



AVALIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MAQUINÉ, RS

Luana Lavagnoli Moreira¹; Sofia Melo Vasconcellos²; Masato Kobiyama³

ABSTRACT – Water erosion is the main form of soil degradation and causes damage to water quality and soil productivity. It is important to quantify the erosive potential of rainfall in order to implement measures that improve soil management. This present work evaluated the erosive potential of the rainfall in a spatial and temporal way in the Maquiné river basin, located at Rio Grande do Sul state, based on data from 8 rain gauges with rainfall series longer than 20 years. The lowest values of rainfall erosivity were found in November and the largest in February. The highest annual erosivity value found was $7142.2 \text{ MJ.mm. ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$ and the minimum $4300.8 \text{ MJ.mm. ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{year}^{-1}$. In general, the erosivity of the basin can be classified as medium. The study also pointed out that the greatest erosive potential was found in the lower part of the basin.

Palavras-Chave – Erosão, potencial erosivo, precipitação intensa.

1) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, lavagnoliluana@gmail.com, (51) 3308-7518

2) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, sofimello@hotmail.com, (51) 3308-7518

3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, masato.kobiyama@ufrgs.br, (51) 3308-7518



1 - INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é a principal forma de degradação dos solos (Pham *et al.* 2018). É causada pelo impacto das gotas de chuva no solo, que por sua vez promovem a desagregação de partículas que são carregadas pelo escoamento superficial. Este processo tem consequências deletérias como poluição dos corpos d'água e prejuízos a produção agropecuária, sendo também relacionado a ocorrência de fluxo de detritos (Shick *et al.* 2014; Zini *et al.* 2015). O custo anual com este problema pode chegar a 17% do PIB global (Trindade *et al.* 2016).

Dessa forma, a estimativa de parâmetros relacionados a este fenômeno que permitam estimar as perdas de solo se fazem importantes para definição de estratégias de uso e manejo do solo em cada região (Waltrick *et al.* 2015, Carollo *et al.* 2018).

A erosividade da chuva (R) é definida como o potencial da chuva em causar erosão (Hudson, 1995) e sua medida é determinada por índices, como o índice de erosividade padrão EI_{30} . Oliveira *et al.* (2013) fizeram um levantamento de todos os trabalhos relacionados a erosividade no Brasil, e relataram 75 equações de regressão para o cálculo do EI_{30} nas diversas regiões do país.

O EI_{30} foi utilizado apresentando bons resultados em estudos como Back *et al.* (2017), no estado de Santa Catarina, Kinnell (2018), nos Estados Unidos e Lee *et al.* (2018) na Coreia do Sul. Estudos concluíram que o EI_{30} é considerado o mais adequado para estimar a erodibilidade da chuva no estado do Rio Grande do Sul (Morais *et al.* 1998), e assim como em todo o Brasil (Waltrick *et al.* 2015).

Segundo Mello *et al.* (2007), a determinação da erosividade demanda dados de difícil obtenção, e para preencher esta lacuna, utiliza-se o índice EI_{30} correlacionado com o índice de Fournier (Renard e Freimund, 1994), o qual é obtido a partir de séries diárias de precipitação, dados mais facilmente disponíveis.

A bacia hidrográfica do rio Maquiné, no Rio Grande do Sul, possui alta atividade hidrosedimentológica, e por esta razão foi alvo de estudo por Godoy *et al.* (2017), que através de análises estatísticas caracterizou o regime de chuvas da bacia de forma espacial e temporal, a partir de dados de estações pluviométricas inseridas em distintas unidades geomorfológicas. O presente estudo se propôs a estimar a variabilidade temporal e espacial da erosividade da chuva nesta mesma bacia, a partir de séries de precipitação contendo mais de 20 anos de dados.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi aplicado para a bacia hidrográfica do rio Maquiné, localizada na porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), com área de drenagem de 510 km² e está inserida predominantemente no município de Maquiné e uma pequena porção ao norte no município de São Francisco de Paula.

