, 2017). Melhores práticas de uso e manejo de solos e estimativas de perdas de solos por erosão hídrica vêm sendo estudadas com o emprego de modelos matemáticos (Amorim *et al.*, 2010; Kinnell, 2010).

Entre os modelos de perdas de erosão destacam-se a Equação Universal de Perda do Solo (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1958), em que a estimativa das perdas médias de solo é dada pelo produto de seis factores, que são o factor erosividade da chuva (factor R), expresso por um índice numérico que estima a capacidade da chuva de provocar erosão, $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; o factor erodibilidade do solo (factor K), representando a susceptibilidade do solo à erosão, em $\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; o factor comprimento do declive (factor L), que é a relação de perdas de solo entre uma encosta com certo comprimento e a padrão com 25 m; o factor grau de declive (factor S), que é a relação de perdas de solo entre uma encosta com certo declive e a padrão com 9%, sendo as demais condições iguais; factor de uso e manejo (factor C), que é a relação de perdas de solo entre um solo cultivado com determinada cultura e esse mesmo solo mantido constantemente sem cobertura, isto é, nas mesmas condições do factor K; e factor prática conservacionista (factor P) que é a relação de perdas de solo entre um solo com determinada prática de controle da erosão e um solo sem prática conservacionista.

Algumas modificações e revisões foram realizadas na USLE possibilitando a criação de modelos MUSLE (Equação Universal de Perda do Solo Modificada) e RUSLE (Equação Universal Revista de Perda do Solo), além de vários outros modelos empíricos, bem como físicos e conceituais. A RUSLE permite estimar a perda média anual de solos resultantes do impacto de gotas de chuva e escoamento sobre superfícies inclinadas, é o modelo mais utilizado em larga escala espacial (Kinnell, 2010; Panagos *et al.*, 2015).

O factor R tem sido considerado um dos mais importantes componentes da USLE (Wischmeier e Smith, 1978) e RUSLE (Renard *et al.*, 1997). Nas regiões de clima temperado, a variável que tem fornecido melhores resultados para avaliar a erosividade da chuva é o produto da sua energia cinética (EC) por sua intensidade máxima em 30 minutos (I30), sendo expressa como EI30. Wischmeier e Smith (1958), pesquisando a relação entre as diferentes características físicas da chuva e as perdas de solo evidenciadas nos Estados Unidos, observaram que o índice EI30 foi capaz de explicar de 72% a 97% das perdas de solo causadas pelas chuvas. Vários trabalhos realizados no Brasil correlacionando

as perdas de solo com índices de erosividade mostram que o índice EI30 é um bom estimador da erosividade (Marques *et al.*, 1997; Eltz *et al.*, 2013).

A metodologia para a determinação da erosividade de uma chuva individual é baseada na análise dos pluviogramas, sendo necessárias longas séries de dados para obtenção de um valor médio representativo. A dificuldade de obter esses dados, tanto no Brasil como em outros países foi apontada por vários autores (Beskow *et al.*, 2009; Mello *et al.*, 2007; Lobo e Bonilla, 2015; Yin *et al.*, 2015). Um método alternativo muito usado é a estimativa do índice de erosividade a partir das médias pluviométricas mensais, que Waltrick *et al.* (2015) denominaram de método pluviométrico. Para uso deste método alternativo há necessidade de equações relacionando os dois métodos.

Outra característica da chuva relacionada com o processo de erosão hídrica do solo é o padrão hidrológico, que diz respeito à distribuição da chuva durante a sua duração. Neste sentido, as chuvas erosivas têm sido classificadas em padrões avançado, intermediário e atrasado, conforme o terço da duração em que ocorre o pico de intensidade da chuva (Oliveira *et al.*, 2011; Eltz *et al.*, 2013). Para chuvas de padrão atrasado espera-se maior escoamento superficial, e por isso são consideradas mais problemáticas do ponto de vista de erosão.

O estudo do padrão de distribuição temporal de chuvas é realizado com objectivo de caracterizar o padrão de chuva mais frequente. Eltz *et al.* (2001) ressaltam que a maioria dos estudos com chuvas simuladas utiliza um único padrão de chuva, o padrão constante, o que não é coerente em regiões tropicais onde as perdas de solo são mais correlacionadas às chuvas de alta intensidade e curta duração. Evangelista *et al.* (2005) ressaltam que o conhecimento das características físicas das chuvas com relação aos padrões de precipitação permite realizar com maior exactidão estudos com chuva simulada, por utilizar condições mais próximas às condições reais, ou seja, das chuvas naturais.

Agnese e Bagarello (1997) afirmam que a ocorrência dos picos de intensidade durante a chuva afecta a predição da infiltração de água no solo, sendo que as intensidades médias não representam a realidade dos eventos naturais de precipitação.

Salomão (1999) afirma que para adoptar medidas de controlo preventivo e correctivo da erosão é imprescindível entender os processos da dinâmica de funcionamento hídrico sobre o solo.

