



## AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EROSIVO DAS CHUVAS EM ANOS DE OCORRÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO - OSCILAÇÃO SUL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIQUIRI- PARANÁ

Paulo Miguel de Bodas **Terassi**<sup>1</sup>, Márcio Greyck Guimarães **Correa**<sup>2</sup>, Emerson **Galvani**<sup>3</sup>

(1 - Universidade de São Paulo, Doutorando em Geografia, [pmbterassi@usp.br](mailto:pmbterassi@usp.br); 2 - Universidade de São Paulo, Doutor em Geografia Física, [mgreyckcorrea@gmail.com](mailto:mgreyckcorrea@gmail.com); 3 - Universidade de São Paulo, Prof. Dr. do Departamento de Geografia, [egalvani@usp.br](mailto:egalvani@usp.br))

**Resumo:** O presente trabalho tem por objetivo avaliar as estimativas do potencial erosivo das chuvas para a bacia hidrográfica do rio Piquiri, delimitando os setores e os períodos de maior erosividade e investigando o controle da orografia e a influência das fases extremas do fenômeno ENOS. Utilizaram-se os dados de quarenta postos pluviométricos administrados pelo Instituto das Águas do Paraná e que compreenderam a série histórica de 1976 a 2015. As estimativas de erosividade foram calculadas a partir dos dados de pluviosidade para a equação apresentada por Rufino, Biscaia e Merten (1993) para cada ano da série histórica. A aplicação da análise de agrupamento realizada pelo método Ward mostrou-se satisfatório para compreender a relação entre a orografia e a distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do rio Piquiri. O período de maior atenção em relação ao potencial erosivo das chuvas vai de outubro a janeiro, sendo que nestes meses os grupos homogêneos apresentaram erosividade superior a  $1.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ . O modo de variabilidade El Niño-Oscilação Sul mostrou-se visualmente influente para a distribuição anual da pluviosidade e, do mesmo modo, à erosividade das chuvas.

**Palavras chave:** precipitação pluvial, erosividade de chuvas, ENOS, bacia hidrográfica.



## EVALUATION OF RAINFALL EROSIVE POTENTIAL DURING EL NIÑO- SOUTHERN OSCILLATION EPISODES IN THE PIQUIRI WATERSHED - PARANÁ STATE

**Abstract:** This paper aims to evaluate the rainfall erosivity estimates for the Piquiri watershed by means of delimiting sectors and periods of greater rainfall erosivity, investigating the orographic performance and the extreme ENSO phases influence. Were used data of forty rain gauge stations provided by Instituto das Águas do Paraná to the period between 1976 to 2015. The rainfall erosivity estimatives were calculated using the Rufino, Biscaia e Merten (1993) method for each year of the historical serie. The application of cluster analysis performed by Ward's Method (1963) proved to be satisfactory for the comprehension the relationship between orographic and the spatial distribution of rainfall erosivity in the Piquiri watershed. The most important period of rainfall erosivity potential is during October to January, in this months, the homogeneous group presented erosivity greater than  $1.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{month}^{-1}$ . The El Niño-Southern Oscillation variability, especially during the extreme events, showed to be visually influential for the rainfall and erosivity annual distribution.

**Keywords:** rainfall, rainfall erosivity, ENSO, watershed.

## EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE EROSIÓN DE LAS LLUVIAS EN LO AÑOS DE INCIDENCIA DEL FENÓMENO EL NIÑO OSCILACIÓN SUR EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO PIQUIRI - PARANÁ

**Resumen:** Este estudio tiene como objetivo evaluar las estimaciones de erosividad de las lluvias para la cuenca del río Piquiri, estipulando sectores y períodos de mayor erosividad de las lluvias e investigar el rendimiento de la orografía y la influencia de las fases extremas del fenómeno ENOS. Se utilizaron datos de cuarenta puestos de colecta de precipitaciones administrados por el Instituto de Aguas del Paraná y que cobren la serie histórica del 1976 al 2015. Las estimaciones de erosividad han sido calculadas desde los datos de precipitaciones para la ecuación presentada por Rufino, Biscaia y Merten (1993) para cada año de la serie histórica. La aplicación del análisis de conglomerados realizada por el método Ward (1963) fue satisfactoria para comprender la relación entre la orografía y la distribución espacial de la erosividad de la lluvia en la cuenca del



rio Piquiri. El período de mayor atención en relación al potencial erosivo de las lluvias va de octubre a enero, y en estos meses los grupos homogéneos han presentado una erosividad superior a  $1000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mes}^{-1}$ . El modo de variabilidad El Niño-Oscilación Sur se mostró visualmente influyente para la distribución anual de las precipitaciones y, de la misma manera, para la erosividad de las lluvias.