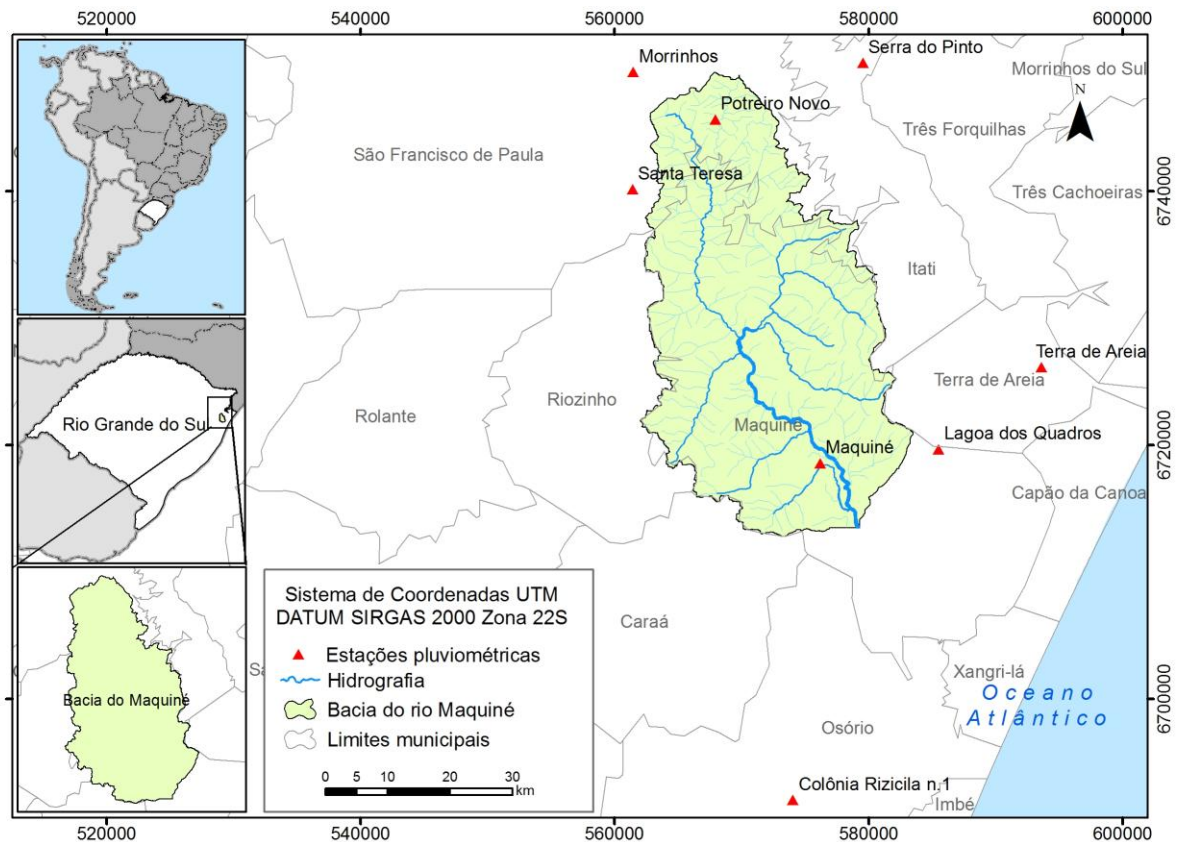


Figura 1 - Bacia do rio Maquiné e localização das estações pluviométricas (fonte: autoria própria).

Segundo a classificação de Köppen, o clima na região de estudo é enquadrado como mesotérmico úmido, sem estação seca definida e com verão quente (Cfa) e a precipitação média anual na bacia corresponde a 1608 mm.

