
NOTA TÉCNICA:**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE DA CHUVA NO ESPÍRITO SANTO**

Michel Castro Moreira¹, Roberto Avelino Cecílio², José Eduardo Macedo Pezzopane³, Fernando Falco Pruski⁴, Danilo Costa Fukunaga⁵

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo implementar computacionalmente redes neurais artificiais (RNAs) para estimativa dos valores médios mensais e anuais da erosividade da chuva (R) no Estado do Espírito Santo. Considerando que o valor mensal de R é obtido pelo somatório dos valores mensais dos índices de erosividade EI_{30} ou $KE > 25$, e que para cálculo destes existem duas metodologias de obtenção da energia cinética de precipitação, foram utilizadas quatro RNAs para cada mês, totalizando 48 redes. De posse das RNAs foi necessário conhecer as respectivas arquiteturas, funções de ativação dos neurônios e os parâmetros livres w 's e b 's para então serem geradas as funções matemáticas que as representassem. As RNAs foram implementadas utilizando-se o ambiente de programação Borland Delphi 7.0. O programa computacional desenvolvido (netErosividade ES) permite, de forma fácil e rápida, a obtenção dos valores mensais e anuais de R para qualquer localidade do Espírito Santo.

Palavras-chave: equação universal de perda de solo, Interpolação espacial, Manejo de bacias hidrográficas, Redes neurais artificiais

ABSTRACT**SOFTWARE TO ESTIMATE RAINFALL EROSIVITY IN ESPÍRITO SANTO STATE**

This study reports development of a software capable of applying Artificial Neural Networks (ANNs) to estimate mean monthly and annual rain erosivity (R) in Espírito Santo State. Considering that the monthly value of the R is obtained by summing the monthly erosivity indexes EI_{30} or $KE > 25$, and that there are two methods to obtain the rain kinetic energy, 4 ANNs were used for each month totaling 48 ANNs. It was necessary to know the respective architectures, neuron activation functions and the free parameters w 's and b 's to generate the mathematical functions representing ANNs. ANNs were implemented using the software Borland Delphi 7.0. This software (netErosividade ES) permits fast and easy prediction of monthly and annual R factor for any locality of Espírito Santo state,.

Keywords: artificial neural networks, Spatial interpolation, Universal soil loss equation, Watershed management

Recebido para publicação em 01/08/2011. Aprovado em 02/08/2012.

1- Bacharel em Informática, Professor da UFBA, michelcm@gmail.com

2- Engenheiro Agrícola, Professor da UFES, Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq, roberto.cecilio@ufes.br

3- Engenheiro Florestal, Professor da UFES, Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq, jose.pezzopane@ufes.br

4- Engenheiro Agrícola, Professor da UFV/Viçosa-MG, Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq, ffpruski@ufv.br

5- Engenheiro Agrícola e Ambiental, Mestrando em Ciências Florestais da UFES, danilofukunaga@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica, que é o processo de desprendimento e transporte das partículas do solo, consiste no maior problema agrícola mundial. Sua ocorrência acarreta grandes prejuízos para diversas atividades econômicas e ao próprio meio ambiente. Estima-se que os prejuízos econômicos associados à erosão hídrica sejam de cerca de US\$ 7,4 bilhões por ano nos Estados Unidos (PIMENTEL *et al.*, 1995), US\$ 4,2 bilhões no Brasil (HERNANI *et al.*, 2002), chegando a US\$ 45,5 bilhões na União Européia (TELLES *et al.*, 2011).

Para a definição de práticas de conservação da água e do solo que ajuda minimizar os impactos negativos advindos da ocorrência da erosão hídrica. Assim, torna-se fundamental a utilização de modelos capazes de estimar as perdas de solo ocasionadas pelo processo erosivo. A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) (WISCHMEIER & SMITH, 1958) é o modelo empírico de maior utilização em termos mundiais (BASKAN *et al.*, 2010), e permite estimar as perdas de solo em áreas agrícolas.

A chuva é o principal elemento climático que interfere na ocorrência da erosão hídrica (HUDSON, 1973; MOREIRA *et al.*, 2006B), devido à sua capacidade em desagregar o solo e também pelo fato de ser determinante da ocorrência e magnitude do escoamento superficial. Dentre os componentes da USLE, o que expressa a capacidade erosiva da chuva é conhecido como fator erosividade da chuva (R), comumente representado por meio dos índices EI_{30} (WISCHMEIER & SMITH, 1958) e $KE > 25$ (HUDSON, 1973).