**Palabras clave:** precipitaciones, erosividad de lluvias, ENOS, cuenca hidrográfica.

### Introdução

A precipitação pluviométrica se destaca pelo seu volume em regiões de clima tropical e, especialmente em áreas de maiores totais pluviométricos, devido à potencialidade em causar erosão, denominada de erosividade de chuvas (PELL et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2012). Panagos et al. (2017) discorrem que os climas tropicais destacam-se com as maiores médias do total erosivo das chuvas para o Globo Terrestre, com uma média anual equivalente a  $7.104 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , enquanto que as regiões de clima temperado caracterizam-se pela segunda maior média anual da erosividade ( $3.729 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).

O território brasileiro, com sua complexidade e diversidade de tipos climáticos (ÁLVARES et al., 2013; DUBREUIL et al., 2017) e, principalmente, regimes de chuvas (KELLER FILHO et al., 2005), apresenta elevada erosividade em quase todo território nacional, superior a  $6.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , exceção dada por parte da região Nordeste em que ocorre o tipo climático tropical semiárido, com médias inferiores a  $4.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (SILVA, 2004; TRINDADE et al., 2016).

A área deste estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Piquiri (Figura 1), localizada no setor centro-oeste do estado do Paraná, que abrange uma área total de aproximadamente  $24.700 \text{ km}^2$  (ITCG, 2017), e caracteriza-se essencialmente por corresponder a uma área de transição de dois grandes tipos climáticos, conforme apontado por Nimer (1989), Nery (2006) e Fritzsons et al. (2011), o clima subtropical do Brasil Meridional, com um regime homogêneo de chuvas ao longo do ano, e o clima tropical do Brasil Central, com a concentração de chuvas no período de primavera e verão e a redução significativa nos meses de outono e inverno.

Figura 1- Localização da bacia hidrográfica do rio Piquiri, Paraná.



Fonte: Terassi, Correa e Galvani (2017).

Embora esteja situada na região de clima subtropical, dos tipos climáticos “Cfa” e “Cfb” (CAVAGLIONE et al., 2000; APARECIDO et al., 2016), a bacia hidrográfica do rio Piquiri apresenta peculiaridades espaciais na distribuição espacial das chuvas em função do controle do relevo orografia e a situação geográfica entre os dois grande tipos climáticos do território nacional (NIMER, 1989). Terassi, Correa e Galvani(2017) descreveram uma menor pluviosidade média anual e redução das chuvas para o setor norte e, inversamente, maiores totais pluviométricos e uma distribuição mensal homogênea das chuvas para o setor sul, que segundo Waltrick et al. (2015) caracterizam-se por uma das mais elevadas médias de erosividade anual do estado do Paraná, superior a  $11.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Um dos aspectos que influenciam a variabilidade anual das chuvas na região Sul do Brasil e no estado do Paraná (GRIMM et al., 1998; NERY; CARFAN, 2014), é o fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS), que é caracterizado pelo aquecimento das águas superficiais e



subsuperficiais do Oceano Pacífico Equatorial próximo à costa do Peru e do Equador, como aponta Trenberth (1997).

A interação entre as águas aquecidas do oceano com a baixa atmosfera gera alterações nos padrões gerais de circulação da atmosfera (Célula de Walker). Os reflexos do ENOS nos padrões de tempo da América do Sul são diversos, o fenômeno é responsável por provocar alterações importantes na distribuição das chuvas sobre o continente. Grimm et al. (2000) caracterizaram no sul da América do Sul oito regiões pluviométricas influenciadas por El Niño (EN) e seis regiões pelo La Niña (LN), diagnosticaram mudanças nos padrões de circulação atmosférica durante os vários estágios da anomalia e concluíram que o Sul do Brasil é a região que melhor tem correlação com a fase quente do fenômeno (EN), resultando em aumento da precipitação pluvial.

O sinal do fenômeno ENOS é mais intenso nas regiões subtropicais, Kousky et al. (1984) e Ropelewski e Halpert (1987) ao estudar o episódio de EN de 1982-83 verificaram o mesmo sinal da anomalia nas regiões nordeste (negativo) e sul do Brasil (positivo), sendo no sul do país o período do inverno caracterizado pelo aumento significativo da precipitação pluvial. Britto et al. (2008) estudaram a variabilidade temporal da chuva no estado do Rio Grande do Sul e observaram uma significativa associação com a ocorrência de El Niño e La Niña.

Para o estado do Paraná, Nery et al. (2005) apontaram que a variabilidade anual das chuvas no estado do Paraná está diretamente relacionada às fases do ENOS, com uma maior influência nos setores meridionais mais próximos ao clima subtropical. Ainda, Waltrick et al. (2011) observaram que ocorrem modificações significativas nos totais anuais de erosividade das chuvas em todas as regiões do estado do Paraná durante as diferentes fases do ENOS, com um aumento mais significativo do potencial erosivo durante a fase El Niño em relação à diminuição durante a La Niña.

