

MODELOS PARA DETERMINAÇÃO DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO ECÓTONO CERRADO-PANTANAL, AQUIDAUANA-MS

ELÓI PANACHUKI^{1*}, FELIPE N. MONTEIRO², KARINA DOS SANTOS FALCÃO²; RONIEDISON DA SILVA MENEZES²; RAFAEL SILVA FERREIRA²

1*) Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rod. Graziela Maciel Barroso Km 12, Aquidauana-MS 79200-000, Email: eloip@uems.br, (67)3904-2945(*Autor correspondente)

2) Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rod. Graziela Maciel Barroso Km 12, Aquidauana-MS 79200-000, Email: felipeuems@gmail.com; falcao_karina@hotmail.com; roniedison1@hotmail.com; rafael.ferreira@agronomo.eng.br, (67)3904-2945

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC

Palmas/TO – Brasil

17 a 19 de setembro de 2019

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar diferentes modelos matemáticos para a determinação da erosividade (EI30) das chuvas através da correlação do índice EI30 com a precipitação (Pi) e o coeficiente de chuva (Rc) para região de transição Cerrado-Pantanal para melhor utilizar modelos de predição e controle da erosão. Os dados pluviográficos foram obtidos pela estação agrometeorológica da UEMS-UUA, localizada na fazenda experimental da UEMS na cidade de Aquidauana-MS no período de 2013 a 2016. A equação obtida entre o índice EI30 e a precipitação apresentou um $R^2 = 0,89$ e $COE = 0,70$ obtendo um valor estimado que correspondeu a 91% dos dados observados apontando este como o melhor modelo para estimar a erosividade no Ecótono Cerrado-Pantanal, podendo esta ser utilizada nas regiões de mesmas características climáticas

PALAVRAS-CHAVE: Chuvas Erosivas, Fator R, Índice EI30, Potencial Erosivo das Chuvas, Modelagem da erosão.

MODELS FOR DETERMINATION OF RAINFALL EROSIVITY IN CERRADO-PANTANAL ECOTONE, AQUIDAUANA-MS

ABSTRACT: The objective of this work was to develop and evaluate different mathematical models for the determination of rainfall erosivity (EI30) by correlating the EI30 index with precipitation (Pi) and rainfall coefficient (Rc) for transition region Cerrado-Pantanal to better use models of erosion prediction and control. The pluviographic data were obtained by the UEMS-UUA agrometeorological station, located at the UEMS experimental farm in the city of Aquidauana-MS from 2013 to 2016. The equation obtained between the EI30 index and the rainfall presented a $R^2 = 0.89$ and $COE = 0.70$, obtaining an estimated value corresponding to 91% of the observed data, pointing this as the best model for estimating erosivity in the Cerrado-Pantanal Ecotone, which can be used in regions with the same climatic characteristics.

KEYWORDS: Erosive Rainfall, R-Factor, EI30 Index, Erosive Rainfall Potential, Erosion Modeling.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica no solo vem tornando-se cada vez mais frequente em todo mundo, ocorrendo em diferentes graus de intensidade (MACHADO et al, 2013). Resultando em danos que necessitam de diferentes abordagens para caracterizar a influência dos fatores chaves deste processo, buscando a mitigação e técnicas de prevenção e correção da degradação do solo por erosão hídrica (PANAGOS et al, 2017).

A necessidade de prever o processo de erosão hídrica resultou em diversos modelos para a predição das perdas de solo, dentre os quais podem ser citados a Equação Universal de Perda de Solo

(USLE) (WISCHMEIER & SMITH, 1978) e a versão revisada (RUSLE) (RERNARD et al, 1997). O fator erosividade das chuvas é um dos principais parâmetros de entrada e pode ser expresso por meio de índices que se baseiam nas características físicas da chuva local (ALMEIDA et al, 2017).

No Brasil, estudos de erosividade vem sendo desenvolvidos desde a década de 1980. No entanto faltam informações espaço-temporais para o cálculo do índice de erosividade dificultando sua obtenção em diversas localidades (ALMEIDA et al, 2017). Em uma revisão da erosividade pluviométrica no Brasil, Oliveira et al. (2013) relataram que 85% dos trabalhos analisados foram desenvolvidos usando uma série temporal com menos de 20 anos, ou seja, apenas 15% desses estudos usaram as séries mínimas sugeridas para aplicações USLE / RUSLE (RERNARD et al, 1997). Portanto, a utilização de modelos capazes de estimar os valores de erosividade, a partir de dados mais acessíveis, como média mensal ou anual de precipitação, constitui uma importante ferramenta para a tomada de decisão de práticas de conservação do solo e da água (Oliveira et al., 2013).

