Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

ANÁLISE DA EROSIVIDADE DA CHUVA NO ESTADO DO PARANÁ E CENÁRIOS FUTUROS IMPACTADOS POR MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

NETTO, Cirilo Freitas - cirilonetto@cohapar.pr.gov.br
Universidade Estadual de Ponta Grossa/ UEPG

VIRGENS FILHO, Jorim Souza – jvirgens@uepg.br
Universidade Estadual de Ponta Grossa/ UEPG

NEVES, Gabriela Leite – gabriela.leiteneves@gmail.com
Universidade Estadual de Ponta Grossa/ UEPG

RESUMO: A perda de solo por erosão hídrica afeta o desenvolvimento socioeconômico, gerando prejuízos extensos no campo e na cidade. Este trabalho objetivou avaliar as projeções da erosividade da chuva no estado do Paraná, impactadas por mudanças climáticas globais até o final de 2099. Para tanto, foram utilizados os dados pluviométricos de 28 estações meteorológicas, no período de 1980 a 2009, possibilitando a estimativa da erosividade da chuva por meio de equações de regressão anteriormente determinadas. Na simulação das mudanças climáticas, foram considerados dois cenários condicionados ao aumento de temperatura. Para a geração das séries diárias de chuvas até o final de 2099, foi utilizado o gerador de dados climáticos PGECLIMA_R. Nas projeções simuladas, verificou-se significativa variação da erosividade da chuva nas diversas regiões, apresentando um mínimo em torno de 6.000 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ e o máximo superando 17.500 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ para o final do século XXI. Os resultados permitiram inferir que a erosividade da chuva no Paraná poderá atingir valores críticos, com aumentos progressivos no sentido de leste para oeste no estado, principalmente na região sudoeste.

PALAVRAS-CHAVES: erosão hídrica; PGECLIMA_R; mudanças climáticas.

ANALYSIS OF RAINFALL EROSIVITY IN THE STATE OF PARANA ANDFUTURE SCENARIOS IMPACTED BY GLOBAL CLIMATE CHANGE

ABSTRACT: Soil loss due to water erosion affects socioeconomic development, causing extensive losses in the countryside and in the city. This work aimed to evaluate the rainfall erosivity projections in the state of Parana impacted by global climatic changes until the end of the year 2099. For this purpose, the pluviometric data from 28 weather stations were used in the period from 1980 to 2009, making it possible to estimate the rainfall erosivity in the period, through previously determined regression equations. For the simulation of the climatic changes, two scenarios were considered conditioned to the increase of temperature. In the generation of daily rainfall series until the end of the year 2099, the weather generator PGECLIMA_R was used. In the simulated projections, there was verified a significant variation of rainfall erosivity in the various regions, presenting a minimum of around 6,000 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.year^{-1}$ and the maximum surpassing 17,500 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.year^{-1}$ at the end of the 21st century. The results allowed to infer that rainfall erosivity in Parana can reach critical values, with progressive increases from east to west across the state, mainly in the southwest region.

KEYWORDS: water erosion; PGECLIMA_R; climate change.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é fundamentalmente causada pela água proveniente de chuva em uma determinada região. No campo, onde o setor agrícola demonstra a sua grande importância para o estado do Paraná, é comum observar a desagregação do solo após uma chuva intensa, principalmente onde existe solo

descoberto. Nas áreas urbanas, devido às mudanças abruptas do ambiente resultantes das atividades antrópicas, a erosão hídrica pode ser observada em pontos de descarte de águas pluviais, resultantes da impermeabilização de grandes áreas.

Segundo Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) existe uma tendência do aumento da perda de solo à medida que aumentam as quantidades de chuvas totais em uma região, porém a falta de regularidade nesta relação indica que fatores associados às chuvas como a intensidade, duração e a distribuição influenciam no seu poder erosivo.

Segundo Schick et al. (2014), o conhecimento do índice de erosividade (EI30) tem importância significativa tanto do ponto de vista de aplicação prática quanto científico. Na aplicação prática, o conhecimento do índice de erosividade da chuva, especialmente a sua distribuição acumulada ao longo do tempo, permite identificar os períodos do ano com maior risco ou potencial de erosão hídrica, fazendo com que o técnico de campo possa planejar mais eficientemente as medidas de controle. Cientificamente, o cálculo deste índice permite que os conceitos sejam extrapolados em outras pesquisas, possibilitando o estudo de regiões próximas ou com características semelhantes em escala temporal, permitindo diversas simulações com cenários diferentes.

Panagos et al. (2017) apresentaram os resultados de um panorama mundial da erosividade da chuva, a partir de estimativas realizadas para 3.625 estações que cobriam 63 países. Nesta pesquisa foram realizadas análises por zonas climáticas, o que evidenciou os maiores valores médios (7.104 MJ.mm.ha−1.h−1.ano−1) de erosividade da chuva no grupo de clima tropical, que apresentou uma condição climática com alta variabilidade da quantidade, duração, magnitude e intensidade de chuvas durante as estações do ano. No grupo de clima temperado, o segundo maior em erosividade da chuva, os valores médios giraram em torno de 3.729 MJ.mm.ha−1.h−1.ano−1, sendo que os climas do tipo temperado úmido ("Cfa") e temperado com inverno seco ("Cwa"), presentes no sudeste dos Estados Unidos, Austrália oriental e sudeste da China, apresentaram valores superiores a 4.600 MJ.mm.ha−1.h−1.ano−1.

Ainda conforme os autores acima, as zonas climáticas oceânicas ("Cfb") e Mediterrânea ("Csa" e "Csb"), mostraram valores médios inferiores a 2.000 MJ.mm.ha−1.h−1.ano−1. No grupo dos climas desérticos a erosividade média apresenta os menores valores mundiais (842 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$), caracterizado porém, por alta variabilidade espacial, sendo que nos locais de clima do tipo árido frio ("BWk") como no noroeste da China, Cazaquistão, Uzbequistão, norte do Chile e Argentina os valores médios de erosividade se aproximaram de 362 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$.

O Brasil, como um país de dimensões continentais, tem uma variabilidade muito grande de climas e solos, o que dificulta uma avaliação mais acurada sobre os processos erosivos. Oliveira et al. (2012) analisaram várias pesquisas sobre realizadas no Brasil, para verificar a qualidade e a representatividade dos resultados gerados e estabelecer uma melhor compreensão da erosividade das chuvas no território brasileiro. Segundo os autores, a erosividade anual no Brasil tem grande amplitude, variando de 1.672 a 22.452 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$, sendo que os menores valores estão na região do semiárido nordestino e, os maiores valores são encontrados nos domínios dos climas equatorial e tropical úmido nas regiões Norte e Sudeste, nesta ordem.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

No estado do Paraná, pesquisas sobre o tema foram iniciadas na década de oitenta por pesquisadores do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Waltrick et al. (2015) fizeram um histórico dos trabalhos relevantes para o estado e, observaram que a primeira modelagem matemática envolvendo a erosividade da chuva foi realizada por Castro Filho et al. (1982), que propôs uma equação geral para determinação do índice de erosividade EI30 a partir do método de Wilkinson (1975), utilizando para tanto dados pluviométricos de 5 localidades.

A segunda estimativa de erosividade para o Paraná foi elaborada por Rufino (1986), utilizando a equação geral da primeira modelagem, porém, ampliando os dados pluviográficos para 31 locais e com séries históricas maiores, o que resultou na geração de um mapa de erosividade mais acurado. É importante ressaltar que tanto na primeira quanto na segunda estimativa de erosividade para o Paraná, foi empregado o método padrão para a determinação do EI30, ou seja, o método pluviográfico com análise de pluviogramas diários para um determinado período de tempo.