Trindade et al. (2016) apontam que o conhecimento da distribuição espacial e temporal da erosividade auxiliam no planejamento da conservação do solo e da água, a partir da definição das regiões e das épocas do ano mais críticas quanto ao potencial erosivo da chuva. Desta forma, o presente trabalho objetiva avaliar as estimativas de erosividade das chuvas para a bacia hidrográfica do rio Piquiri, delimitando os setores e os períodos de maior erosividade das chuvas e investigando o controle do relevo e a influência das fases do ENOS de maior intensidade.



## Materiais e Métodos

Utilizaram-se os dados de quarenta postos pluviométricos administrados pelo Instituto das Águasdo Paraná e que compreenderam a série histórica de 1976 a 2015, conforme utilizado por Terassi, Correa e Galvani (2017). Estes dados de precipitação pluvial foram trabalhados a partir da utilização da planilha eletrônica Microsoft Office Excel 2007, na qual se averiguaram a ausência de registros, que foram inferiores a 5%.

Os dados faltantes foram preenchidos seguindo o método de ponderação regional apresentado por Villela e Mattos (1975), que tem como base o registro pluviométrico de três postos localizados o mais próximo do posto em que se verifica a falta de dados, de características pluviométricas e altitudes semelhantes. Leivas et al. (2006) esclarecem que os registros faltantes de pluviosidade neste método são estimados pela média ponderada do registro das três estações vizinhas e os pesos são as razões entre as precipitações normais anuais.

As estimativas de erosividade foram calculadas a partir dos dados de precipitação média mensal e média anual para a área de estudo, apresentada por Rufino, Biscaia e Merten (1993) na identificação de regiões isoerosivas para o estado do Paraná. Foi utilizada a equação do tipo  $Y = a + bx$ , onde:  $Y$  = índice de erosão ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ );  $a$  e  $b$  = coeficientes linear e angular, e  $x = p^2/P$  (pluviosidade mensal ao quadrado dividida pela pluviosidade anual). Os valores atribuídos nesse estudo encontram-se na região isoerosiva 1 ( $Y = 18,64 + 5,73 x$ ) e deram parâmetro para a equação 1.

$$EI_m = 18,64 + 5,73 \left( \frac{p^2}{P} \right)^{9,80665} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:  $EI_m$  – Índice mensal de erosividade da chuva em  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.mês^{-1}$ ;  $a$  – coeficiente linear;  $b$  – coeficiente angular;  $p$  – Precipitação média mensal em milímetros;  $P$  – Precipitação média anual em milímetros; 9,80665 – Conversão  $Kgf.m$  para  $MJ$ .

A técnica de análise cluster (agrupamento), previamente publicada em Terassi, Correa e Galvani (2017), foi aplicada com a finalidade de realizar uma análise setorizada da área de estudo, delimitando regiões similares quanto à distribuição da pluviosidade. Utilizou-se como



medida de proximidade a distância Euclidiana ao quadrado, comumente a mais utilizada para a análise de variáveis quantitativas (FREITAS et al., 2013). Usou-se o método Ward (1963) como o mais apropriado para a análise de agrupamento, pois este propõe que em qualquer fase de análise a perda de informação que resulta do agrupamento de elementos seja medida pela soma dos quadrados dos desvios de cada elemento à média dos elementos do grupo à qual pertence (NASCIMENTO et al., 2015; WREGE et al., 2016).