Foram utilizados os dados diários de 8 pluviômetros, sendo uma estação agroclimática sob responsabilidade da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) localizada no município de Maquiné e as demais disponíveis no portal HIDROWEB da Agência Nacional de Águas. Foram selecionadas as estações que apresentaram série histórica igual ou superior a 20 anos, conforme recomendado por Renard *et al.* (1997), e a proximidade com a bacia (Tabela 1).

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas para estimativa da erosividade na bacia do rio Maquiné.

Código	Nome	Responsável	Município	Cota (m)	Período de observação
-	Maquiné	FEPAGRO	Maquiné	32	1961 - 2015
2950012	Colônia Rizicola n.1	IRGA	Osório	50	1945 - 1964
2950018	Lagoa dos Quadros	DEPRC	Terra de Areia	3	1948 - 1978
2950020	Morrinhos	CEEE	São Francisco de Paula	900	1941 - 1980
2950024	Potreiro Novo	CEEE	São Francisco de Paula	860	1946 - 1970
2950030	Santa Teresa	CEEE	São Francisco de Paula	840	1946 - 1978
2950034	Serra do Pinto	ANA	Itati	470	1961 - 2012
2950038	Terra de Areia	ANA	Terra de Areia	40	1974 - 2017



Para estimativa do potencial erosivo da chuvas, foram identificadas as médias de precipitação anual e mensal de cada estação. Posteriormente, foi calculado o índice de Fournier modificado (MFI), conforme equação 1, amplamente utilizado para estimar a erosividade. O cálculo dos índices mensais de erosividade foram obtidos através da relação proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1990), segundo equação 2. Por sua vez, a erosividade anual é obtida através do somatório dos índices mensais calculados para cada evento de chuva classificado como erosivo (equação 3).

$$MFI = \frac{P_i^2}{p} \quad (1)$$

$$El_{30} = 67,355 \cdot MFI^{0,85} \quad (2)$$

$$R = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{mj} (El_{30})_k \quad (3)$$

sendo *MFI* o índice modificado de Fourier; *P* [mm] a precipitação média mensal no mês *i*; *p* [mm] a precipitação média anual [mm]; *El₃₀* o índice mensal de erosividade [MJ.mm. ha⁻¹.h⁻¹.mês⁻¹]; *R* a média anual da erosividade [MJ.mm. ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹]; *N* o número de anos da série histórica; *mj* o número de eventos erosivos em uma determinado ano *j* e *k* o evento de erosividade.

Os valores de erosividade foram espacializados através das coordenadas geográficas de cada estação. Em seguida, esses dados foram interpolados através da ponderação pelo inverso da distância, com a utilização do *software* ArcGIS 10.3.1. A erosividade anual da bacia hidrográfica do rio Maquiné foi obtida a partir da interpolação dos valores do fator *R*, enquanto as erosividades mensais a partir dos valores de *El₃₀* referentes a cada mês do ano.

Para analisar os resultados de erosividade da chuva foi utilizada a classificação adotada por Santos (2008), conforme indica a Tabela 2.

Tabela 2 – Classes de erosividade da chuva média anual e mensal.

Classe de erosividade	Valores de erosividade	
	<i>R</i> [MJ.mm. ha ⁻¹ .h ⁻¹ .mês ⁻¹]	<i>El₃₀</i> [MJ.mm. ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹]
Muito baixa	$R \leq 2500$	$El_{30} \leq 250$
Baixa	$2500 < R \leq 5000$	$250 < El_{30} \leq 500$
Média	$5000 < R \leq 7000$	$500 < El_{30} \leq 700$
Alta	$7000 < R \leq 10000$	$700 < El_{30} \leq 1000$
Muito alta	$R > 10000$	$El_{30} > 1000$

Fonte: Santos (2008).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os valores de erosividade mensal e anual estimados para cada estação pluviométrica, assim como a média, os valores mínimos e máximos e coeficiente de variação (CV). Por sua vez, nos mapas das Figuras 2 e 3 são apresentadas as isoerosividades obtidas por meio da interpolação dos valores da Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de erosividade mensal (EI_{30}) e anual (R) para os pluviômetros utilizados.