De acordo com Bemfica *et al.* (2000), os modelos hidrológicos chuva-vazão têm como entrada dados de precipitação, e o conhecimento da distribuição temporal da intensidade da chuva durante as tormentas assume grande importância, pois condiciona o volume infiltrado e a forma do hidrograma de escoamento superficial directo. Diversas metodologias foram desenvolvidas para a obtenção da chuva de projecto, que na sua grande maioria não visam a reprodução de eventos reais, mas sim situações com efeitos críticos de escoamento. Tais procedimentos são obtidos a partir da análise de dados observados de precipitação da região em estudo e podem ser aplicados em projectos dessa mesma região.

Na maioria dos trabalhos realizados sobre chuvas erosivas de Santa Catarina foi dada ênfase na determinação do factor erosividade da chuva pelo índice EI30, e faltam estudos sobre as características das chuvas erosivas, principalmente em regiões de grande altitude. Bertol (1993) com dados de apenas 10 anos de Lages não obteve ajuste significativo para a equação de estimativa do índice EI30 em função do índice de Fournier modificado e já sugeria realizar estudos no futuro com maior quantidade de dados visando obter melhor correlação. Schick *et al.* (2014), apesar de utilizar dados de 1989 a 2012 de Lages não apresentaram as equações para a estimativa de EI30 com base nos dados pluviométricos.

Este trabalho teve como objetivos analisar as características das chuvas erosivas, ajustar a equação para estimativa da erosividade com base nos dados pluviométricos e determinar o padrão de distribuição temporal das chuvas erosivas da região do Planalto Serrano de Santa Catarina.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados os dados das estações meteorológicas de São Joaquim e Lages (Quadro 1), pertencentes à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI, 1999). O clima

da região do Planalto Serrano de Santa Catarina é classificado segundo Köppen como clima Cfb, ou seja, clima temperado constantemente húmido, sem estação seca, com verão fresco (Figura 1). Em São Joaquim a precipitação pode variar de 1450 a 1650 mm, com total de dias de chuva anual em torno de 135 dias. Em Lages a precipitação pluviométrica pode variar de 1360 a 1600 mm, com um total de dias de chuva anual variando de 123 a 140 dias (EPAGRI, 1999).

Quadro 1 - Características das estações e séries utilizadas

Dados	Estação	
	São Joaquim	Lages
Latitude (S)	28°19'	27°49'
Longitude (W)	49°55'	50°20'
Altitude (m)	1288	937
Dados pluviográficos	1970 - 2014	1969 - 2014
Dados pluviométricos	1970 - 2016	1969 - 2016

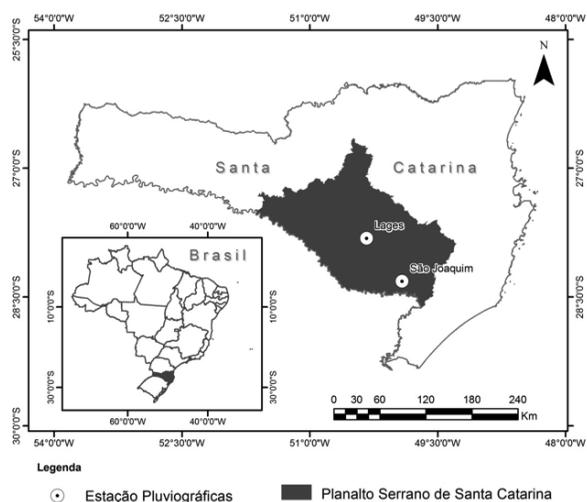


Figura 1 - Localização da área de estudo e estações pluviográficas.

O primeiro passo na determinação da erosividade das chuvas é a identificação e individualização das chuvas erosivas. Para a identificação da chuva individual foram adotados os critérios sugeridos por Wischmeier e Smith (1958) e que vem sendo usados na caracterização da erosividade das chuvas no Brasil (Carvalho *et al.*, 2005; Cassol *et al.*, 2007; Martins *et al.*, 2009; Eltz *et al.*, 2013), que considera chuva individual aquela separada da anterior

e da posterior por um período mínimo de 6 h sem chuva ou com menos de 1 mm. A classificação das chuvas erosivas foi realizada de acordo com critérios descritos por Cassol *et al.* (2007), onde são consideradas chuvas erosivas aquelas com quantidade igual ou superior a 10 mm, ou igual ou superior a 6 mm em um período máximo de 15 min.

O cálculo da energia cinética unitária de cada segmento uniforme de chuva foi obtido pela expressão proposta por Wischmeier e Smith (1978) em unidades do sistema internacional:

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

sendo: EC a energia cinética unitária ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$); i é a intensidade da chuva dada em mm h^{-1} no segmento considerado. Para as intensidades são iguais ou superiores a 76 mmh^{-1} considerou-se que a energia cinética passa a ter o valor máximo de $0,283 \text{ MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$.

O cálculo da energia cinética do segmento expressa em MJ ha^{-1} , multiplicando a EC pela quantidade de chuva no respectivo segmento uniforme, isto é:

$$Ecs = EC h \quad (2)$$

em que: Ecs é a energia cinética do segmento (MJ ha^{-1}); h é a altura pluviométrica do segmento (mm).

O cálculo da energia cinética total da chuva, somando-se a energia cinética de cada segmento uniforme, isto é:

$$EC_t = \sum Ecs \quad (3)$$

A determinação do índice EI_{30} , que representa a erosividade de cada chuva individual e erosiva, é dada pela expressão:

$$EI_{30} = EC_t I_{30} \quad (4)$$

em que: EI_{30} é o índice de erosividade da chuva erosiva individual ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$); EC_t é a energia cinética total da chuva (MJ ha^{-1}); I_{30} é a intensidade máxima média de precipitação em 30 min (mm h^{-1}).