Numa terceira estimativa realizada por Rufino et al. (1993), o estado do Paraná foi separado em 8 regiões e para cada uma delas foi determinada uma equação de regressão entre EI30 (definido pelo método pluviográfico) e o coeficiente de chuva (Rc), proposto por Fournier (1960), obtido a partir da precipitação média mensal e da precipitação média anual. Com estas oito equações de regressão incorporou-se ao mapa de linhas isoerodentes do estado 144 locais que dispunham somente de dados de pluviômetro, e com isso estimou-se com maior precisão a erosividade nas diferentes regiões.

Extrapolando as condições edafoclimáticas com dados históricos, Waltrick (2010) iniciou estudos sobre a característica da erosividade da chuva no estado do Paraná, por meio de simulações para cenários futuros com alterações climáticas. De acordo com o autor, a erosividade das chuvas nos cenários A2 e B2 do IPCC (2007), foi estimada utilizando projeções do modelo HadRM3P e, apresentaram valores elevados principalmente nas regiões sudoeste e litorânea do Paraná, no período simulado de 2070 a 2099, tanto no cenário de mudança climática pessimista (A2), bem como no cenário mais otimista (B2).

Mais recentemente, Waltrick et al. (2015) propuseram a revisão das equações obtidas por Rufino et al. (1993) e atualizaram o mapa de isoerodentes para o estado do Paraná. Os autores concluíram que as chuvas nas regiões sudoeste, oeste, norte-pioneiro, centro-oriental e sudeste paranaense estavam mais erosivas em relação à última estimativa realizada por Rufino et al. (1993). Com exceção das regiões sudoeste, oeste e litorânea que apresentaram valores mais críticos da erosividade média anual nas demais regiões a erosividade das chuvas não foi alterada.

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), estabelecido em 1988, pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), foi criado para avaliar a variabilidade do clima e seus possíveis riscos a sociedade e, fornecer informações técnicas e socioeconômicas sobre as mudanças climáticas. No seu 5º relatório (IPCC, 2013), que aborda cenários climáticos denominados RCps, na melhor situação é previsto um aumento médio na temperatura global entre de 0,3 a 1,7°C e, na pior situação um acréscimo médio entre 2,6 e 4,8°C até o final do século XXI.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Dentro deste contexto e, de acordo com Bastola et al. (2014), os modelos climáticos globais são ferramentas amplamente utilizadas na obtenção de cenários climáticos futuros. Estes cenários climáticos ou reanálises globais contribuem na representação em larga escala das características de circulação atmosférica, porém não reproduzem satisfatoriamente as variáveis de superfície em uma escala adequada para aplicações hidrológicas. Portanto, torna-se de fundamental importância a aplicação dos chamados geradores de dados climáticos, que são modelos capazes de gerar padrões meteorológicos diários estatisticamente semelhantes aos padrões dos dados históricos (SEMENOV, 2008).

Estes geradores são usualmente utilizados como ferramentas eficientes na simulação de cenários climáticos futuros para avaliação de modelos agronômicos ou hidrológicos, pois permitem mudar a tendência climática regional com base na saída de modelos climáticos globais (NEVES, 2015). Virgens Filho e Leite (2010), com a finalidade de simular cenários climáticos baseados em possíveis alterações climáticas para a região dos Campos Gerais, verificaram que os geradores de dados climáticos promovem uma interação de natureza probabilística com componentes de outros sistemas de natureza agronômica e hidrológica, fornecendo uma metodologia para medir o risco de incerteza climática.

Vários pesquisadores têm proposto geradores estocásticos de séries climáticas como o CLIGEN (NICKS; HARP, 1980), o WGEN (RICHARDSON; WRIGHT, 1984), o LARS-WG (SEMENOV; BARROW, 1997), sendo que no Brasil destacam-se o GEPAC (VIRGENS FILHO, 1997), o SEDAC_R (VIRGENS FILHO, 2001), o CLIMABR (OLIVEIRA et al., 2005) e mais atualmente o PGECLIMA_R (VIRGENS FILHO et al., 2013), para aplicação em problemas de natureza hidrológica e/ou agronômica.

Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo analisar a erosividade da chuva no estado do Paraná e simular cenários futuros impactados por mudanças climáticas globais até o ano de 2100, considerando as possíveis alterações do clima previstas no 5º relatório do IPCC.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estado do Paraná está localizado na região Sul do Brasil, limitado pelas coordenadas geográficas 22°31’05” e 26°43’03”S, 48°01’24” e 54°35’37”W. Segundo classificação atualizada pelo método de Köppen por Caviglione et al. (2000), o clima predominante ao norte, noroeste, oeste e sudoeste do Paraná, com uma pequena porção no vale do rio Ribeira, pela encosta leste da Serra do Maré é do tipo “Cfa”(Clima Subtropical quente). O tipo climático “Cfb” (Clima Temperado) domina os setores sul, sudeste e a leste do estado, em terras de maior elevação dos planaltos e das serras.

É importante destacar que devido ao fato do território paranaense estar situado numa zona de transição climática, observa-se que os totais médios de precipitação pluvial se apresentam mais elevados no litoral (2.434 mm em Guaraqueçaba) e no setor sudoeste do estado (2.064 mm em Pato Branco), enquanto que no nordeste e no sudeste predominam os menores valores que variam entre 1.400 e 1.500 mm. O valor máximo de precipitação no litoral se mantém durante o ano, apesar de que no mês de janeiro, que chove em torno

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

de 400 mm, se ter quatro vezes mais volume pluviométrico do que em julho que chove cerca de 120 mm. Por outro lado, em julho nota-se que os maiores volumes de precipitação ocorrem no sudoeste do estado, com valores pluviométricos levemente superiores ao máximo encontrado no litoral (SILVA et al., 2015).

Os dados de precipitação pluvial diária (em mm) utilizados nesta pesquisa compreendem 28 estações meteorológicas pertencentes ao IAPAR, que abrangem as diversas regiões do Paraná (Figura 1). As séries históricas de chuva referentes ao período de 1980 a 2009 foram analisadas quanto a sua consistência, sendo que eventuais falhas nas séries foram completadas utilizando a funcionalidade para preenchimento de falhas de dados climáticos, que emprega técnicas estatísticas a partir de processos estocásticos, disponibilizada pelo programa PGECLIMA_R apresentado em Virgens Filho et al. (2013).

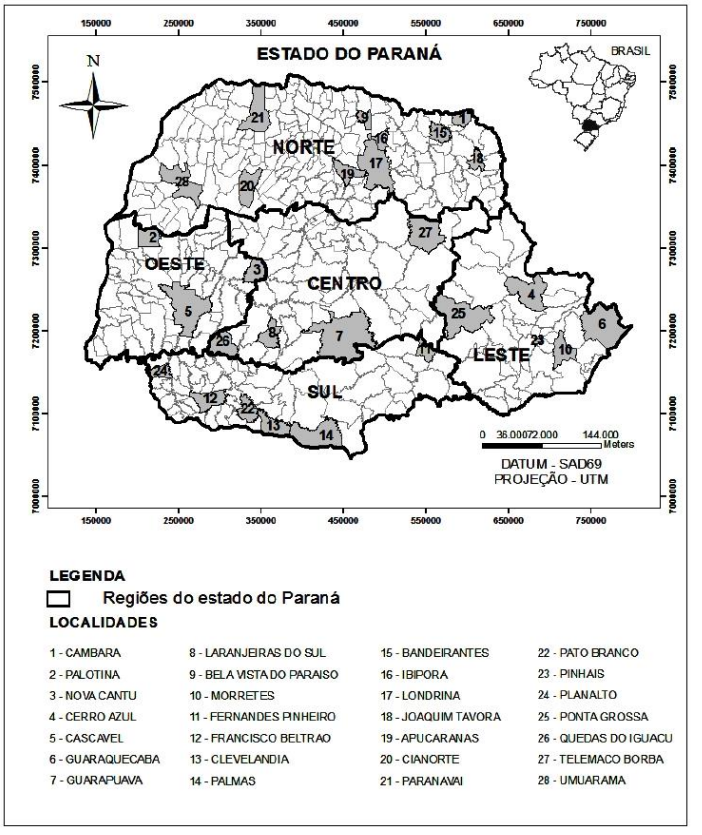


Figura 1 – Disposição espacial das estações meteorológicas do IAPAR no estado do Paraná.