Dada a dificuldade em se obter o valor da erosividade da chuva, diversos autores (YIN *et al.*, 2007; MEN *et al.*, 2008; SHAMSAD *et al.*, 2008; ANGULO-MARTÍNEZ *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2010A; SILVA *et al.*, 2010B) têm utilizado técnicas de interpolação para a estimativa dos valores de R.

De acordo com Białobrzewski (2008) e Sivapragasam *et al.* (2010), as redes neurais artificiais (RNAs) podem ser usadas como ferramentas de interpolação. Assim, Pezzopane *et al.* (2008) desenvolveram RNAs que permitem a estimativa dos valores mensais de R para qualquer localidade do Estado do Espírito Santo.

As RNAs, no entanto, necessitam para sua

utilização de um programa computacional proprietário, de alto custo, além de um adequado treinamento para seu uso. Estes fatos dificultam o seu uso por técnicos e extensionistas, sendo estes os usuários que mais necessitam de ferramentas para a adoção de práticas que visam a conservação de água e solo (MOREIRA *et al.* 2006a).

Dessa forma, o presente trabalho objetivou desenvolver um programa computacional que viabilize o uso de RNAs para estimativa dos valores da erosividade da chuva no Estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

Considerando que o valor mensal da erosividade da chuva é obtido pelo somatório dos valores mensais dos índices de erosividade EI_{30} ou $KE > 25$, e que para o cálculo desses índices existem duas metodologias de obtenção da energia cinética de precipitação (FOSTER *et al.*, 1981; WAGNER & MASSAMBANI, 1988), Pezzopane *et al.* (2008) desenvolveram quatro RNAs para cada mês, permitindo assim a estimativa mensal da erosividade da chuva para qualquer localidade do Estado do Espírito Santo.

De posse das RNAs foi necessário conhecer as respectivas arquiteturas, funções de ativação dos neurônios e os parâmetros livres w 's e b 's para então serem geradas as funções matemáticas que as representem, segundo o modelo apresentado na equação:

$$y^{ij} = f \left(\sum_{i=1}^n y^{i(j-1)} w_{i'}^{ij} + b^{ij} \right) \quad (1)$$

em que

y^{ij} = valor de saída do neurônio i da camada j ;
 n = número de neurônios da camada anterior;
 $y^{i'(j-1)}$ = valor de saída do neurônio i' da camada anterior;
 $w_{i'}^{ij}$ = valor do peso sináptico do neurônio i da camada j , ativado pelo neurônio i' da camada anterior;
 b^{ij} = valor de compensação do neurônio i da camada j ; e
 f = função de ativação do neurônio i .

As RNAs são do tipo retroalimentada possuindo uma arquitetura 3-n₁-n₂-1 sendo estes valores correspondentes a um vetor de entrada com três variáveis, duas camadas intermediárias com n₁ e n₂ neurônios artificiais e um neurônio na camada de saída (Figura 1).

O vetor de entrada é composto pelos valores da latitude e da longitude, em graus decimais, bem como pelo valor de altitude, em metros. No neurônio da camada de saída tem-se uma função de ativação linear para fornecer o valor da erosividade da chuva da localidade representada pelo vetor de entrada, em MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹, para estimativa considerando o EI₃₀ ou MJ ha⁻¹ ano⁻¹ para estimativa considerando o KE > 25. As funções de ativação dos neurônios das camadas intermediárias são do tipo tangente hiperbólica sigmóide. As equações 2 e 3 ilustram as funções de ativação linear e tangente hiperbólica sigmóide (MATLAB, 2000).

$$\text{lin}(x) = x \tag{2}$$

$$\text{tanh sig}(x) = \frac{2}{(1 + e^{-2*x}) - 1} \tag{3}$$

em que

x = valor normalizado, adimensional.

Os parâmetros livres *w*'s e *b*'s das RNAs foram exportados em arquivos textos, nos quais foram armazenadas todas as informações referentes às RNAs. Assim, de posse das arquiteturas, funções

de ativação dos neurônios e os parâmetros livres *w*'s e *b*'s, foi possível estruturar as 48 equações matemáticas representativas das RNAs e então implementá-las computacionalmente, utilizando-se o ambiente de programação Borland Delphi 7.0.

Considerando que as RNAs desenvolvidas permitem a estimativa dos valores mensais da erosividade da chuva, implementou-se uma rotina que calcula a erosividade anual da chuva a partir dos valores mensais.

Uma interface gráfica foi desenvolvida de forma a permitir que o usuário visualize o mapa do Estado do Espírito Santo e obtenha os valores mensais e anuais da erosividade da chuva com um simples clicar do botão do *mouse* sobre o mapa. Para tanto, o mapa foi georreferenciado, de modo que, ao clicar sobre ele o programa acesse os valores de latitude, longitude e altitude da localidade de interesse, para então estimar o valor de R.