Estação	EI_{30} (MJ.mm. ha ⁻¹ .h ⁻¹ .mês ⁻¹)												R*
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Maquiné	265,2	276,7	321,9	384,6	205,1	512,0	425,8	331,0	728,0	491,0	172,1	187,3	4300,8
Colônia Rizicola n.1	689,5	1025,1	1006,4	410,4	263,9	313,0	332,8	538,8	860,5	551,8	328,5	450,2	6770,9
Lagoa dos Quadros	632,9	524,2	583,7	289,4	337,4	478,5	440,7	558,7	668,8	476,8	308,8	484,7	5784,6
Morrinhos	682,2	673,8	535,9	402,6	205,5	365,5	347,7	463,9	986,6	526,2	362,0	400,4	5952,2
Potreiro Novo	826,1	673,2	639,1	347,5	300,5	453,6	469,0	621,2	830,8	559,2	443,1	561,7	6725,1
Santa Teresa	745,0	707,2	606,2	297,9	313,9	346,5	432,4	499,9	642,7	527,9	451,0	614,7	6185,3
Serra do Pinto	892,4	996,1	750,3	413,0	337,2	397,5	470,0	521,7	623,1	625,4	554,2	561,3	7142,2
Terra de Areia	811,9	977,7	806,6	285,6	344,6	355,5	424,1	553,5	647,8	535,0	419,9	678,5	6840,8
Mínima	265,2	276,7	321,9	285,6	205,1	313,0	332,8	331,0	623,1	476,8	172,1	187,3	4300,8
Máxima	892,4	1025,1	1006,4	413,0	344,6	512,0	470,0	621,2	986,6	625,4	554,2	678,5	7142,2
Média	693,1	731,8	656,3	353,9	288,5	402,7	417,8	511,1	748,5	536,7	380,0	492,4	6212,7
CV (%)	27,9	35,6	30,9	15,8	19,9	17,6	12,2	16,8	17,5	8,5	30,2	30,9	14,6

* R (MJ.mm. ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹)

Sabe-se da limitação dos resultados da estimativa de erosividade a partir de dados pluviométricos com séries históricas antigas (até a década de 70), entretanto a bacia do rio Maquiné é carente de monitoramento hidrológico e por isso estudos voltados para região devem usar os dados existentes, tendo em vista que a bacia é caracterizada por forte atividade hidrossedimentológica, com frequentes escorregamentos e inundações.

A partir dos dados das estações pluviométricas inseridas e próximas a região de estudo, verifica-se uma erosividade média anual de 6212,7 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹, sendo o valor máximo de 7142,2 estimado para a estação de Serra do Pinto e mínimo de 4300,8 na estação Maquiné. Os maiores valores de erosividade mensal ocorreram no mês de fevereiro e os menores no mês de maio. No que diz respeito a variabilidade temporal, observa-se que a maior variabilidade ocorre no mês de fevereiro, seguido dos meses de março e dezembro.

Com base nos mapas de isoerosividade das Figuras 2 e 3, percebe-se uma tendência de crescimento da erosividade no sentido norte a sul da bacia, no meses de janeiro, fevereiro, março, maio, novembro e dezembro, enquanto nos meses de abril, junho e setembro essa tendência é invertida. Os demais meses não apresentaram uma tendência definida.