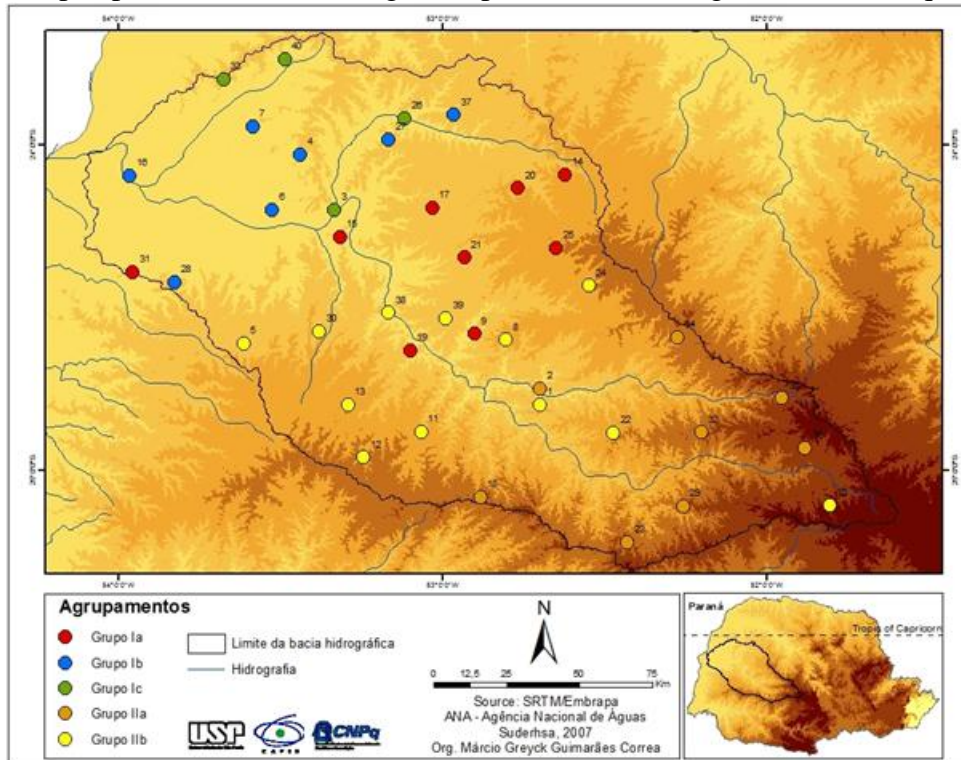
Foi utilizado o software *Statistica* versão 7.0 para o processo de análise *cluster* e a planilha Microsoft Office Excel 2007 para a elaboração dos gráficos de pluviosidade e erosividade. O ponto de corte da análise *cluster* foi realizado em conformidade a interpretação dos resultados sazonais de pluviosidade, a proximidade espacial entre os postos pluviométricos e a estação meteorológica em relação às regiões identificadas e, principalmente, as características do relevo, considerado um dos principais fatores para a distribuição espacial da pluviosidade para a escala regional da área de estudo, conforme afirmam Chierice e Landim (2014).

O mapa com a hipsometria e regiões homogêneas foi elaborado a partir de informações das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) do projeto TOPODATA (INPE, 2011), processadas pelo software *ArcGis* versão 10.3.

## Resultados e discussões

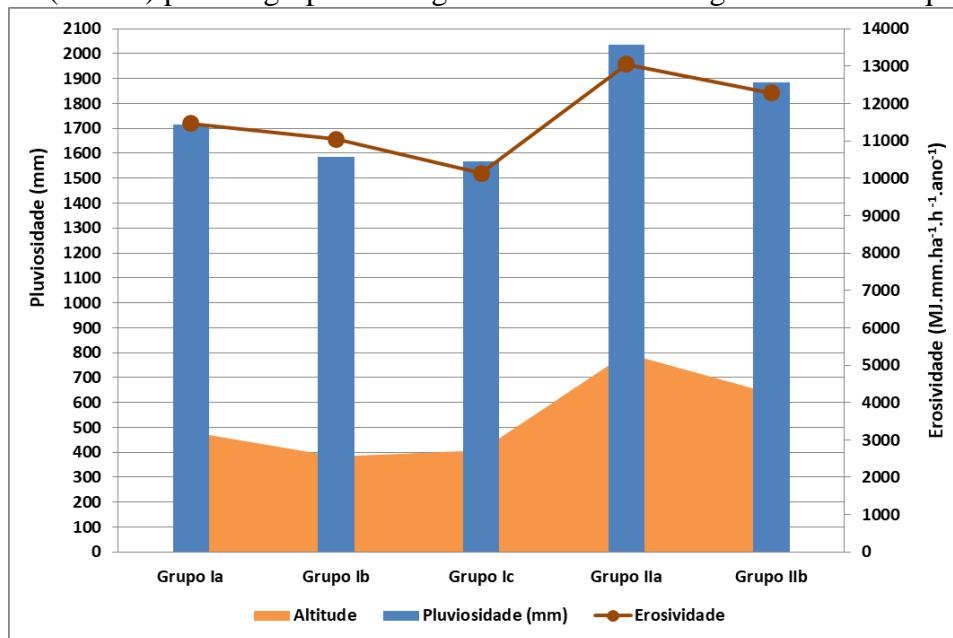
O agrupamento realizado por Terassi, Correa e Galvani (2017) para a pluviosidade indicou que os maiores totais pluviométricos anuais são registrados nos setores de maior hipsometria da bacia hidrográfica do Piquiri, como o grupo homogêneo IIa, no qual verificou-se uma média anual equivalente a 2.034 mm. Inversamente, os totais anuais da pluviometria são inferiores nos setores de menores altitudes, diminuindo gradativamente no sentido jusante do rio Piquiri, sobretudo no grupo homogêneo Ic, que obteve uma média de 1.569 mm e 21,4% inferior ao grupo homogêneo IIa (Figuras 2 e 3). Estes resultados ressaltam o desempenho da orografia no controle espacial da pluviosidade, conforme observado por Correa e Galvani (2016).