Em suas observações, Wischmeier (1959) afirma que a potencialidade erosiva das chuvas é função de características individuais de cada evento. Sendo assim, para cada chuva específica o seu valor é o produto da sua energia cinética por sua intensidade máxima em 30 minutos. Este fator é denominado fator "R" ou índice de erosividade EI_{30}, que representa numericamente a força erosiva, em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ como unidade de medida, e é obtida pelo

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

produto da energia cinética (Ec) com que uma chuva atinge o solo, pela máxima intensidade verificada em 30 minutos, conforme Equação 1.

$$EI_{30}=Ec.\ I_{30min} \quad (1)$$

Diante do fato que nesta pesquisa o EI30 será determinado pelo método de equações regressivas propostas por Rufino et al. (1993) e revalidadas por Waltrick et al. (2015), as localidades foram agrupadas em 7 regiões que obedecem às equações lineares, do tipo da Equação 2.

$$EI_{30}=a+b.Rc \quad (2)$$

Para cada localidade os dados foram acumulados mensalmente e anualmente, possibilitando assim a obtenção das médias de precipitação para cada mês do ano (p) e também a média anual nas séries históricas (P). A partir destas médias determinou-se o coeficiente de chuva (Rc), por meio da Equação 3:

$$Rc=p^2/P \quad (3)$$

Em que,

Rc: Coeficiente de chuva;

p: média da precipitação mensal no período;

P: média da precipitação anual no período.

Com o Rc calculado, os coeficientes linear e angular de cada equação são definidos, estimando-se assim o índice de erosão para o período de 1980 a 2009.

Conforme a Equação 4, a erosividade numa região é dada matematicamente pela somatória destes produtos das chuvas ocorridas em determinado período, ou seja, tem-se a erosividade da chuva no ano ou apenas em um mês.

$$R=\sum_{j=1}^{n} EI_{30} \quad (4)$$

Em que, "n" é o número de chuvas (Wischmeier, 1959).

De acordo com Schick et al. (2014), o índice de erosividade mensal é obtido pelo somatório dos valores dos índices das chuvas individuais e ao acumular os valores mensais, obtém-se o índice de erosividade anual. Os valores mensais dos índices de erosividade são as médias dos valores mensais dos anos para a localidade. Assim, o valor médio anual do índice de erosividade é a média dos valores dos anos do período estudado.

As projeções das precipitações médias mensais (p) e anual (P) foram utilizadas para a obtenção de Rc e posteriormente, com as equações que Rufino

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

propôs em 1993, revisadas por Waltrick et al. (2015), foi possível obter a erosividade para cada local, ano a ano.

Na Tabela 1 são apresentadas as equações utilizadas para estimativa da erosividade da chuva, onde a variável dependente (Y) corresponde ao índice de erosividade (EI30) e a variável independente (X) corresponde ao coeficiente de chuva (Rc).

Tabela 1 – Equações de regressão utilizadas para cada localidade de origem dos dados considerados.

Região	Localidade	Equação
1	Cascavel	**Y=182,86+56,21X**
1	Cianorte	
1	Nova Cantu	
1	Palotina	
1	Planalto	
1	Quedas do Iguaçu	
1	Umuarama	
2	Francisco Beltrão	**Y=146,86+55,20X**
2	Pato Branco	
3	Bela Vista do Paraíso	**Y=216,31+41,30X**
3	Ibiporã	
4	Apucarana	**Y=164,12+39,44X**
4	Bandeirantes	
4	Cambará	
4	Londrina	
4	Paranavaí	
5	Clevelância	**Y=107,52+46,89X**
5	Laranjeiras do Sul	
5	Palmas	
6	Fernandes Pinheiro	**Y=93,29+41,20X**
6	Guarapuava	
6	Joaquim Távora	
6	Ponta Grossa	
6	Telêmaco Borba	
7	Cerro Azul	**Y=33,26+40,71X**
7	Guaraqueçaba	
7	Morretes	
7	Pinhais	

Os dados históricos de precipitação diária no período de 30 anos, em 28 localidades do estado do Paraná, fundamentaram a base de dados das simulações que foram realizadas por meio do modelo computacional

PGECLIMA_R, que realizou as gerações de dados climáticos por meio de modelos estocásticos de acordo com as distribuições de probabilidade para cada variável climática, conforme Virgens Filho (2001). Sendo assim, foram simulados dados diários de precipitação até 2100, contemplando dois cenários climáticos baseados no 5º Relatório do IPCC.

No primeiro cenário (cenário 01) considerou-se um aumento da temperatura média global de 1,7ºC. No segundo cenário (cenário 02), foi considerado um aumento da temperatura média global em 4,8ºC. Para cada cenário foram realizadas três simulações da precipitação pluvial até o final do século XXI, tendo como referência um acréscimo de 10% no volume de precipitação para cada grau (°C) aumentado, conforme sugestão de Pyke (2005).

Um detalhe importante a ser observado é que tanto no cenário 01 quanto no cenário 02, as precipitações simuladas foram separadas em 3 períodos: de 2010 a 2039, de 2040 a 2069 e de 2070 a 2099. Desta forma, utilizando o sistema de informação geográfica ArcGIS, para os dois cenários climáticos futuros foram elaborados mapas georreferenciados de erosividade da chuva para o Paraná, por meio da técnica de interpolação geoestatística "krigagem ordinária", que segundo Gardiman Junior et al. (2012) e Silva et al. (2011), apresenta resultados mais eficientes na interpolação de variáveis hidrológicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados pluviométricos diários das estações meteorológicas do estado do Paraná permitiram a estimativa da erosividade média no período de 1980 a 2009, separadamente para cada localidade. A totalidade dos valores de erosividade mensal e anual, para cada localidade está apresentada na Tabela 2, onde os maiores valores anuais foram encontrados nos municípios de Quedas do Iguaçu com 12.339,65 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$, Cascavel com 12.124,37 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ e Nova Cantú com 12.006,83 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$, todos localizados na região oeste do Paraná. Os menores valores anuais foram verificados em Cerro Azul (5.728,75 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$) e Pinhais (5.765,15 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$), localizados mais a leste do estado.

Tabela 2- Estimativa da erosividade da chuva nas diversas localidades do Paraná, para o período de 1980 a 2009.