Tendo em vista a necessidade de se obter o índice de erosividade das chuvas para melhor utilizar os modelos de previsão das perdas de solo e água na região. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar modelos matemáticos para determinar a erosividade das chuvas em zona de transição do Ecótono Cerrado-Pantanal.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido com os dados pluviográficos obtidos da estação agrometeorológica automatizada da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – Unidade Universitária de Aquidauana. A estação está situada no município de Aquidauana-MS entre as coordenadas 20°27'20" S e 55°40'17" W com altitude aproximada de 191m. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical úmido), com precipitação pluviométrica média anual de 1.400 mm com temperatura do ar máxima de 33°C e mínima de 19°C e declividade média da área experimental de 0,03m m⁻¹.

O estudo corresponde ao período de 2013 a 2016, com as chuvas concentradas entre os meses de novembro e abril. De posse dos dados foram contabilizados os eventos chuvosos dos quais 165 foram considerados erosivos. Os registros pluviométricos diários foram obtidos pelos registros da estação agrometeorológica com intervalo de obtenção de dados a cada 5 minutos, com amplitude de registro de 10 mm de altura precipitada e 0,2 mm como menor escala de leitura. Foram considerados como eventos independentes aqueles que apresentaram intervalo de 6h de ocorrência e com precipitação pluvial inferior a 1mm. Os eventos com precipitação igual ou superior a 10 mm, e ou, quando superior a 6 mm em um intervalo máximo de 15 minutos foram considerados erosivos e separados para a determinação da erosividade.

Índice de Erosividade

As chuvas classificadas como erosivas foram processadas para a determinação do índice de erosividade EI30, em posse dos dados de precipitação foi calculada a intensidade (I) de cada evento em mm h⁻¹, além da máxima intensidade em trinta minutos, I30 em mm h⁻¹. Para cada segmento uniforme determinou-se a energia cinética unitária (Ec) conforme equação (eq.1) proposta por Wischmeier & Smith (1978). Quando o volume precipitado for superior a 76 mm h⁻¹ considera-se a energia constante Ec= 0,283 MJ ha⁻¹ mm⁻¹ para cada segmento de chuva:

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (eq.1)$$

Onde:

Ec- Energia cinética da chuva, em MJ ha⁻¹ mm⁻¹;

I - Intensidade da chuva, em mm h⁻¹.

Os valores obtidos através da equação (eq.1) foram utilizados para o cálculo do índice de erosividade EI30, através da equação (eq.2) abaixo:

$$EI30 = Ec \times I30 \quad (eq.2)$$

Onde:

EI30 – índice de erosividade, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹;

I30 – intensidade máxima média da chuva em 30 minutos, em mm.h⁻¹.

O índice EI30 mensal foi obtido pelo somatório do produto EI30 obtido de cada chuva erosiva ocorrida no mês e o índice EI30 anual pelo somatório do EI30 mensal.

Coefficiente de Chuva (Rc)

O coeficiente de chuva (Rc) para os meses do ano foram calculados utilizando uma série de dados pluviométricos do local de estudo conforme proposto por Lombardi Neto (1977) (eq. 3):

$$Rc = Pm^2 / Pa \quad (\text{eq. 3})$$

Onde:

Rc – Coeficiente de chuva, mm

Pm – é a precipitação média mensal, mm

Pa – é a precipitação média anual, mm

Após a determinação do coeficiente de chuva, realizou-se uma análise de regressão entre os índices de erosividade média mensal e com o coeficiente de chuva e precipitação mensal para os seguintes modelos: linear e potencial com posterior análise dos coeficientes de ajuste dos modelos matemáticos. Os ajustes foram avaliados seguindo metodologia utilizada por Machado et al. (2014) baseada na utilização dos coeficientes: de determinação (R^2); de Nash-Sutcliffe (COE) ; de massa residual (CMR); de ajuste (CA) e pela eficiência (EF).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 verifica-se a precipitação, índice de erosividade e o coeficiente de chuva (Rc) médios mensais e anuais. Nota-se uma tendência na distribuição percentual dos valores de precipitação, coeficiente de chuva e índice EI30 devido, possivelmente, ao fato de a erosividade e o coeficiente de chuva ser dependente do volume de precipitação. Analisando a Figura 2 constata-se que os valores do Rc, precipitação e EI30 são crescentes de janeiro a abril, começando a decair no mês de maio e chegando a valores nulos nos meses entre junho e agosto, voltando a subir a partir de setembro e novembro, com leve decréscimo no mês de dezembro.

Tabela 1: Valores médios mensais e totais anuais da precipitação pluvial, índice de erosividade e coeficiente de chuva (Rc) para o Ecótono cerrado-pantanal.