Figura 2 - Grupos pluviométricos homogêneos para a bacia hidrográfica do rio Piquiri - Paraná.



Fonte: Terassi, Correa e Galvani (2017).

Figura 3 - Pluviosidade média anual (mm), erosividade média anual ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) e altitude média (metros) para os grupos homogêneos da bacia hidrográfica do rio Piquiri - PR.



Organização: Terassi, Correa e Galvani (2018).





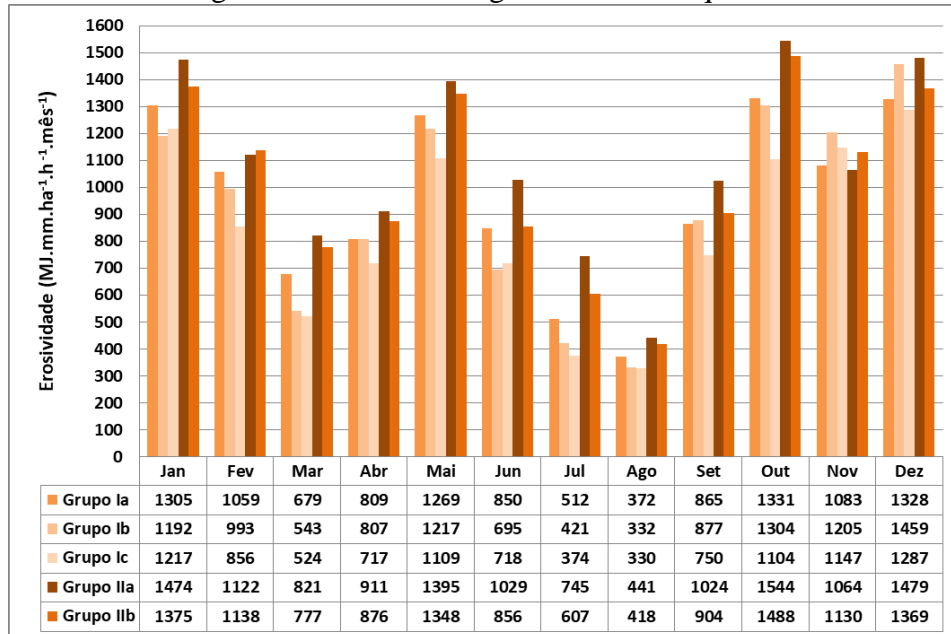
Concordante com a distribuição espacial da pluviosidade anual, observa-se que os grupos homogêneos IIa e IIb correspondem aos setores de maior potencial erosivo das chuvas na bacia hidrográfica, com média anual de 13.048 e 12.284 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. O grupo homogêneo Ic obteve a menor média da erosividade da chuva, equivalente a 10.132 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e a 22,4% inferior ao grupo de maior potencial erosivo (Figura 3).

Estes resultados são parcialmente concordantes com os obtidos por Waltrick et al. (2015), posto que a estações pluviométricas de Guaraniáçu e Palmital, localizadas em maiores altitudes e no grupo homogêneo IIa, obteve erosividade média anual de 12.384 e 12.164 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, nesta ordem. Por sua vez, estes mesmos autores verificaram que as localidades de Mariluz e Xambrê caracteriza-se por uma erosividade média anual de 9.663 e 9.364 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Estes resultados se diferem ao apresentado neste trabalho devido à diferença da série temporal utilizada, que foi de 1986 a 2008 e não abrangeu anos chuvosos como 1983, 2009 e 2015, obteve menores valores do que estão apresentados pela figura 3.

A bacia hidrográfica do rio Piquiri apresenta a concentração do potencial erosivo das chuvas no período de outubro a janeiro, com valores superiores a 1.000 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>, concordante com o observado para o máximo de precipitação para a região Oeste do Paraná (SILVA et al., 2015). Com exceção do grupo homogêneo Ic, os grupos mostraram o maior potencial erosivo para o mês de outubro, o que destaca que a maior erosividade neste mês é uma característica própria ao clima subtropical (SILVA, 2004). Destaca-se que julho e agosto são os meses com a menor erosividade em toda a área de estudo, sobretudo nos grupos homogêneos Ib e Ic, destacando-se a influência da transição para o clima tropical nestes setores (Figura 4).

Estes resultados são aproximados aos verificados por Waltrick et al. (2015), que ressaltam que embora os maiores valores de erosividade para o estado do Paraná ocorre predominantemente em janeiro, verificam-se repiques de erosividade em maio e outubro, principalmente nas regiões sudoeste e oeste, sendo que nesta última situa-se a área em estudo. Destaca-se ainda que os grupos homogêneos IIa e IIb correspondem majoritariamente aos setores que predominam os mais elevados valores de erosividade das chuvas (Figura 4).