Para analisar os resultados de erosividade da chuva foi adaptada a classificação apresentada por Santos (2008), conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Classes de erosividade da chuva média anual e mensal

Classe de erosividade	Valores de erosividade ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)	
	anual	mensal
Muito baixa	$R < 2500$	$R < 250$
Baixa	$2500 < R < 5000$	$250 < R < 500$
Média	$5000 < R < 7000$	$500 < R < 700$
Alta	$7000 < R < 10000$	$700 < R < 1000$
Muito alta	$R > 10000$	$R > 1000$

Para a utilização das séries pluviométricas foram correlacionados os índices de erosividade médios mensais com os valores do índice de Fournier Modificado (IFM), que é calculado como

$$IFM = \frac{Pm^2}{Pa} \quad (5)$$

Em que IFM: é o índice de Fournier Modificado (mm); Pm é a precipitação média mensal (mm); Pa é a precipitação média anual (mm).

Na análise de regressão foram testados o modelo linear e potência, dados respectivamente pelas equações:

$$EI_{30} = a(IFM) + b \quad (6)$$

$$EI_{30} = a(IFM)^b \quad (7)$$

A soma dos valores mensais de EI_{30} constitui o factor R para ser usado tanto na Equação Universal de Perda do Solo (USLE) como também na Equação Universal Revista de Perda do Solo (RUSLE) (Renard *et al.*, 1997; Kinnell, 2010).

As chuvas erosivas foram classificadas em padrões de distribuição temporal denominados de padrão Avançado, quando a maior intensidade ocorre no terço inicial do tempo de duração total da chuva; padrão Intermediário quando a maior intensidade é verificada no terço intermediário; e padrão Atrasado quando a maior intensidade ocorre no terço final do tempo total de duração da chuva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em São Joaquim a média de precipitação anual foi de 1616,4 mm, com médias mensais variando entre 98,9 mm a 169,8 mm (Quadro 3). Em Lages

a precipitação média anual foi de 1484,9 mm e a precipitação média mensal variou de 98,0 mm a 159,0 mm. A precipitação erosiva representou 83,6% para São Joaquim e 81,5% para Lages. Nos meses de Abril a Outubro os percentuais de chuva erosiva são ligeiramente superiores aos demais meses do ano. Bertol (1993) analisando dados de Lages do período de 1989 a 1990 e Schick *et al.* (2014), analisando dados de 1989 a 2012, encontraram o valor de 83% de chuvas erosivas. Back *et al.* (2017) observaram que para o Vale do Rio do Peixe, no oeste de Santa Catarina o percentual de chuva erosivas variou de 81,4 a 88,5%.

Existe grande variação nos valores das séries mensais de erosividade (Figura 2), com a presença de valores extremos. Em São Joaquim a erosividade média dos meses de Janeiro, Fevereiro e Novembro foi superior a 700 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, classificada como Alta erosividade, enquanto que de Abril a Junho a erosividade é inferior a 500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, classificada como Baixa. Para Lages observou-se que os maiores valores de erosividade ocorrem em Janeiro, e Fevereiro e Outubro, com valores entre 500 e 700 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, classificada como Média. Os menores valores ocorrem de Junho a Agosto, com valores abaixo de 300 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Em vários meses o coeficiente de variação é superior a 100% (Quadro 3), evidenciando a grande dispersão dos valores de erosividade. A elevada dispersão nos dados de erosividade de Lages já tinha sido destacada por Bertol (1993), Bertol *et al.* (2002) e Schick *et al.* (2014).

Em São Joaquim (Figura 2A) o maior valor mensal foi observado em Janeiro, com 3295 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, no entanto pode-se observar que ocorreram valores mensais acima de 2000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ nos meses de Janeiro, Março, Abril e Julho. Em Lages (Figura 2B) foi registado o maior valor de 4032 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ no mês de Fevereiro e também ocorrências de valores acima de 2000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ nos meses de Janeiro, Fevereiro, Julho, Outubro e Novembro.

Em São Joaquim foi observada erosividade Alta nos meses de Janeiro, Fevereiro e Novembro. Nos meses de Julho a Outubro a erosividade foi acima de 600 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, e com coeficiente de variação superior a 100%. Em Lages a erosividade média mensal foi classificada como Média nos meses de Janeiro, Fevereiro e Outubro. O coeficiente de variação de Lages na maioria dos meses foi inferior aos observados em São Joaquim, em parte isto se deve ao maior número de falhas nos dados de São Joaquim. A média de erosividade anual é considerada como o factor R para uso na equação universal de perda do solo (USLE). Como existe grande variação nesses dados, a presença de valores extremos pode alterar o valor da média. Por isso é importante que essa determinação seja realizada com longas séries de dados. Hernando e Romana (2016) apontam a necessidade de séries com mais de 20 anos de registos pluviográficos para a estimativa do factor erosividade. Wischmeier e Smith (1978), ao descrevem a metodologia para o cálculo do índice de erosividade, afirmaram que o factor