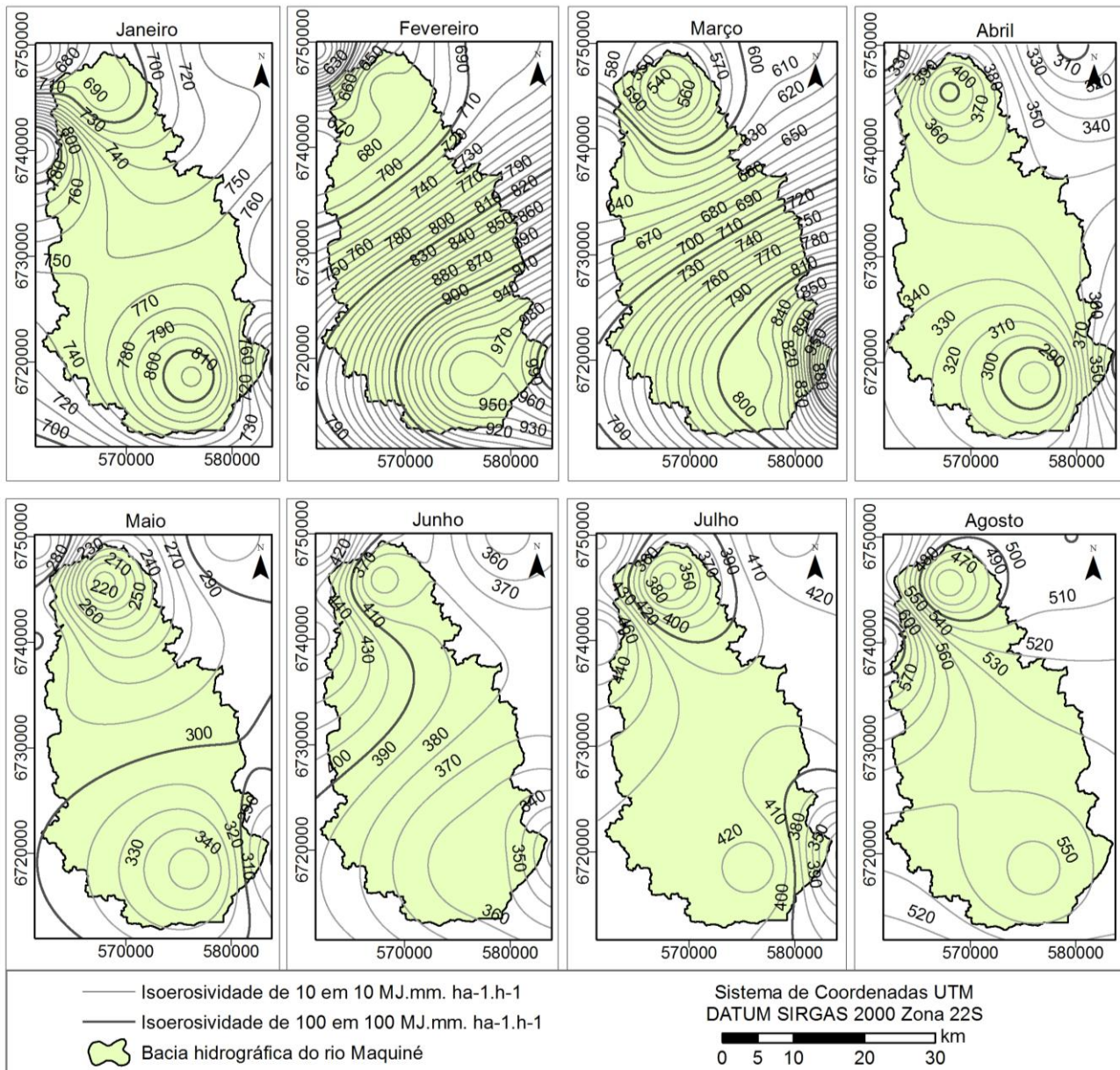


Figura 2 - Mapas de isoerosividade dos meses de janeiro a agosto (fonte: autoria própria).

Em relação à erosividade anual, a tendência segue a maioria dos meses, no sentido norte a sul, e de maneira geral, a região baixa da bacia do rio Maquiné apresentou os maiores valores de erosividade anual, assim como na maioria dos meses, o que chama atenção para ações de conservação do uso e ocupação do solo para mitigação da perda de solo nessa região.