Para o caso de se possuir as coordenadas geográficas e a altitude da localidade em que se deseja conhecer o valor de R, uma caixa de grupo foi fornecida para entrada manual desses dados e posterior clique no botão "Calcular".

Uma listagem com os nomes dos municípios do Estado do Espírito Santo foi disposta juntamente com o mapa para permitir ao usuário obter o valor de R pelo nome da localidade de interesse.

Pelo fato das RNAs necessitarem do valor de altitude para realizar o cálculo da erosividade da chuva para determinada localidade, foi incorporada ao programa computacional uma base de dados altimétricos, sendo que seu acesso é feito automaticamente a partir da

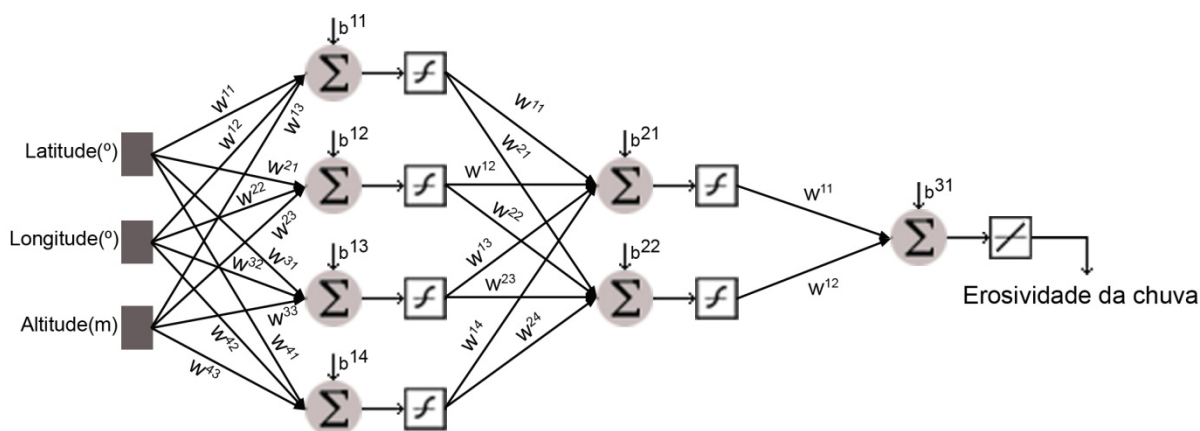


Figura 1. Exemplo de arquitetura 3-4-2-1 de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva.

identificação de uma localidade. As informações de altitude foram obtidas do Projeto GTOPO30, que é uma fonte de informação de altimetria, que possui resolução horizontal de 1 km, tendo sido desenvolvido em escala mundial pelo United States Geological Survey (USGS).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa computacional desenvolvido para estimativa dos valores mensais e anual da erosividade da chuva para qualquer localidade do Estado do Espírito Santo foi denominado netErosividade ES e pode ser obtido, gratuitamente, no endereço eletrônico <http://nedtec-sofwares>.

webnode.com.br. A Figura 2 ilustra tela de apresentação do programa, constando nesta o seu nome, sua finalidade, a instituição e o grupo responsável pelo seu desenvolvimento.

A Figura 3 ilustra a tela principal do netErosividade ES. Nesta tela o usuário identifica a localidade de interesse com a possibilidade de realizar este procedimento de três formas: a primeira é a partir do clique do *mouse* sobre o mapa do Estado do Espírito Santo (campo 1), a segunda é a partir da escolha do nome de um município do Estado (campo 2), e a terceira é a partir do fornecimento dos valores da latitude, longitude e altitude da localidade de interesse (campo 3).

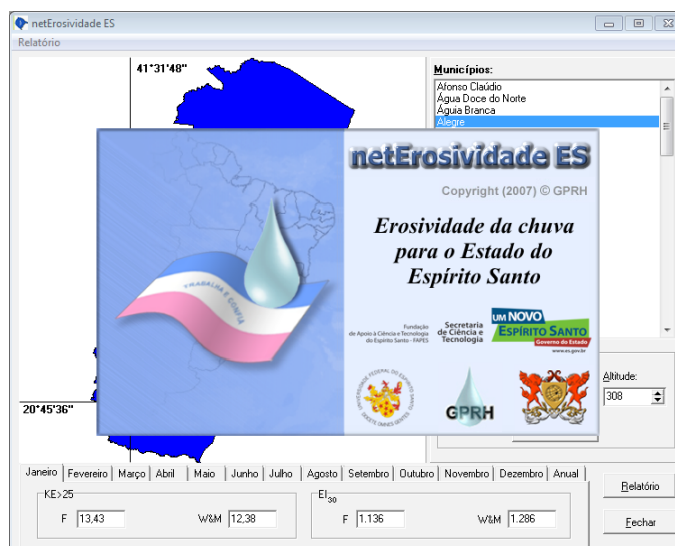


Figura 2. Tela de apresentação do netErosividade ES.