Quadro 3 - Dados de chuva e índice de erosividade EI30 (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) das séries pluviográficas de São Joaquim e Lages, Santa Catarina

Período	São Joaquim				Lages			
	Precipitação		Erosividade EI30		Precipitação		Erosividade EI30	
	Total (mm)	Erosivas (%)	Média (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)	CV (%)	Total (mm)	Erosiva (%)	Média (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)	CV (%)
Jan.	153,6	80,6	789,7	94,4	150,4	77,1	667,5	82,1
Fev.	169,8	81,4	870,7	47,7	141,6	77,9	697,1	104,0
Mar.	116,2	81,2	592,7	91,7	108,2	76,5	443,6	86,3
Abr.	98,9	85,0	455,0	113,7	98,0	81,2	329,3	90,4
Mai.	116,1	82,5	426,9	96,1	112,4	83,2	302,2	123,5
Jun.	111,3	86,1	450,1	82,3	104,5	79,9	193,3	74,8
Jul.	138,4	89,0	635,1	132,2	121,6	84,8	277,9	129,8
Ago.	164,8	85,4	639,4	109,9	115,2	84,3	258,8	119,6
Set.	149,0	85,5	652,8	107,9	132,8	84,2	365,8	86,5
Out.	139,2	84,8	659,1	117,1	159,0	87,1	532,0	87,9
Nov.	154,3	84,3	743,3	88,0	122,2	81,1	490,1	104,6
Dez.	104,8	76,4	450,0	92,0	118,8	79,8	499,0	85,1
Ano	1616,4	83,6	7364,8	63,0	1484,9	81,5	5056,6	29,3

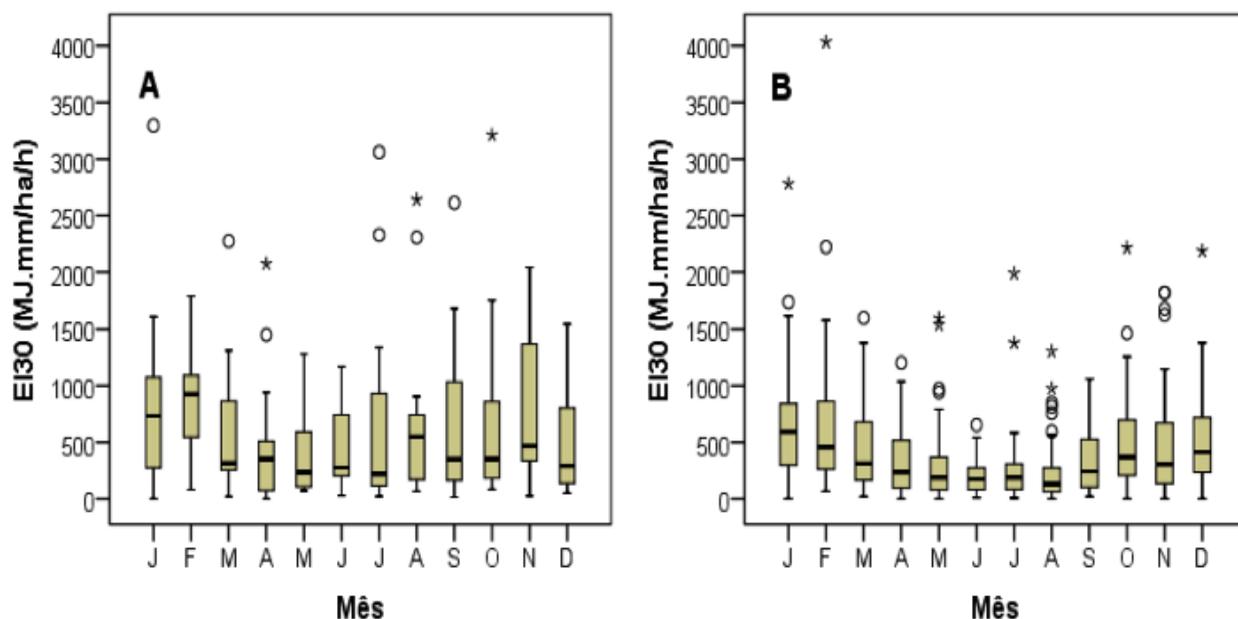


Figura 2 - Valores de erosividade mensal de São Joaquim (A) e Lages (B).

R deveria ser obtido da análise de um período mínimo de 22 anos, de forma a incluir períodos relativamente secos e outros períodos mais chuvosos.