Mês	Precipitação		Rc		EI30	
	mm	(%)	Mm	(%)	MJ mm ha h ⁻¹	(%)
Janeiro	202,7	13,69	27,75	17,99	1370,58	11,44
Fevereiro	143,0	9,66	13,81	8,95	769,69	6,42
Março	157,8	10,66	16,82	10,91	1002,11	8,36
Abril	142,9	9,65	13,78	8,94	2165,93	18,08
Mai	133,5	9,02	12,04	7,80	970,97	8,10
Junho	36,1	2,44	0,88	0,57	281,09	2,35
Julho	51,3	3,46	1,77	1,15	110,25	0,92
Agosto	27,4	1,85	0,51	0,33	175,10	1,46
Setembro	87,5	5,91	5,17	3,35	328,65	2,74
Outubro	90,8	6,13	5,56	3,61	851,19	7,11
Novembro	199,9	13,50	26,98	17,49	1977,74	16,51
Dezembro	207,8	14,04	29,17	18,91	1976,62	16,50
Total Anual	1480	100	154,2	100	11980	100

O volume de precipitação médio atingiu valores extremos nos meses de dezembro, janeiro e novembro com 14,4; 13,69 e 13,50% respectivamente. O coeficiente de chuva (Rc) apresentou seus maiores valores no mesmo período, tendo seus maiores valores iguais a 18,91; 17,99 e 17,49% do total acumulado. Durante o período estudado apresentou maior valor durante o mês de abril com valor correspondente a 22,74% de toda a erosividade anual, esse período foi o único no qual o percentual do

índice de erosividade ultrapassou o percentual de precipitação. Observa-se que a erosividade, precipitação e coeficiente de chuva tem aproximadamente 50% de seu total acumulado nos meses de janeiro a maio. No período de junho a setembro observou-se os valores mais baixos que corresponderam a 10% do total, enquanto 40% no período de outubro a dezembro.

A figura 1 apresenta as curvas de regressão linear obtidas entre o índice EI30 e a precipitação e o coeficiente de chuva (Rc) resultante da modelagem dos dados observados do período de 2013-2016 no município de Aquidauana-MS caracterizado pela interface dos biomas Cerrado e Pantanal.

O modelo que apresentou melhor correlação foi o linear (figura 3) concordando com trabalho realizado por Bazzano et al. (2007) e discordando de Oliveira et al (2012) e Machado et al (2014 onde o modelo potencial apresentou melhor ajuste

As regressões lineares obtidas foram altamente significativas, sendo as equações $EI30 = 9,1586p - 221,5$; $R^2 = 0,85$ (significativo a 0,01 %), em que p = precipitação média mensal (mm), e $EI30 = 56,547Rc + 170,14$; $R^2 = 0,89$ (significativo a 0,01 %), em que Rc = coeficiente de chuva. Sendo possível o uso destas equações para determinação do índice EI30 por meio da utilização de dados pluviométricos mensais e anuais.

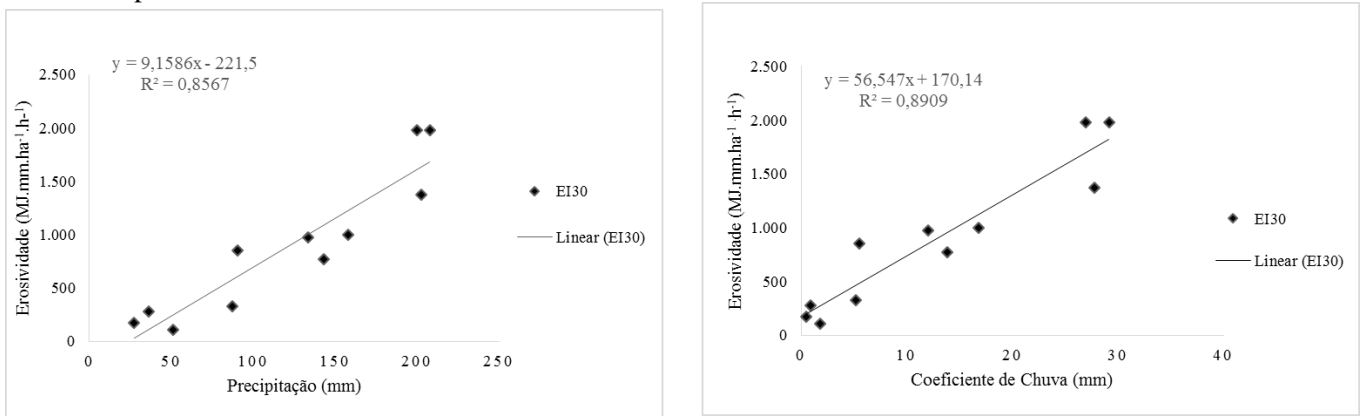


Figura 2: Equações de regressão linear entre o índice EI30 vs. precipitação e o índice EI30 vs. coeficiente de chuva (Rc) para o Ecótono cerrado-pantanal, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