Reg.	Município	EI_{30} *jan*	EI_{30} *fev*	EI_{30} *mar*	EI_{30} *abr*	EI_{30} *mai*	EI_{30} *jun*	EI_{30} *jul*	EI_{30} *ago*	EI_{30} *set*	EI_{30} *out*	EI_{30} *nov*	EI_{30} *dez*	EI_{30} *anual*
1	Cascavel	1198,96	1095,66	735,33	1007,23	1300,00	670,60	618,42	494,84	958,18	1635,10	1062,65	1347,40	12124,37
1	Cianorte	1549,13	1076,38	845,44	722,42	836,27	668,71	291,49	360,77	812,72	1224,48	799,17	1547,90	10734,87
1	Nova Cantu	1343,03	1178,04	855,09	999,90	1155,11	732,06	551,14	375,13	965,52	1509,39	974,53	1367,91	12006,83
1	Palotina	1216,50	1050,31	569,99	870,14	1091,91	582,05	413,12	361,58	848,71	1326,76	1102,42	1080,13	10513,62
1	Planalto	1109,09	971,35	589,35	996,97	1288,47	854,98	557,61	540,53	957,78	1963,53	1039,61	969,13	11838,41
1	Quedas do Iguaçu	1063,25	1273,10	744,10	1024,14	1105,51	932,56	622,86	490,36	1080,12	1814,49	1119,42	1069,72	**12339,65**
1	Umuarama	1255,86	986,30	660,50	744,70	1070,30	603,10	332,25	348,37	854,16	1305,06	1048,61	1236,49	10445,68
2	Francisco Beltrão	1137,92	992,88	634,93	995,57	1205,19	927,94	648,26	444,43	929,82	1925,58	1027,01	849,12	11718,64
2	Pato Branco	1082,59	915,15	568,36	994,69	1146,33	877,07	691,17	493,57	951,58	1786,93	1089,04	1091,44	11687,91
3	Bela Vista do Paraíso	1815,58	952,48	673,56	515,32	556,80	410,55	298,88	269,69	554,98	744,90	840,56	1121,42	8754,71
3	Ibiporã	1660,36	1087,30	693,95	504,46	569,66	402,68	307,49	274,96	531,13	645,15	840,15	1098,03	8615,32
4	Apucarana	1275,84	871,16	607,37	479,66	712,24	489,46	254,55	246,73	662,85	720,38	754,57	970,61	8045,44
4	Bandeirantes	1397,32	985,78	579,73	418,77	455,72	313,00	247,77	211,06	480,59	612,98	677,92	1175,04	7555,69
4	Cambará	1349,88	1050,80	777,90	422,49	376,97	300,96	237,68	209,75	377,98	628,32	779,64	962,36	7474,73
4	Londrina	1358,96	1096,95	628,18	465,18	510,65	369,83	270,08	227,76	504,87	619,56	826,63	1166,30	8044,97
4	Paranavaí	1171,43	860,55	635,70	431,93	525,61	398,48	257,12	247,30	600,98	768,76	600,45	825,39	7323,69
6	Clevelândia	870,05	745,16	477,87	862,19	848,50	739,15	558,63	454,32	774,39	1418,65	918,11	888,52	9555,54
6	Laranjeiras do Sul	973,48	998,39	503,83	730,11	904,69	669,61	550,50	321,89	755,97	1515,25	722,85	1065,76	9712,33
6	Palmas	874,24	799,27	496,24	781,70	895,71	751,89	643,43	469,70	876,95	1588,77	755,42	822,61	9755,93
7	Fernandes Pinheiro	1043,90	582,49	468,27	371,53	587,27	429,81	466,18	233,80	739,98	833,98	511,24	710,11	6978,55
7	Guarapuava	1001,90	674,30	502,80	595,58	722,39	510,15	450,49	260,07	774,38	1072,60	719,70	835,83	8120,20
7	Joaquim Távora	1609,60	806,22	538,77	377,89	450,22	258,79	200,19	162,63	402,77	553,87	508,75	1003,72	6873,41
7	Ponta Grossa	976,38	760,89	566,63	373,74	618,57	499,07	376,40	232,78	671,95	793,70	456,44	683,38	7009,92
7	Telêmaco Borba	1196,75	788,34	453,35	360,24	551,63	379,60	307,83	217,82	680,67	751,17	608,30	805,17	7100,86
8	Cerro Azul	1160,27	676,09	548,06	251,11	440,97	244,00	196,07	141,94	446,74	419,51	376,76	827,21	**5728,75**
8	Guaraqueçaba	2769,66	2045,91	1520,53	505,14	285,58	211,17	272,04	140,73	483,85	541,30	634,04	1141,46	10551,40
8	Morretes	2013,22	1469,17	988,30	294,90	274,94	208,17	319,17	152,17	535,86	523,35	606,32	969,98	8355,55
8	Pinhais	1093,06	683,28	457,29	259,84	310,51	272,91	318,32	179,25	464,91	438,56	463,62	823,59	5765,15
	Média	1306,01	981,20	654,34	619,91	742,77	525,30	402,11	305,85	702,87	1060,07	780,85	1016,28	9097,58
	Máximo	2.769,66	2.045,91	1.520,53	1.024,14	1.300,00	932,56	691,17	540,53	1.080,12	1.963,53	1.119,42	1.547,90	12.339,65
	Mínimo	870,05	582,49	453,35	251,11	274,94	208,17	196,07	140,73	377,98	419,51	376,76	683,38	5.728,75

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

De maneira geral, conforme mostra a Figura 2, foi verificado uma tendência de aumento da erosividade no sentido de leste para oeste no estado do Paraná, com exceção da costa litorânea que apresentou valores de erosividade acima dos 10.000 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$, que segundo Waltrick et al. (2015), se deve ao fato de nessa região existir um aquecimento diferenciado entre continente e oceano, o que provoca chuvas mais fortes e, consequentemente, uma erosividade mais elevada.

A tendência de aumento da erosividade da chuva no sentido de leste para oeste em localidades brasileiras, também foi encontrada por Oliveira et al. (2012), quando realizaram uma revisão sobre a erosividade da chuva no Brasil. Os autores concluíram que os valores médios anuais de erosividade da chuva no Brasil variaram de 1.672 a 22.452 MJ.mm.ha−1.h−1.ano−1, sendo que na porção mais ao norte do país, os valores foram menores na região nordeste e maiores na região norte. É importante destacar ainda nesta pesquisa, que sob o ponto de vista espacial, ficou evidenciado a tendência de aumento da erosividade no sentido de leste para oeste nas regiões sudeste e sul do país.