Na Figura 3 constam as equações ajustadas para a estimativa dos valores de EI30 em função do

IFM. Para São Joaquim obteve-se ajuste ligeiramente superior com o modelo potencial ($EI30 = 148,3IFM^{0,584}$; $r^2=0,80$) em relação ao linear ($EI30 = 32,0 IFM + 243,7$; $r^2= 0,79$). Para Lages o modelo linear ($EI30 = 35,4 IFM + 49,1$; $r^2= 0,51$) foi superior ao modelo potencial ($EI30 = 46,1IFM^{0,926}$; $r^2=$

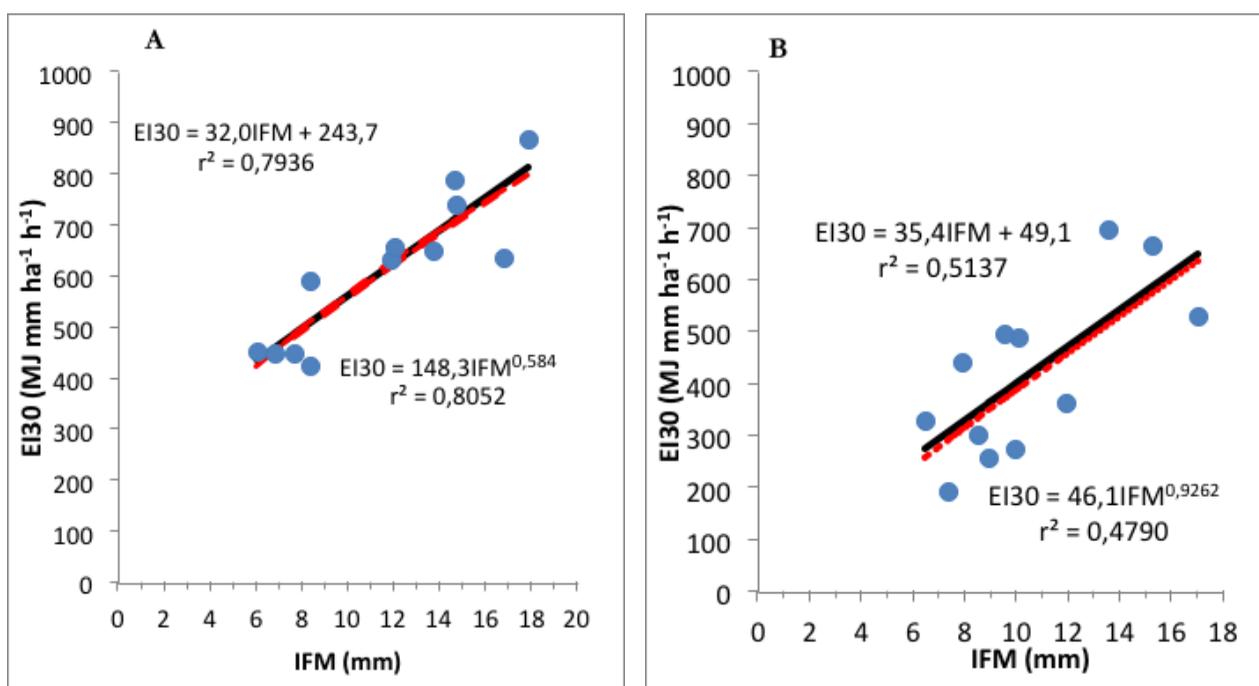


Figura 3 - Equações ajustadas para estimativa da erosividade (EI30) em função do índice de Fournier Modificado (IFM) de São Joaquim (A) e Lages (B).

0,48). Os valores de r^2 das equações ajustadas para Lages foram inferiores aos obtidos para São Joaquim. No entanto, tanto para Lages como para São Joaquim tanto o modelo linear como o modelo potência foram significativos ($p < 0,01$) e podem ser usados na estimativa da erosividade. Os valores do coeficiente de determinação obtidos estão coerentes com os valores apresentados na maioria dos estudos realizados no Brasil. Oliveira *et al.* (2012) apresentaram 73 equações de regressão de diferentes locais do Brasil, mostrando que o coeficiente de determinação variando de 0,61 a 0,94. Alguns trabalhos realizados com dados do Rio Grande do Sul obtiveram valores de r^2 mais baixos, porém estatisticamente significativos (Cassol *et al.*, 2007; Martins *et al.*, 2009).

No Quadro 4 constam os dados de precipitação média mensal observada nos pluviômetros das respectivas estações e a erosividade estimada com a equação ajustada. As médias de chuva das séries pluviométricas são em geral superiores aos valores das séries pluviográficas. Essas diferenças se devem em parte pelas falhas existentes nas séries pluviográficas, com ausência de dados em alguns meses durante o período de observação, e também pelo fato de haver perdas de água durante a sifonagem. Essas perdas, embora pequenas, levam a erros sistemáticos no registro dos pluviogramas, em que os totais de chuva registrados nos pluviômetros são, na maioria dos casos, um pouco superiores aos totais de chuva registrados nos pluviogramas. As diferenças no total anual de chuva da série pluviométrica e pluviográfica foram de 5,3% e 10,1%, respectivamente para São Joaquim e Lages. As diferenças no total de EI30 foram de 2,9% e 9,7% respectivamente para São Joaquim e Lages. No entanto, comparando os valores mensais de EI30 calculados da série de dados pluviográficos (Quadro 3) com os valores estimados da série pluviométrica (Quadro 4) observa-se que em alguns meses existem diferenças acima de 30%, para São Joaquim, e acima de 60 % para Lages. Esses altos valores devem-se em parte pelas diferenças nos valores de precipitação e principalmente pelo ajuste da equação de regressão.