Figura 4- Estimativas de erosividade média mensal ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ ) para os grupos homogêneos da bacia hidrográfica do rio Piquiri - PR.

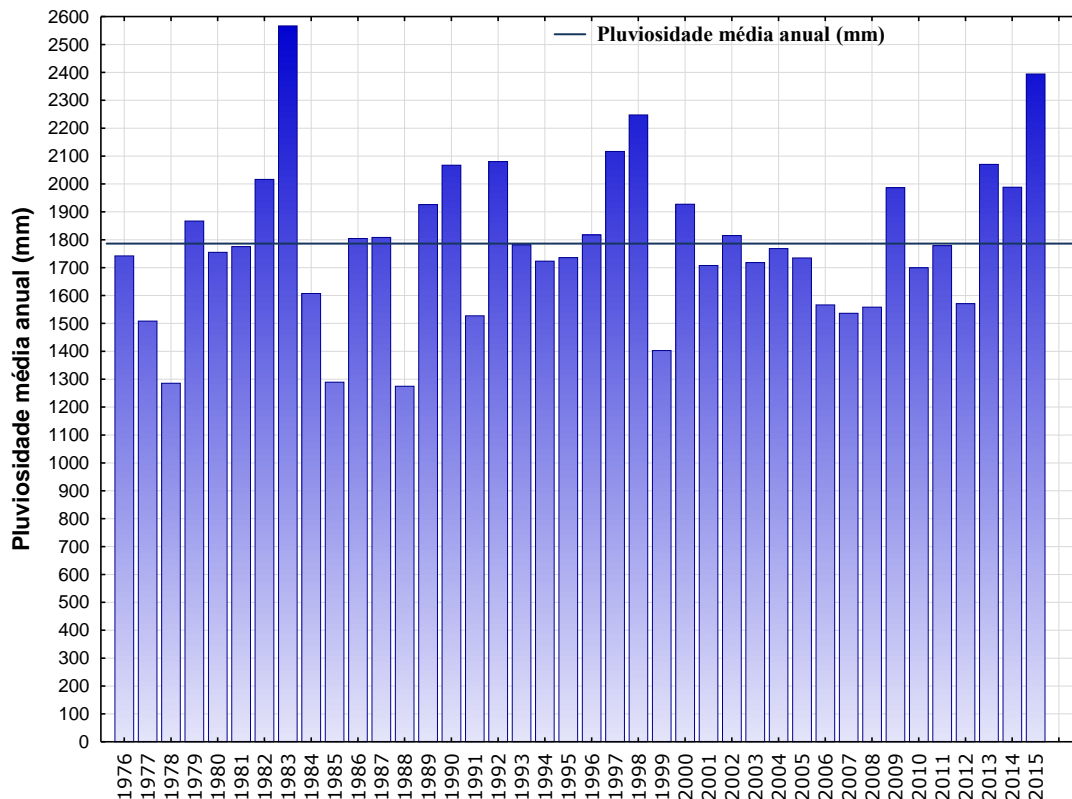


Organização: Terassi, Correa e Galvani (2018).

#### *O potencial erosivo das chuvas e a influência do El Niño - Oscilação Sul (ENOS)*

A bacia hidrográfica do rio Piquiri caracteriza-se por uma pluviosidade média anual de 1.788 mm e pela variabilidade anual das chuvas que, em conformidade com o preconizado para a região Sul do Brasil, está diretamente relacionada às fases extremas do ENOS (GRIMM et al., 1998; GRIMM et al., 2000; NERY et al., 1995; NERY; CARFAN, 2014). Os maiores totais de pluviosidade (>2.100 mm) para a área em estudo foram verificados em anos como 1983, 1997, 1998 e 2015, os quais estiveram sob a influência do El Niño. Por sua vez, os menores totais anuais de pluviometria (<1.400 mm) foram obtidos para os anos de 1978, 1985, 1988 e 1999 estiveram sob o domínio da atuação da fase La Niña intensa (Figura 5).