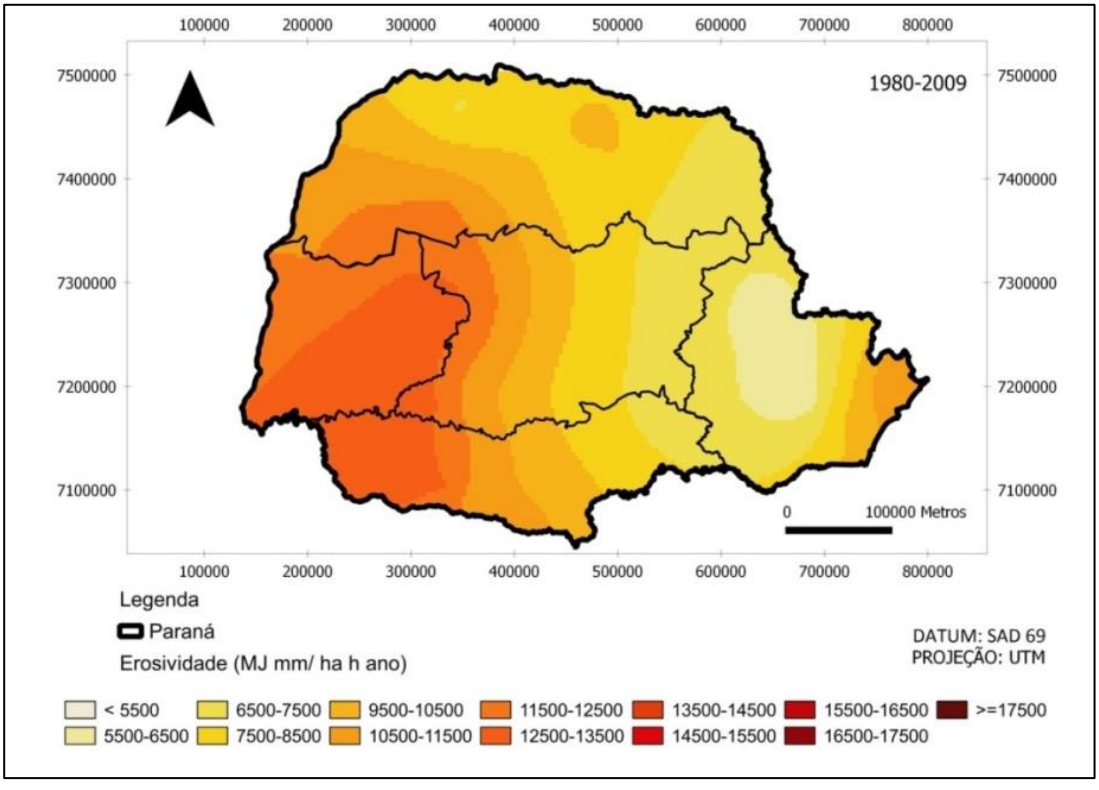


Figura 2 – Distribuição espacial da erosividade anual das chuvas (em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$) para o estado do Paraná, no período de 1980 a 2009.

A mesma tendência também foi constatada, segundo alguns resultados encontrados para a região Sul do Brasil. No Rio Grande do Sul, Lago (2000) analisando a erosividade das chuvas na metade sul do Rio Grande do Sul, encontrou valores anuais de erosividade que variaram de 2.000 a 8.000

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} , com uma tendência de aumento da erosividade no sentido de leste para oeste. O autor destaca inclusive, que para o setor oeste do estado foram encontrados valores entre 7.000 e 8.000 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} , que envolvem partes dos municípios de Santana do Livramento e Caçapava do Sul, que compreende uma região de muita atividade agropecuária e manejo conservacionista inadequado. Cassol et al. (2008) encontrou resultados semelhantes avaliando a erosividade em São Borja-RS, município situado no extremo oeste do Rio Grande do Sul.

Valvassori e Back (2014) analisaram a erosividade da chuva em Urussanga no estado de Santa Catarina no período de 1980 a 2012 e estimaram a erosividade média anual em 5.665 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} , valor que difere do encontrado no município de Palmas no Paraná, cidade esta que fica mais a oeste de Urussanga, onde a erosividade média anual, no período de 1980 a 2009 foi estimada em 9.756 MJ MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} , conforme se observa na Tabela 2. Apesar destes municípios se distanciarem em aproximadamente 450 km, com Urussanga se localizando na planície costeira com altitude de 49m e Palmas situando-se no terceiro planalto paranaense com altitude de 1.115m, é interessante a constatação desta diferença longitudinal entre as estimativas de erosividade, mesmo tendo estas localidades, características geográficas distintas, que permeiam aspectos como o relevo e a dinâmica atmosférica, que influenciam consideravelmente na distribuição sazonal das chuvas.

Por outro lado, em Teodoro Sampaio, município do estado de São Paulo, próximo da divisa com o norte do Paraná, Colodro et al. (2002) ao avaliarem a erosividade média anual no período de 1976 e 1996, obtiveram o valor de 7.172 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} , valor este próximo do encontrado na localidade de Paranavaí (7.323,64 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}) distante aproximadamente 70 km ao sul da primeira, mas longitudinalmente próximas.

Os locais sujeitos a uma maior erosividade, conforme mostra a Figura 2, são os das regiões oeste e sudoeste do Paraná, onde ocorrem extensas áreas de cultivo e pertencem à bacia do rio Iguaçu, que por sua vez, apresenta grande destaque no cenário nacional pela produção de energia hidrelétrica. Por sua vez, no setor leste do estado, os índices de erosividade obtidos se mostraram inferiores, na região próxima à cidade de Curitiba.

Esta redução do potencial erosivo no setor leste é devido à orografia da Serra do Mar, que segundo Terassi e Galvani (2017), funciona como uma barreira para a influência da maritimidade conjugada à atuação mais efetiva da massa Tropical atlântica, na dinâmica dos atributos constituintes do clima, de forma a intensificar ou reduzir os totais pluviais. No extremo leste do estado, mais precisamente na planície costeira, o grau de erosividade volta a crescer com seus valores circundando os 10.000 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} , devido ao fato desta região apresentar um clima mais quente e úmido, devido à proximidade com o Oceano Atlântico e à densa área coberta por mata atlântica.

Apesar da média de erosividade para o estado do Paraná ser relativamente elevada nos meses de outubro a janeiro e atingir níveis mínimos de março a agosto, deve-se considerar que a distribuição de erosividade ao longo do ano, tem uma variabilidade acentuada, quando comparada com localidades como as especificadas na Figura 3. Por exemplo, na localidade de Quedas do Iguaçu, a que apresentou os valores mais altos de erosividade, verifica-se que a erosividade da chuva é extremamente elevada em pelo menos

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

08 meses no ano, superando 1.000 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$, principalmente de setembro a fevereiro. Para o município de Cerro Azul, a localidade que apresentou o menor valor, apenas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro que a erosividade mensal ultrapassa 600 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$. No período de março a novembro a erosividade ficou aquém desta média, chegando ao menor valor no mês de agosto com 141,94 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$.

Esta diferença entre as duas localidades pode estar associada a um maior valor de chuva no período para Quedas do Iguaçu em relação a Cerro Azul, uma vez que os totais médios mensais e anuais de chuva em Quedas do Iguaçu são maiores do que em Cerro Azul, mesmo que estas regiões estejam em zonas climáticas diferentes, sendo que Quedas do Iguaçú está numa região de clima tipo "Cfa" e Cerro Azul numa região de clima predominante do tipo "Cfb". É válido destacar que em Quedas do Iguaçu, também existe uma ocupação do solo mais caracterizada por exploração agrícola e florestal.

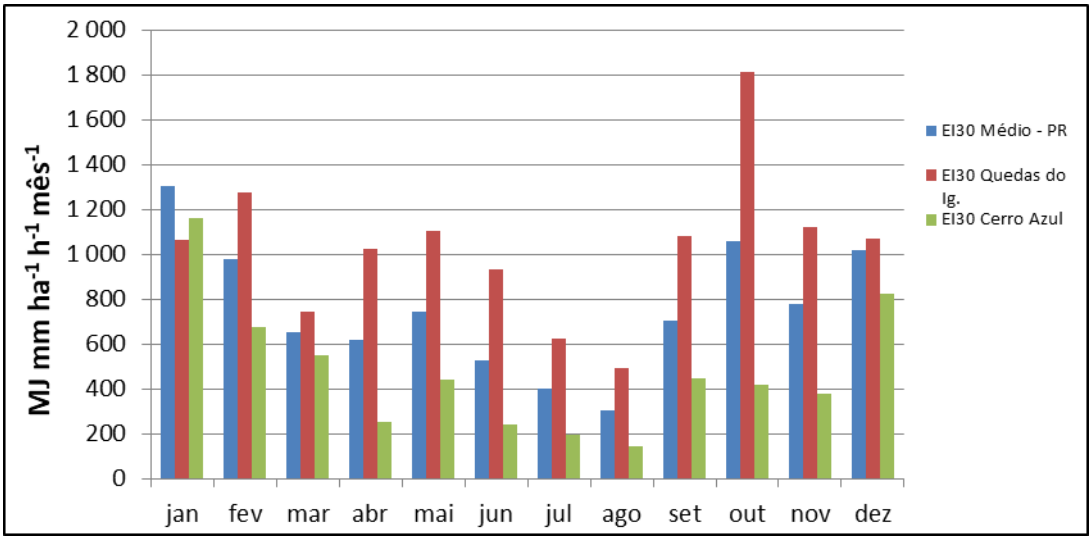


Figura 3 – Distribuição da erosividade média mensal da chuva no estado do Paraná e nas localidades de Quedas do Iguaçu e Cerro Azul no período de 1980 a 2009.