O valor médio anual da erosividade de São Joaquim é de 7579,3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ é classificado como erosividade Alta. Para Lages o valor foi 5546,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ é classificado com Média. Esses valores estão

Quadro 4 - Dados médios de chuva registrada nos pluviômetros e erosividade estimada (EI30) (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) de São Joaquim e Lages, Santa Catarina

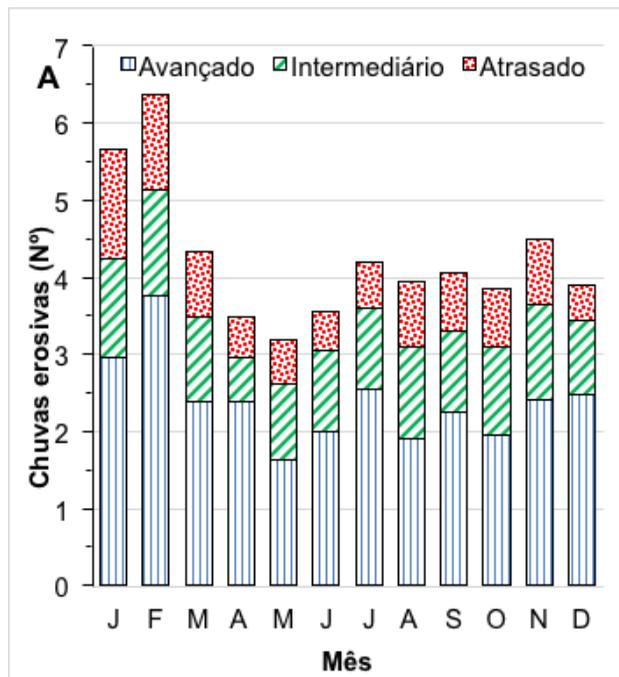
Período	São Joaquim		Lages	
	Chuva (mm)	EI30	Chuva (mm)	EI30
Jan.	172,6	803,7	171,3	684,6
Fev.	174,7	817,6	154,7	567,3
Mar.	134,1	581,7	120,5	363,5
Abr.	94,3	410,7	105,8	291,3
Mai	116,8	500,1	110,8	315,0
Jun.	120,4	516,1	110,5	313,5
Jul.	148,9	660,3	130,7	418,9
Ago.	150,6	669,9	126,1	393,2
Set.	157,7	711,3	158,7	594,5
Out.	158,3	714,6	174,4	707,5
Nov.	136,0	591,2	132,6	430,0
Dez.	138,1	602,2	139,0	467,4
Ano	1702,3	7579,3	1635,3	5546,8

coerentes com outros trabalhos de erosividade realizados no Brasil (Lombardi Neto, 1977; Gonçalves *et al.*, 2006) e principalmente com outros estudos realizados em Santa Catarina (Bertol, 1993, 1994; Valvassori e Back, 2014; Back *et al.*, 2017). Bertol *et al.* (2002) analisando dados de 1989 a 1998 de Lages encontraram o valor de 5790 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Schick *et al.* (2014) analisando dados de 1989 a 2012 anos de Lages, encontraram o valor R de 5033 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Com relação às frequências de chuva erosivas de acordo com o padrão de distribuição temporal, nas duas estações foi observado comportamento semelhante, com predomínio de chuvas do padrão Avançado (56,1% e 53,5 %, respectivamente para São Joaquim e Lages) seguido do padrão Intermediário (25,5% e 30,7 %, respectivamente para São Joaquim e Lages) e Atrasado. Este predomínio de chuvas dos padrões Avançado foi observado em alguns trabalhos realizados com estações pluviográficas localizadas no estado do Rio Grande do Sul (Mehl *et al.*, 2001; Peñalva-Bazzano *et al.*, 2007; Eltz *et al.*, 2013), Santa Catarina (Valvassori e Back 2014), Goiás (Oliveira *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013; Rezende *et al.*, 2015), Rio de Janeiro (Carvalho *et al.*, 2005) e Pernambuco (Santos e Montenegro 2012), Segundo Mehl *et al.* (2001), a distribuição de chuva concentradas no padrão avançado permite esperar menores perdas de solo devido ao fato de que no momento do pico da chuva este estaria menos

húmido que no caso dos outros padrões, dessa forma, a desagregação, o selamento e o transporte seriam menores.

Na Figura 4 estão representados os valores médios do número de chuvas erosivas de acordo com o padrão de distribuição temporal. Em São Joaquim (Figura 4A) ocorrem maior número de chuvas erosivas nos meses de Janeiro e Fevereiro e menor nos meses de Abril a Junho. Entre Julho e Dezembro não existe variação acentuada no número médio de chuvas erosivas. Para Lages (Figura 4B), embora se observa menor variação entre os meses, pode-se notar um comportamento bimodal, com maiores valores nos meses de Janeiro e Fevereiro e também Outubro e Novembro.



de precipitação observada nos pluviômetros da região.

As equações indicadas para estimativa da erosividade de Lages e São Joaquim são respectivamente $EI_{30} = 148,3 IFM^{0,584}$ e $EI_{30} = 35,4 IFM + 49,1$.

O valor médio anual da erosividade estimada para São Joaquim é de $7579,3 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$, classificado como erosividade Alta. Para Lages o valor foi $5546,8 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$, classificado como Média.