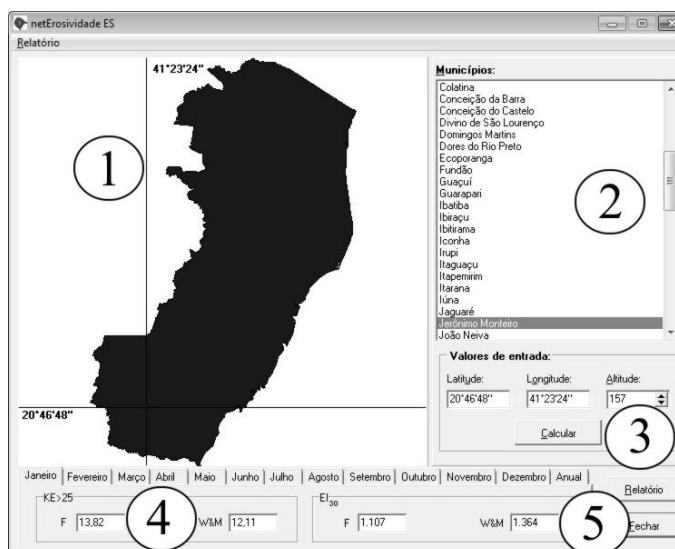


Figura 3. Tela principal do netErosividade ES.

Ao proceder a escolha de uma localidade, são dispostas no mapa duas linhas (horizontal e vertical) indicando na sua interseção a localidade selecionada. Os valores de erosividade estimados são dispostos no campo 4 da Figura 3, onde se observam as abas referentes aos meses do ano e a última (Anual) representando a erosividade da chuva anual. Cabe ressaltar que Pezzopane *et al.* (2008) não desenvolveram RNAs referentes à erosividade da chuva anual, sendo os valores anuais apresentados no netErosividade ES como resultado do somatório das erosividades mensais.

O netErosividade ES permite imprimir relatórios contendo as informações pertinentes a localização (Nome, Latitude, Longitude e Altitude), o mapa do Estado ilustrando o local de interesse e os valores mensais e anuais da erosividade da chuva considerando os índices de erosividade EI_{30} e $KE > 25$, e as duas metodologias de obtenção da energia cinética de precipitação (FOSTER *et al.*, 1981; WAGNER & MASSAMBANI, 1988). Para tanto, basta o

usuário pressionar o botão “Relatório” (campo 5). Na Figura 4, apresenta-se um relatório emitido pelo netErosividade ES para a localidade de Jerônimo Monteiro.

Acompanha o netErosividade ES um sistema de ajuda que permite ao usuário obter informações relativas à utilização do programa computacional e a aspectos teóricos relacionados à redes neurais artificiais, erosividade da chuva e conservação de solo.

CONCLUSÕES

- As redes neurais artificiais possibilitam a estimativa da erosividade mensal da chuva constituindo uma alternativa viável para a obtenção desses valores para qualquer localidade do Estado do Espírito Santo; e
- O netErosividade ES permite, de forma fácil e rápida, a obtenção dos valores mensais e anuais da erosividade da chuva para qualquer localidade do Estado do Espírito Santo.