Nas simulações de erosividade da chuva ao longo do século XXI, observa-se uma tendência de aumento da erosividade em todo o estado do Paraná, com destaque para a região oeste, que apresenta em qualquer cenário, uma intensificação do potencial erosivo, decorrente do aumento da pluviosidade. Nas projeções realizadas, tanto para o cenário 01 (Figura 4) quanto para o cenário 02 (Figura 5), o período de 2070 a 2099 (últimos 30 anos do século XXI) apresentou valores significativamente superiores aos valores históricos em todas as regiões. Numa melhor perspectiva, no cenário 01, no qual se projetou um aumento na precipitação de 17%, haveria um aumento dos valores de erosividade em torno de 20%. Contudo, para o segundo cenário, com um aumento de 48% no volume de chuva precipitado, o percentual de erosividade aumentaria em 30% em relação aos valores históricos (período de 1980 a 2009).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Estes resultados estão em consonância aos que foram obtidos por Waltrick (2010), onde se constatou que as estimativas para erosividade anual das chuvas com os cenários (B2 – aumento de 2,4°C / A2 – aumento de 3,4°C) propostos pelo 4º relatório do IPCC (IPCC, 2007), tendem a aumentar até 2100. É importante destacar que a estimativa da erosividade realizada por Waltrick (2010) é baseada no aumento de temperatura de 2,4°C (B2) e 3,4°C (A2), respectivamente, enquanto que no presente trabalho adotaram-se aumentos de 1,7°C e 4,8°C, ou seja, em conformidade com o 5º relatório do IPCC (IPCC, 2013).

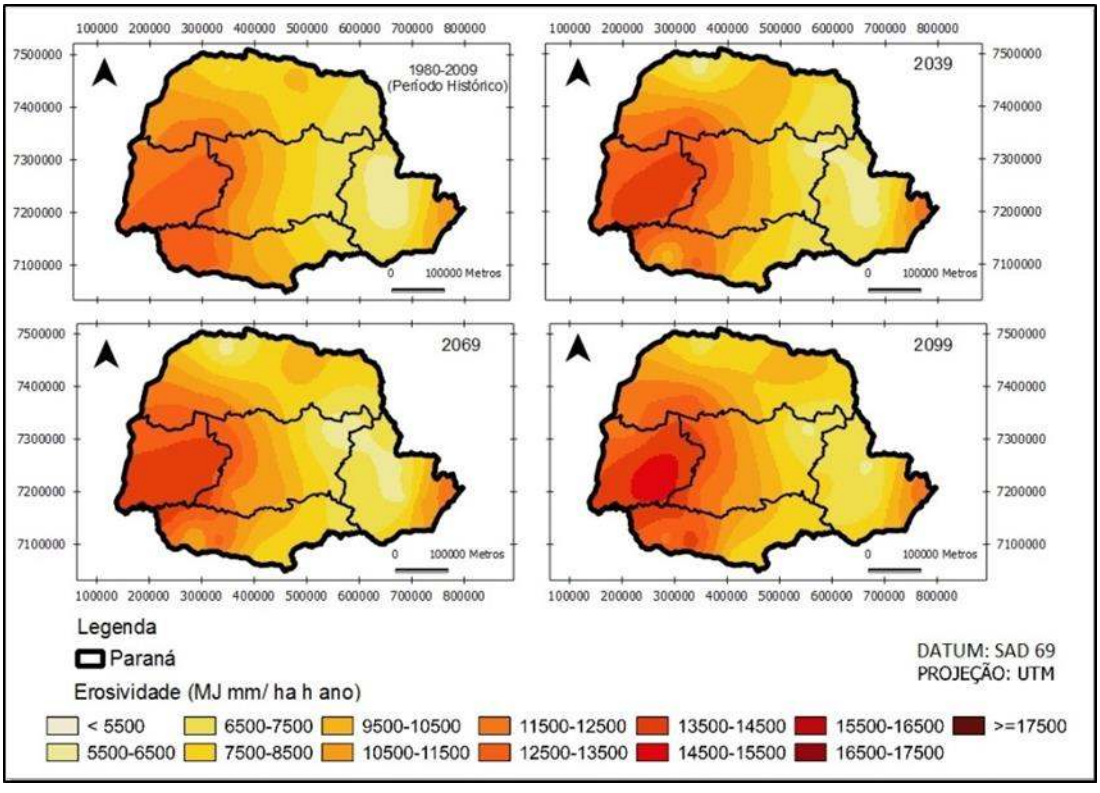


Figura 4 - Evolução da erosividade média estimada ao final dos períodos analisados, para um cenário com aumento da temperatura global em 1,7°C.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

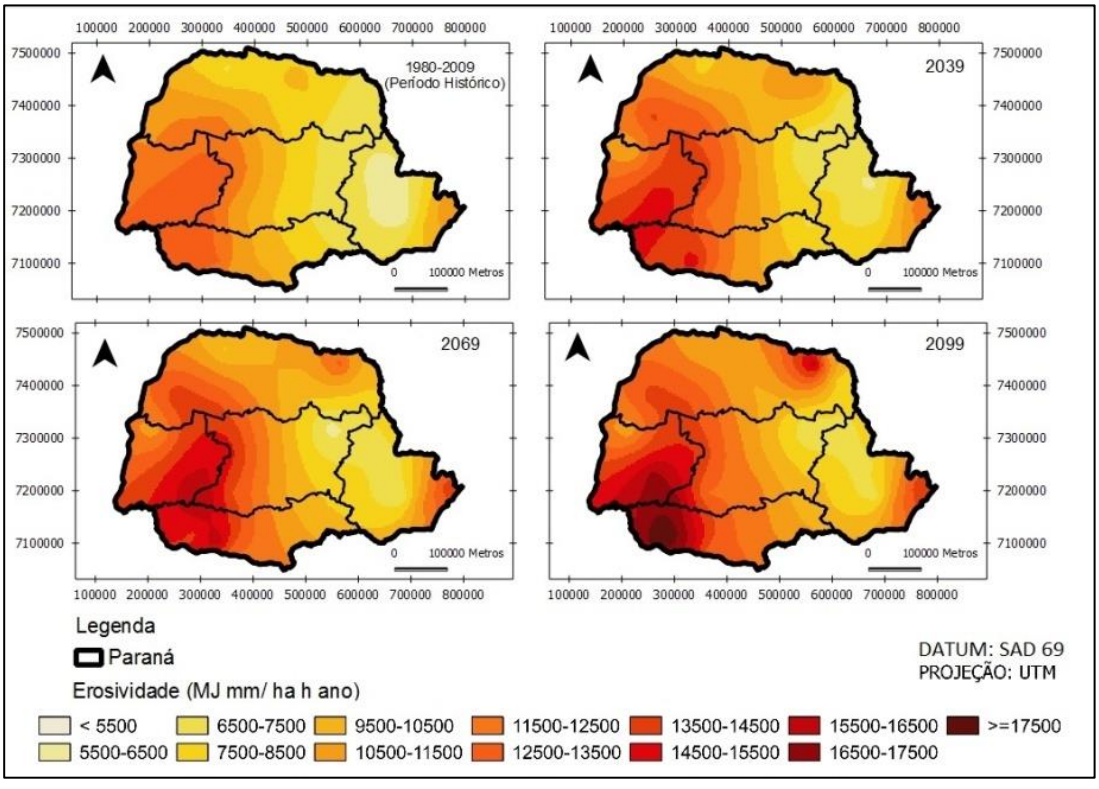


Figura 5 - Evolução da erosividade média estimada ao final dos períodos analisados, para um cenário com aumento da temperatura global em 4,8°C.