Em São Joaquim as chuvas erosivas ocorrem com frequência de 56,1% no padrão Avançado; 25,6% do padrão do padrão Intermediário e 18,3% do padrão

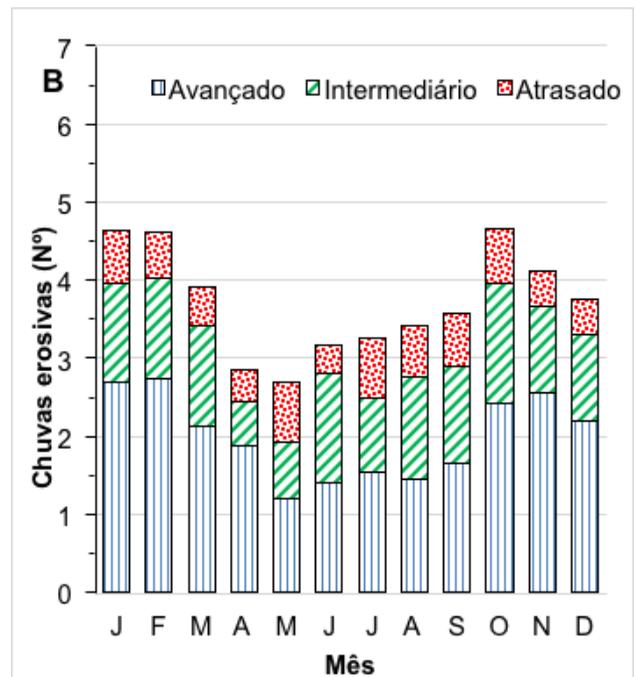


Figura 4 - Número médio de chuvas erosivas de acordo com o padrão de distribuição de São Joaquim (A) e Lages (B).

CONCLUSÕES

As chuvas erosivas representam 83,6% e 81,5% do volume da chuva total de São Joaquim e Lages.

O ajuste das equações, tanto para o modelo linear como para o modelo potencial, foi satisfatório e estatisticamente significativo, permitindo estimar a erosividade média anual com base nos dados

Atrasado. Para Lages as frequências são respectivamente 53,5%, 30,7% e 15,8%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnese, C. e Bagarello, V. (1997) – Describing rate variability of storm events for infiltration prediction. *Transactions of the ASAE*, vol. 40, n. 1, p.61-70. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.21249>
- Amorim, R.S.S.; Silva, D.D. da; Pruski, F.F. e Matos, A.T. (2010) – Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. *Engenharia Agrícola*, vol. 30, n. 6, p. 1046-1049. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000600006>
- Back, Á.J.; Pola, A.C. Ladwig, N.I. e Schwalm, H. (2017) – Erosive rainfall in Rio do Peixe Valley in Santa Catarina, Brazil; Part I – Determination of the erosivity index. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 21, n. 12, p. 774-779. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n11p774-779>
- Bemfica, D.C.; Goldenfum, J.A. e Silveira, A.L.L. (2000) – Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 5, n. 4, p. 5-16. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v5n4.p5-16>
- Bertol, I. (1993) – Índice de erosividade (EI30) para Lages (SC) – 1.^a aproximação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 28, n. 4, p. 515-21.
- Bertol, I. (1994) – Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 29, n. 9, p. 1453-1458.
- Bertol, I.; Schick, J.; Batistela, O.; Leite, D.; Visentin, D. e Cogo, N.P. (2002) – Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e1998 no município de Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 26, n. 2, p. 445-464. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000200019>
- Beskow, S.; Mello, C.R.; Norton, D.L.; Curi, N.; Viola, M.R. e Avanzi, J.C. (2009) – Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed model. *Catena*, vol. 79, n. 1, p. 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>
- Carvalho, D.F.; Montebeller, C.A.; Franco, E.M.; Valcarcel, R. e Bertol, I. (2005) – Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.9, n. 1, p. 7-14. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000100002>
- Cassol, E.A.; Martins, D.; Eltz, F.L.F.; Lima, V.S. e Bueno, A.C. (2007) – Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, vol. 15, n. 3, p. 220-231.
- Eltz, F.L.F.; Cassol, E.A.; Pascotini, P.B. e Amorim, R.S.S. (2013) – Potencial erosivo e características das chuvas de São Gabriel, RS, de 1963 a 1993. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 17, n. 6, p. 647-654. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000600011>
- Eltz, F.L.F.; Mehl, H.U. e Reichert, J.M. (2001) – Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuvas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 25, n. 2, p. 485-493. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000200024>
- EPAGRI (1999) – *Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina*. 1010 p.
- Evangelista, A.W.P.; Carvalho, L.G. e Bernardino, D.T. (2005) – Caracterização do padrão das chuvas ocorrentes em Lavras, MG. *Irriga*, vol. 10, p. 306-317.
- Gonçalves, F.A.; Silva, D.D. da; Pruski, F.F.; Carvalho, D.F. da e Cruz, E.S. da (2006) – Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 10, n. 2, p. 269-276. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000200004>
- Hernando, D. e Romana, M.G. (2016) – Estimate of the (R) USLE rainfall erosivity factor from monthly precipitation data in mainland Spain. *Journal of Iberian Geology*, vol. 42, n. 1, p. 113-124.
- Kinnell, P.I.A. (2010) – Event soil loss, runoff and the universal soil loss equation family of models: a review. *Journal of Hydrology*, vol. 385, n. 1-4, p. 384-397. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.024>
- Lee, M.H. e Lin, H.H. (2015) – Evaluation of annual rainfall erosivity index based on daily, Monthly, and annual precipitation data of rainfall station network in southern Taiwan. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 11, n. 6. <https://doi.org/10.1155/2015/214708>
- Lobo, G.P. e Bonilla, C.A. (2015) – Effect of temporal resolution on rainfall erosivity estimates in zones of precipitation caused by frontal systems. *Catena*, vol. 135, p. 202-207. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.08.002>
- Lombardi Neto, F. (1977) – *Rainfall erosivity – its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil*. West Lafayette, Purdue University. 53 p.