Conforme classificação de Santos (2008), merecem destaque os meses de janeiro, fevereiro e setembro que apresentaram erosividade alta em grande parte da bacia do rio Maquiné. Por sua vez, em termos de erosividade anual a bacia apresentou erosividade média.

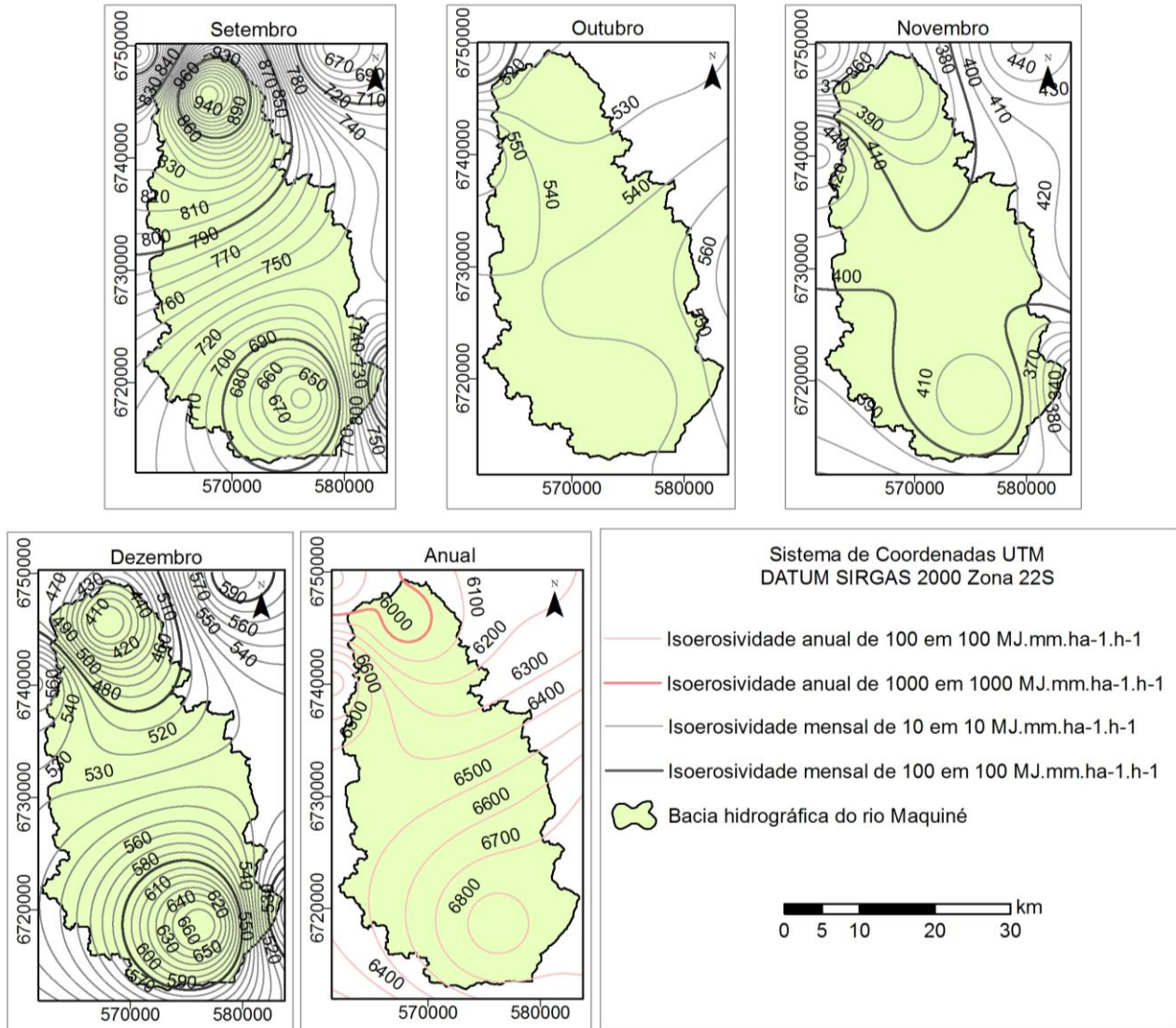


Figura 3 - Mapas de isoerosividade dos meses de setembro a dezembro e anual (fonte: autoria própria).