Para fins de comparação da erosividade simulada até o final de 2099, as localidades de Quedas do Iguaçu, localizada na região sudoeste e Cerro Azul na região leste, tiveram suas estimativas de erosividade ao final de cada período futuro avaliado, apresentadas nos gráficos das Figuras 6 e 7, que demonstram a evolução nos dois cenários considerados.

A variação entre os cenários de erosividade em Quedas do Iguaçu (Figura 6), ao final do século XXI chega a 18,4%, em uma região onde a erosividade é mais intensa no estado do Paraná. A localidade de Cerro Azul apresentou, para o final do século XXI, a menor taxa de erosividade com 6.270,14 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ no cenário 01, e 7.330,26 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ no cenário 02, uma variação acima de 1.000 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$. A evolução nesta localidade foi a que apresentou maior regularidade proporcionando uma curva com crescimento suave, conforme mostra o gráfico da Figura 7.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

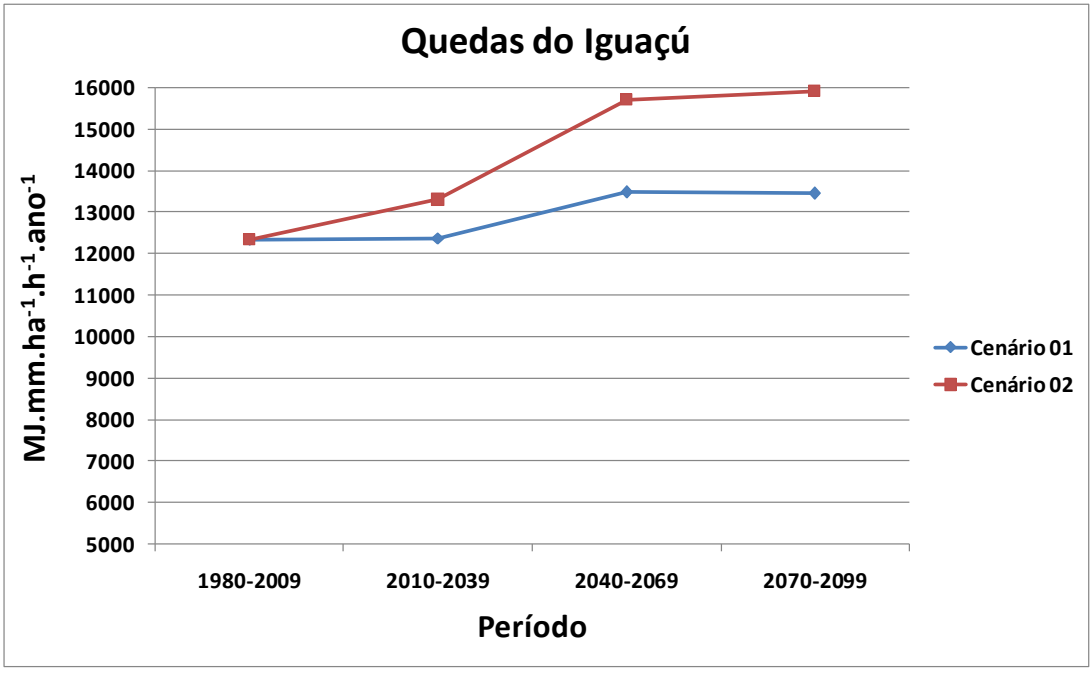


Figura 6 – Estimativas de erosividade para o final do século XXI em Quedas do Iguaçu nos dois cenários analisados.

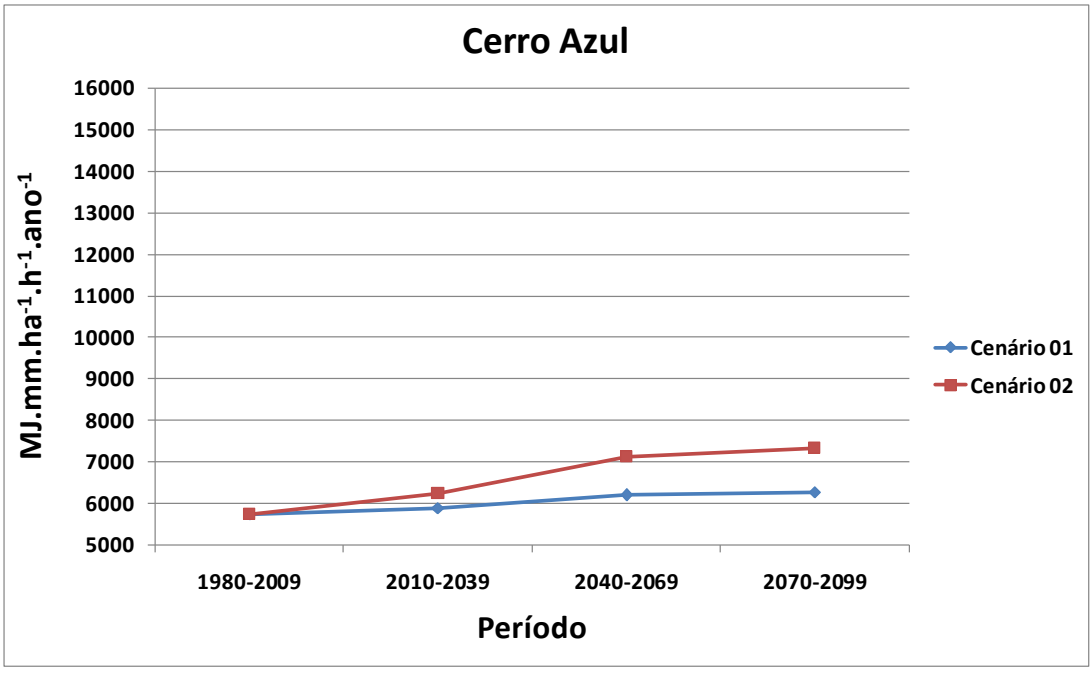


Figura 7 – Estimativas de erosividade para o final do século XXI em Cerro Azul nos dois cenários analisados.

Waltrick (2010) observou que a erosividade anual apresentou valores elevados para 2100 nas regiões oeste e sudoeste do estado, onde os valores

estimados chegam a 13.400 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} e e 15.000 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} para os cenários B2 e A2 do 4º relatório do IPCC, respectivamente. Nas simulações realizadas neste trabalho chegou-se à estimativa de 13.216 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} e 14.472 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} para o cenário 01 e cenário 02, respectivamente, com valores elevados principalmente nos municípios de Quedas do Iguaçu 14.472 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} , Francisco Beltrão 14.464,87 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} , Cascavel 14.195 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} e Nova Cantú 14.028 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} .

Ao avaliar a erosividade em Quedas do Iguaçu, no cenário 01, considerando um aumento de temperatura de 1,7°C e partindo da erosividade estimada pelo período histórico de precipitação em 12.339,65 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} até o final de 2099, percebe-se que a erosividade pode atingir valores próximos à 13.456,83 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} , caracterizando um aumento de 8,7%, conforme Figura 4. No cenário 02, tendo em vista um aumento da temperatura de 4,8°C, o valor atingido foi de 15.929,36 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} , o que significa um aumento de 28,68% em relação a erosividade atual (Figura 5). As curvas de evolução apresentaram um salto entre o período de 2039 a 2069 com variação de 8,99% e 27,08%, respectivamente, para o cenário 01 e cenário 02.