- Marques, J.J.G.S.M.; Alvarenga, R.C.; Curi, N.; Santana, D.P. e Silva, M.L.N. (1997) – Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados – primeira aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 21, n. 3, p. 427-434. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831997000300011>
- Martins, D.; Cassol, E.A.; Eltz, F.L.F. e Bueno, A.C. (2009) – Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Hulha Negra, Rio Grande do Sul, Brasil, com base no período de 1956 a 1984. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, vol. 15, n. 1, p. 29-38.
- Mehl, H.U.; Reichert, J.M. e Didoné, I.A. (2001) – Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 25, n. 2, p. 475-483. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000200023>
- Mello, C.R.; Sá, M.A.C.; Curi, N.; Mello, J.M. e Viola, M.R. (2007) – Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 42, n. 4, p. 537-545. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400012>
- Oliveira, P.T.S.; Wendland, E. e Nearing, M.A. (2012) – Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, vol. 100, p. 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>
- Oliveira, P.T.S.; Youlton, C.; Oliveira, D.B.B.; Sobrinho, T.A.; Wendland, E. e Mendiondo, E.M. (2011) – Estimativa do índice de erosividade e obtenção de padrões de precipitação usando séries curtas de dados. In: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, XIX, Maceió, ABRH, p. 1-9.
- Panagos, P.; Ballabio, C.; Borrelli, P.; Meusburger, K.; Klik, A.; Rousseva, S.; Tadic, M.P.; Michaelides, S.; Hrabalíková, M.; Olsen, P.; Aalto, J.; Lakatos, M.; Rymaszewicz, A.; Dumitrescu, A.; Beguería, S. e Alewell, C. (2015) – Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, vol. 511, p. 801-814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Peñalva Bazzano, M.G.; Eltz, F.L.F. e Cassol, E.A. (2007) – Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 5, p. 1205-1217. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500036>
- Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; McCool, D.K e Yoder, D.C. (1997) – *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, 404 pp.
- Rezende, C.C.; Andrade, A.F.; Ferreira, E.A.; Machado, R.L. e Conceição, J.L. (2015) – Erosividade e padrões de precipitação pluvial para Posse-GO. In: *Congresso estadual de Iniciação Científica do IF Goiano*. IFG.
- Sadeghi, S.H.; Zabihi, M.; Vafakhah, M. e Hazbavi, Z. (2017) – Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. *Natural Hazards*, vol. 87, n. 1, p. 35-56. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2752-3>
- Salomão, F.X.T. (1999) – Controle e Prevenção dos processos erosivos. In: Guerra, A.J.T.; Silva, A.S. e Botelho, R.G.M. (Orgs.) – *Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 230-267.
- Santos, C.N. (2008) – *El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul*. Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-graduação em Agronomia. (Tese de Doutorado). 138 p.
- Santos, T.E.M. e Montenegro, A.A.A. (2012) – Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. *Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 16, n. 8, p. 871-880. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000800009>
- Silva, T.V.; Machado, R.L.; Marques, D.R. e Ferreira, E.A. (2013) – Determinação do potencial erosivo e dos padrões de chuva de Rio Verde GO. In: *Simpósio de Pesquisa e Extensão de Ceres e Vale de São Patrício*, Ceres, Goiás.
- Schick, J.; Bertol, I.; Cogo, N.P. e González, A.P. (2014) – Erosividade de chuvas em Lages, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, vol. 38, n. 6, p. 1890-1905. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000600024>
- Valvassori, M.L e Back, Á.J. (2014) – Avaliação do potencial erosivo das chuvas em Urussanga, SC, no período de 1980 a 2012. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 38, n. 3, p. 1011-1019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000300033>
- Waltrick, P.C.; Machado, M.A.D.M.; Dieckow, J. e Oliveira, D. (2015) – Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 39, n. 1, p. 256-267. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20150147>

- Wang, B.; Zheng, F. e Guan, Y. (2016) – Improved USLE-K factor prediction: A case study on water erosion areas in China. *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 4, n. 3, p. 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.08.003>
- Wischmeier, W.H. e Smith, D.D. (1958) – Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Eos Trans AGU*, vol. 39, n. 2, p. 285-291. <http://dx.doi.org/10.1029/TR039i002p00285>
- Wischmeier, W.H. e Smith, D.D. (1978) – . *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. U.S Department of Agriculture, Agr. Handbook, vol. 537, p. 1-58.
- Yin, S.; Xie, B.; Liu, B. e Nearing, M.A. (2015) – Rainfall erosivity estimation based on rainfall data collected over range of temporal resolutions. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 19, p. 4113-4126. <https://doi.org/10.5194/hess-19-4113-2015>