4 - CONCLUSÃO

De maneira geral a erosividade da bacia é classificada como média. A distribuição espacial e temporal do potencial erosivo das chuvas na bacia do rio Maquiné apresenta uma tendência de crescimento de norte para sul em grande parte do ano, com destaque para parte baixa da bacia que apresenta os maiores valores de erosividade, o que remete a atenção nessa região para promoções de práticas conservacionistas do solo para mitigação da erosão.



BIBLIOGRAFIA

- BACK, A. ; POLA, A.; LADWIG, N.; SCHWALM, H. (2017). "Erosiverainfall in Rio do Peixe Valley in Santa Catarina, Brazil: Part I - Determination of the erosivity index". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.21, n.12, p.774-779.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (1990). *Conservação do solo*. 2.ed. Ícone, São Paulo/SP, 355p.
- CAROLLO, F.; FERRO, V.; SERIO, M. (2018). "Predicting rainfall erosivity by momentum and kinetic energy in Mediterranean environment". Journal of Hydrology v. 560, p. 173-183.
- GODOY, J.V.; BAUMBACH, M.F.; MELO, C.M.; KOBAYAMA, M. (2017). "Análise estatística da distribuição de chuva na região da bacia hidrográfica do rio Maquiné, RS" in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis/SC, Nov 2017, p. 1-8.
- HUDSON, N.W. (1995). *Soil conservation*. 3.ed. Ithaca, Cornell University Press, 392p.
- KINNELL, P. (2018). "Determining soil erodibilities for the USLE-MM rainfall erosion model". Catena v. 163, p. 424-426.
- LEE, J.; LEEB, J.; JULIENA, P. (2018). "Global climate teleconnection with rainfall erosivity in South Korea". Catena, v. 167, p. 28-43.
- MELLO, C.; DE SÁ, M.; MELLO, J.; VIOLA, M.; SILVA, A. (2007). "Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais". Pesq. agropec. bras., v.42, n.4, p.537-545.
- MORAIS, L. F. B.; MUTTI, L. S. M.; ELTZ, F. L. F. (1998). "Índices de erosividade correlacionados com perdas de solo no Rio Grande do Sul". Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.12, p.281-284.
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. (2013). "Rainfall erosivity in Brazil: a review". Catena, v.100, p.139-147.
- PHAM, T.; DEGENER, J.; KAPPAS, M. (2018). "Integrated universal soil loss equation USLE and Geographical Information System SIG for soil erosion estimation in a SAP basin: Central Vietnam". International Soil and Water Conservation Research, v. 6, p. 99-110.
- RENARD, K. G.; FOSTER G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. United States Department of Agriculture, Washington/DC, 384p.
- RENARD, K.; FREIMUND, J. (1994). "Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE". Journal of Hydrology, v. 157 (1-4), p. 287-306.
- 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.
- SHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N.; GONZÁLEZ, A. (2014). "Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina". Revista Brasileira Ciência e Solo, v. 38, p. 1890-1905.
- TRINDADE, A.; OLIVEIRA, P.; ANACHE, J.; WENDLAND, E. (2016). "Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil". Pesq. agropec. bras., v. 51, n. 12, p. 1918-1928.
- WALTRICK, P.; MACHADO, M.; DIECKOW, J.; 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 Ciência e Solo, v. 39, p. 256-267.
- ZINI, A. GRAUSO, S. VERRUBBI, V. FALCONI, L. LEONI, G. PUGLISI, C. (2015). "The RUSLE erosion index as a proxy indicator for debris flow susceptibility". Landslides, 12:847–859.