De maneira geral, em ambos os cenários futuros avaliados, as simulações apresentaram avanços relevantes quando comparados ao período histórico de 30 anos. Os resultados obtidos no cenário 01 atingiram valores superiores a 14.000 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} em Cascavel (Figura 4), por exemplo, enquanto que no cenário 02 chegou-se em valores extremos superando 17.500 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} em Francisco Beltrão (Figura 5), no sudoeste do Paraná.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nesta pesquisa, foi constatada a existência de uma significativa variação espacial da erosividade da chuva nas diversas regiões do estado do Paraná, sendo que o maior valor encontrado foi de 12.339,65 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} em Quedas do Iguaçu e o menor foi de 5.728,75 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} em Cerro Azul.

A distribuição da erosividade da chuva durante o ano ocorreu de maneira diferenciada para as localidades do Paraná, com a região sudoeste do estado apresentando valores elevados de erosividade em pelo menos 8 meses do ano, com valores próximos à 1.000 MJ.mm.ha-1.h-1.mês-1, enquanto que mais a leste do estado a erosividade atinge maiores valores nos meses de verão, declinando até atingir seu menor valor, próximo de 150 MJ.mm.ha-1.h-1.mês-1, em agosto.

As simulações de erosividade para o final do século XXI mostraram possíveis evoluções em dois cenários de mudança climática avaliados, com valores extremos alcançados num cenário mais pessimista, atingindo um nível máximo superior a 17.500 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1} em Francisco Beltrão na região sudoeste do Paraná.

Com as projeções realizadas até o final do século XXI e, considerando possíveis alterações climáticas que poderão impactar no regime pluviométrico regional, é possível esperar que os processos erosivos se intensifiquem, o que

pode desencadear sérios problemas de natureza ambiental, que por sua vez, pode gerar grandes prejuízos ao patrimônio natural do Paraná.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a Fundação Araucária do Paraná pelo suporte financeiro desta pesquisa e ao IAPAR pela disponibilização das séries de dados climatológicos.

REFERÊNCIAS

BASTOLA, S.; MISRA, V. Evaluation of dynamically downscaled reanalysis precipitation data for hydrological application. Hydrological Process, v.28, n.4, p.1989-2002, 2014.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, n.3, p.1239-1251, 2008.

CASTRO FILHO, C.; CATANEO, A.; BISCAIA, R. C. M. Utilização da metodologia de Wilkinson, para cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades no Paraná. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.6, p.236-239, 1982.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina: IAPAR, 2000. CD ROM.

COLODRO, G.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M. Erosividade da Chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, p.809-818, 2002.

FOURNIER, F. Climat et erosion. Press Universitaries de France-Paris. 1960.

291 p.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. A. A.; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). Revista Ambiência, v.8, n.1, p. 61–71. 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Fourth Assessment Report. Cambridge Univ. Press, 2007. 996p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press, 2013. 1535 p.

LAGO, J. C. Erosividade das chuvas na metade sul do Rio Grande do Sul. 2000. 138f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, 2000.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: Sua distribuição e relação com a perda de solo em Campinas (SP). Bragantia, v.2, n. 51, p. 189-196, 1992.

NEVES, G. L. Impacto das mudanças climáticas globais na disponibilidade hídrica do solo no Estado do Paraná. 2015. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2015.

NICKS, A. D.; HARP, J. F. Stochastics generation of temperature and solar radiation data. Journal of Hydrology, v. 48, p. 1-17, 1980.

OLIVEIRA, V. P. S.; ZANETTI, S.; PRUSKI, F. Parte I: Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, n. 3, p. 348-355, 2005.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: a review. Journal of Soil Science, v. 100, p.139-147, 2012.

PANAGOS, P., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., YU, B., KLIK, A., LIM, K. J.,YANG, J. E., NI, J., MIAO, C., CHATTOPADHYAY, N., SADEGHI, S. H., HAZBAVI, Z., ZABIHI, M., LARIONOV, G. A., KRASNOV, S. F., GOROBETS, A. V., LEVI, Y., ERPUL, G., BIRKEL, C., HOYOS, N., NAIPAL, V., OLIVEIRA, P. T. S., BONILLA, C. A., MEDDI, M., NEL, W., AL DASHTI, H., BONI, M., DIODATO, N., VAN OOST, K., NEARING, M., BALLABIO, C. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records, Nature-Scientific Reports, v. 7, Article number: 4175, p.1-13, 2017.

PYKE, C. R. Interactions between habitat loss and climate change: implications for fairy shrimp in the central valley ecoregion of california, USA. Climatic Change, v.68, p.199-218, 2005.

RICHARDSON, C. W.; WRIGHT, D. A. WGEN: A model for generating daily weather variables. USDA-ARS ARS-8, 1984. 80p.

RUFINO, R. L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o Estado do Paraná: segunda aproximação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 10, p. 279-281, 1986.

RUFINO, R. L.; BISCAIA, R. C. M.; MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 19, p. 437-444, 1993.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erosividade das chuvas de Lages, Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 6, 2014.

SEMENOV, M. A.; BARROW, E. M. Use of a stochastic weather generator in the development of climate changes scenarios. Climatic Changes, v. 35, p.397-414. 1997.

SEMENOV, M. A. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate Research, v. 35, p. 203-212. 2008.

SILVA, K. R.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; GARCIA, G. O. Interpolação Espacial da Precipitação no Estado do Espírito Santo. Floresta e Ambiente, v.18, n4, p.417-427, 2011.

SILVA, W. L.; DERECZYNSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B. J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos

climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. Revista Brasileira de Meteorologia, v.30, n.2, p.181-194, 2015.

TERASSI, P. M. B.; GALVANI, E. O efeito orográfico da Serra do Mar e o potencial erosivo das chuvas nas bacias hidrográficas do Ribeira e Litorânea – Paraná. Revista Brasileira de Climatologia, v. 21, p. 327-345, 2017.

VALVASSORI, M. L.; BACK, A. J. Avaliação do potencial erosivo das chuvas em Urussanga, Santa Catarina, Brasil, no período de 1980 a 2012. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 3, p.1011-1019, 2014.

VIRGENS FILHO, J. S. Modelo computacional para simulação de dados climáticos. 1997. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, 1997.

VIRGENS FILHO, J. S. Ferramenta computacional para simulação de séries climáticas diárias, baseada na parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade. 2001. 92f. Tese (Doutorado em Energia e Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, 2001.

VIRGENS FILHO, J. S.; LEITE, M. L. Simulation of climate scenarios for the region of Campos Gerais, State of Paraná, Brazil. In: IUFRO Landscape Ecology Working Group International Conference, 2010, Bragança-Portugal. Anais.Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2010. p. 364-369.

VIRGENS FILHO, J. S.; OLIVEIRA, R. B.; LEITE, M. L.; TSUKAHARA, R. Y. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do estado do Paraná. Engenharia Agrícola, v. 33, n. 3, p. 538-547, 2013.

WALTRICK, P. C. Erosividade de chuvas no Paraná: atualização, influência do "El nino" e "La nina" e estimativa para cenários climáticos futuros. 2010. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2010.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no Estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 à 2008. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, p. 256-267, 2015.

WILKINSON, G. E. Rainfall characteristics and soil erosion in the rainforest area western Nigéria. Experimental Agriculture, v.11, n. 4, p. 247-255, 1975.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Science Society of America Journal, v. 23, n. 3, p. 246-249, 1959