A Tabela 2 apresenta os parâmetros estatísticos para os modelos avaliados e desenvolvidos. Das equações utilizadas, onde estas apresentaram o coeficiente Nash-Sutcliffe (COE) aceitável, ou seja, valores entre 0,36 – 0,75. O coeficiente de massa residual (CMR) positivo indica uma tendência dos modelos em subestimar a erosividade. Esse índice estatístico aponta que os modelos desenvolvidos entre o e a precipitação e o índice EI30 com o coeficiente de chuva (Rc) apresentaram o melhor ajuste por apresentar o CMR mais próximo de zero, sendo 0,09 e 0,10 respectivamente. O mesmo foi verificado para o índice de eficiência (EF) e o coeficiente de ajuste (CA) onde estas equações apresentaram valores muito próximos. Apontando os modelos desenvolvidos como indicados para estimar o índice de erosividade da chuva na área de estudo.

Tabela 2: Parâmetros estatísticos para os modelos matemáticos estudados no Ecótono Cerrado-Pantanal no município de Aquidauana-MS no período de 2013-2016.

	Eq. Prec*	Eq. Rc*
COE	0,70	0,67
CMR	0,09	0,10
CA	1,51	1,45
EF	$9,26 \times 10^{-4}$	$8,22 \times 10^{-4}$

COE: coeficiente de Nash-Sutcliffe; CMR: coeficiente de massa residual; CA: coeficiente de ajuste; EF: eficiência.

Os valores de erosividade estimados pelas equações linear da precipitação e do coeficiente de chuva foram iguais a 10.900 e 10.764 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano correspondo a 91; 90 Indicando que o

valor médio de erosividade pode ser estimado com base nestas equações, mesmo o modelo linear da precipitação tendo sido apontado como o mais indicado.

Considerando os dados estatísticos a utilização de ambos os modelos desenvolvidos possibilitará a obtenção de dados mais consistentes para a determinação da erosividade das chuvas e melhor utilização da USLE na área do Ecótono Cerrado-Pantanal. Porém estes não devem ser aplicados aos meses em que a precipitação pluvial for igual a 0 devido a estes modelos apresentarem erosividade mínima de $170 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ para o modelo obtido através da relação do coeficiente de chuva e de $222 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ para o modelo obtido pela precipitação.

CONCLUSÃO

- O fator R da equação universal de perda de solo (USLE) encontrado para o Ecótono cerrado-pantanal foi de $11.980 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}$, caracterizando a área com elevado potencial erosivo das chuvas;
- Para a estimativa do índice de erosividade das chuvas no Ecótono Cerrado-Pantanal os modelos matemáticos mais adequados são $EI30 = 9,1586\pi - 221,5$ e $EI30 = 56,547Rc + 170,14$.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e FUNDECT, pelo auxílio financeiro concedido para realização do trabalho, juntamente a Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. Q., SOUZA, R. M. S., LOUREIRO, D. C., DOS REIS PEREIRA, D., CRUZ, M. A. S., & VIEIRA, J. S. (2017). Modelagem da dependência espacial do índice de erosividade das chuvas no semiárido brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(6), 371-379.
- MACHADO, D. O.; ALVES SOBRINHO, T.; RIBEIRO, A. S.; IDE, C. N.; OLIVEIRA, P. T. S. 2014 Erosividade da chuva para o bioma Pantanal. *Eng. Sanit. Ambient.* v19, n 2, 195-202
- MACHADO, R. L., CARVALHO, D. F. , ROUWS, J. R. C., GOMES, D. P., & EDUARDO, E. N. (2013). Rainfall erosivity associated to return periods and occurrence probability in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(2), 529-547.
- PANAGOS, P., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., YU, B., KLIK, A., LIM, K. J., ... & SADEGHI, S. H. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, 7.
- RENARD, K.G.; FOSTER G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K.; YODER, D.C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington: United States Department of Agriculture, 1997. 384p. (USDA. Agriculture handbook, 703).
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, United States Department of Agriculture. (Agriculture Handbook, 53.)
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E. NEARING, M. A.; 2013 Rainfall erosivity in Brazil: a review. *Catena*. v.100, p. 139-47.
- LOMBARDI NETO, F. 1977. Rainfall erosivity – Its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. Msc Thesis, Purdue University, West Lafayette.
- BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. 2007. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1205-1217.
- OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D. B.B.; ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F.; PANACHUKI, E. 2012 Spatiol Variability of the rainfall erosive potential in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Engenharia Agrícola*. v32, p. 69-79.