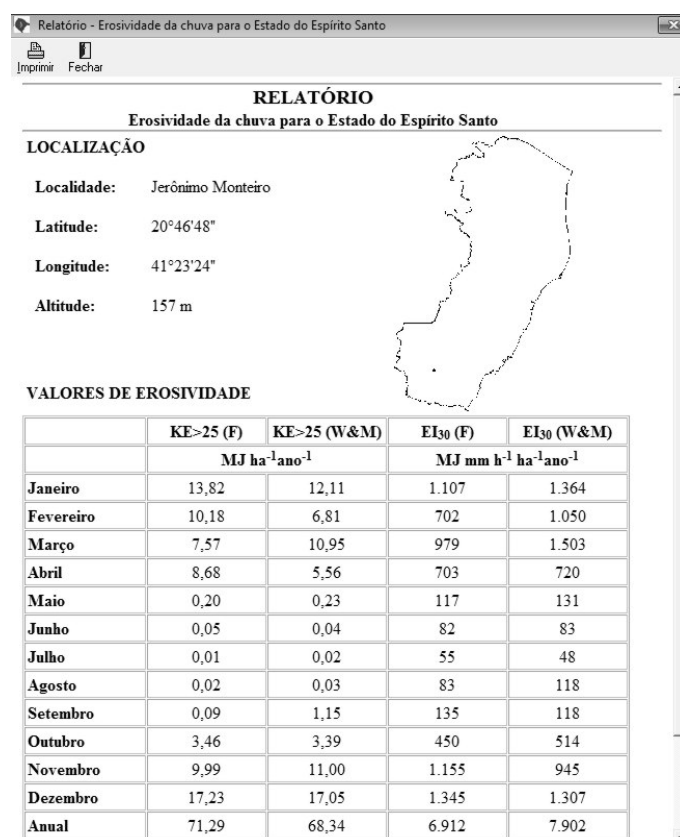


Figura 4. Relatório gerado pelo netErosividade ES para a cidade de Jerônimo Monteiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo – FAPES pelo apoio financeiro ao desenvolvimento do Projeto e pela concessão de bolsa de estudos, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO-MARTÍNEZ, M.; LÓPEZ-VICENTE, M.; VICENTE-SERRANO, S.M.; BEGUERÍA, S. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). **Hydrology and Earth Systems Sciences**, Göttingen, v.13, p.1907-1920, 2009.

BASKAN, O.; CEBEL, H.; AKGUL, S.; ERPUL, G. Conditional simulation of USLE/RUSLE soil erodibility factor by geostatistics in a Mediterranean Catchment, Turkey. **Environmental Earth Sciences**, Brandenburg, v.60, n.6, p.1179-1187, 2010.

BIAŁOBRZEWSKI, I. Neural modeling of relative air humidity. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.60, n., p. 1-7, 2008.

FOSTER, G.R. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Baltimore, v.36, p.355-359, 1981.

HERNANI, L.C. et al. ; FREITAS, P.L.; PRUSKI, F.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J.C. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 2002, p.47-60.

HUDSON, N.W. **Soil conservation**. Ithaca: Cornell University Press, 1973. 320p.

MATLAB software. Version 6.0, The MathWorks, Inc., Natick, MA. 2000.

MEN, M.; YU, Z.; XU, H. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics in Hebei Province, China. **Frontiers of Agriculture**

in China, Beijing, v.2, p.281-289, 2008.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PINTO, F.A.C.; LOMBARDI NETO, F.; PRUSKI, F.F. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no Estado de São Paulo utilizando redes neurais artificiais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14, p.88-92, 2006a.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PINTO, F.A.C.; PRUSKI, F.F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.1069-1074. 2006b.

PEZZOPANE, J.E.M.; CECILIO, R.A.; MOREIRA, M.C. **Erosividade das chuvas no estado do Espírito Santo**. Relatório técnico de pesquisa, 2008. 56p.

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science**, Washington, v. 267, p.1117-1123, 1995.

SHAMSAD, A.; AZHARI, M.N.; ISA, M.H.; WAN HUSSIN, W.M.A.; PARIDA, B.P. Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI30 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia. **Catena**, Amsterdam, v. 72, p.423-432, 2008.

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, v.34, p.1029-1039, 2010a.

SILVA, R.B.; IORI, P.; ARMESTO, C.; BENDINI, H.N. Assessing Rainfall Erosivity with Artificial Neural Networks for the Ribeira Valley, Brazil. **International Journal of Agronomy**, New York, v.2010, p. 1-7, 2010b.

SIVAPRAGASAM, C.; ARUN, V.M.; GIRIDHAR, D. A simple approach for improving spatial interpolation of rainfall using ANN. **Meteorology and Atmospheric Physics**, Heidelberg, v.109, n1-2, p.1-7, 2010.

TELLES, T.S.; GUIMARÃES, M.F.; DECHEN, S.C.F. The costs of soil erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.2, p.287-298, 2011.

WAGNER, C.S.; MASSAMBINI, O. Análise da relação intensidade de chuva: energia de

Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.12, p.197-203, 1988.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, New Haven, v.39, p.285-291, 1958.

YIN, S.; XIE, Y.; NEARING., M. A.; WANG, C. Estimation of rainfall erosivity using 5-to 60-minute fixed-interval rainfall data from China. **Catena**, Amsterdam, v.70, p.306-312, 2007.