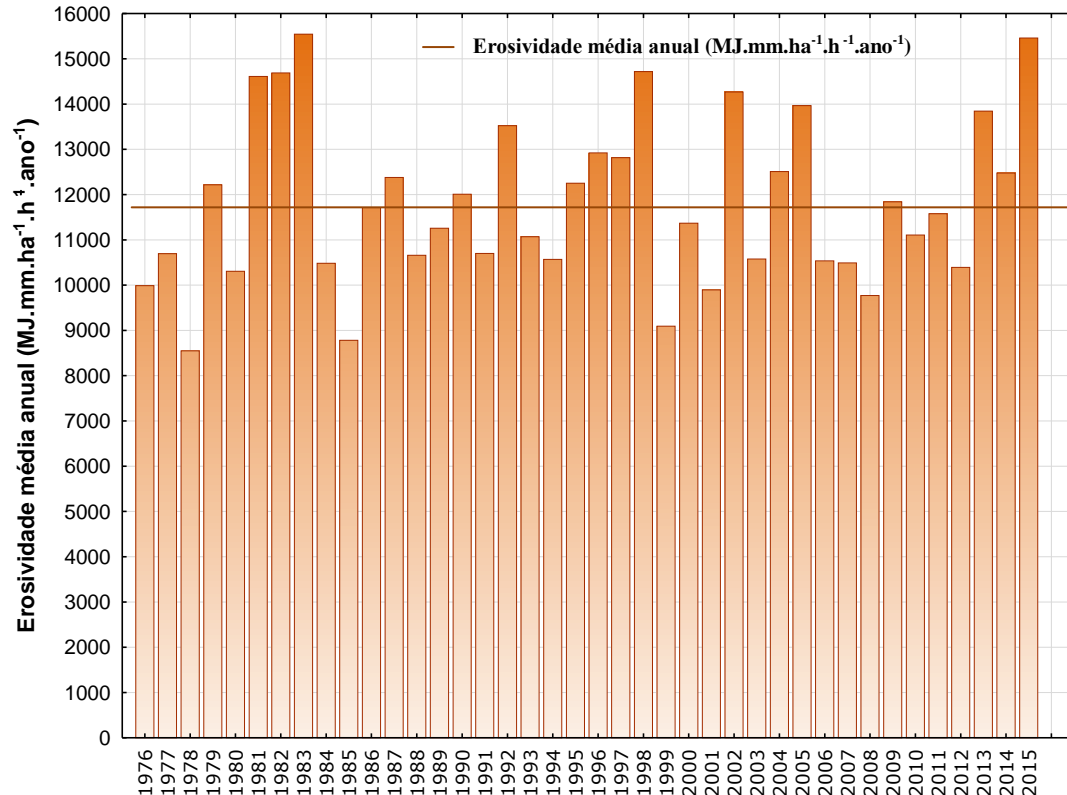
Figura 5 - Distribuição da pluviosidade média anual (mm) no período de 1976 a 2015 para a bacia hidrográfica do rio Piquiri - PR.



Organização: Terassi, Correa e Galvani (2018).

A área em estudo apresenta uma erosividade média anual de  $11.789 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e, bem como ocorre para a pluviosidade anual, este atributo está condicionado à atuação do modo de variabilidade ENOS, conforme verificado por Waltrick et al. (2011) para o estado do Paraná. Os anos de 1981, 1982, 1983, 1998 e 2015 obtiveram erosividade superior  $14.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para a média da bacia hidrográfica e, com exceção de 1981, houve a atuação intensa do El Niño. Inversamente, os anos de 1978, 1985, 1999 e 2008 mostraram potencial erosivo inferior a  $9.800 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , o que está associado a atuação intensa do La Niña (Figura 6).

Figura 6 - Distribuição da erosividade média anual ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) no período de 1976 a 2015 para a bacia hidrográfica do rio Piquiri - PR.



Organização: Terassi, Correa e Galvani (2018).

Portanto, considerando a importância dos eventos de El Niño e La Niña para a variação anual da erosividade, foram selecionados três anos representativos de cada uma das fases do ENOS, sendo 1983, 1998 e 2015 para o El Niño e 1985, 1999 e 2008 para a La Niña (NOAA, 2017), para avaliar a influência destes no potencial erosivo das chuvas nos grupos homogêneos obtidos para a bacia hidrográfica do rio Piquiri (Figura 7a).

De modo geral, a erosividade durante os anos de El Niño supracitados foram superiores a  $14.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em todos os grupos homogêneos, com destaque para os valores superiores a  $16.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  nos anos de 1983 e 1998 nos grupos homogêneos IIa e IIb e no ano de 2015 para os grupos homogêneos Ia, Ib e Ic. Em relação aos anos de La Niña, o grupo Ic obteve erosividade inferior a  $8.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  durante os anos de 1985 e 1999 e inferior a  $9.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , ao passo que o grupo homogêneo IIa obteve erosividade

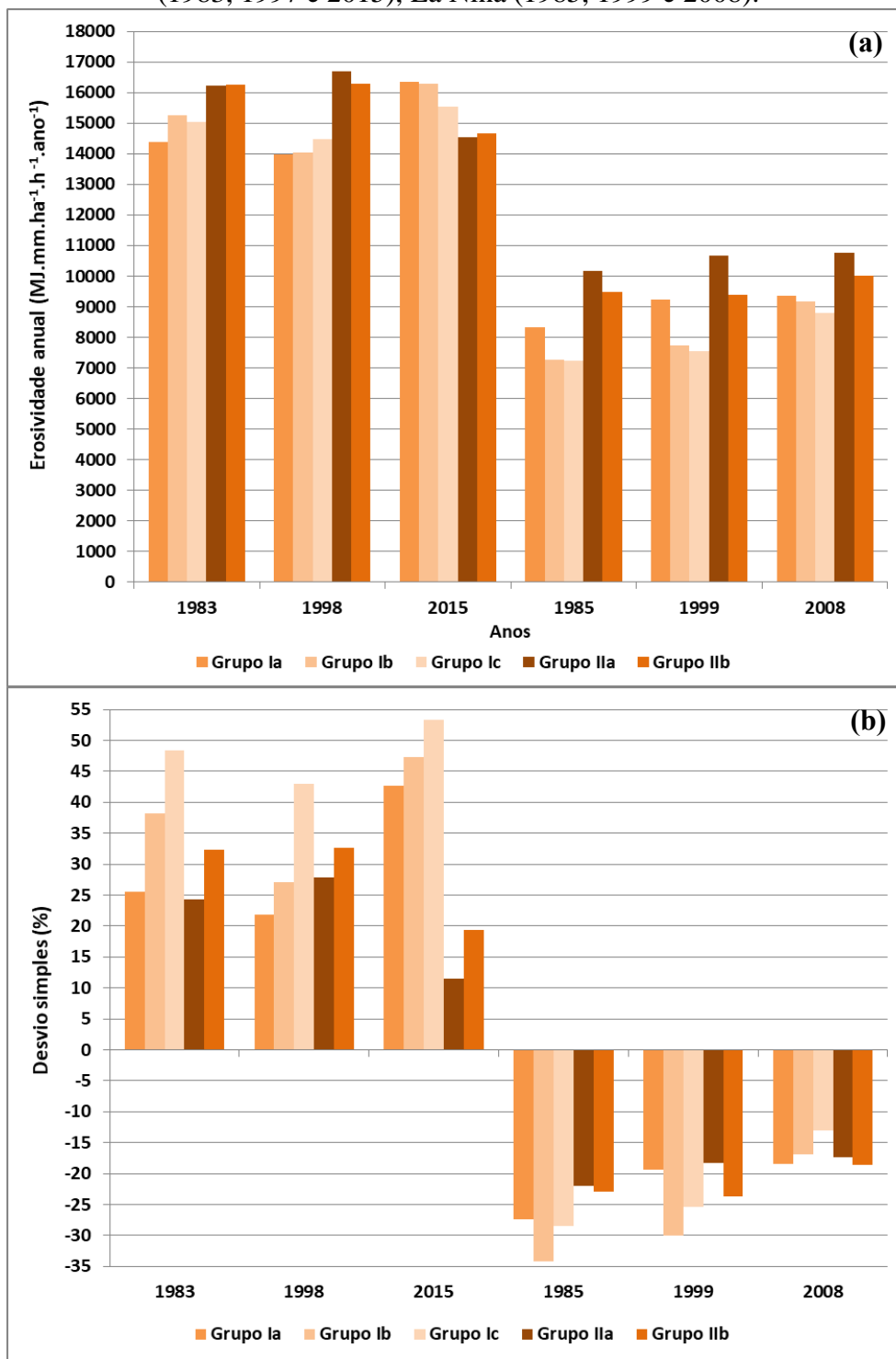
superior a  $10.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em todos os anos destacados como de La Niña (Figura 7a).

Os desvios simples mostraram o percentual de variação do potencial erosivo das chuvas em relação às médias dos diferentes grupos homogêneos da bacia hidrográfica do rio Piquiri. Em média, os anos de El Niño mostraram um aumento percentual de 30,1% do potencial erosivo na área de estudo, enquanto que a redução da erosividade durante os anos de La Niña obteve uma média 22,4% (Figura 7b). Waltrick et al. (2011) destacam que o Paraná apresenta um aumento de 40 a 100% do potencial erosivo durante a fase El Niño, enquanto que a ocorrência do La Niña responde pela redução de 10 a 50% da erosividade, o que corrobora parcialmente estes resultados. Para a Unidade Hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV, Terassi, Silveira e Oliveira - Júnior (2017) identificaram que foi superior a 15% no ano de 1983 e inferior a 15% nos anos de 1985 e 1999 em relação às médias obtidas para aquela área.

O grupo homogêneo Ic apresentou o maior aumento percentual da erosividade em relação à média em todos os anos de El Niño, destacando-se o ano de 2015 com um incremento de 53,3%. Inclusive, o ano de 2015 apresentou um aumento superior a 40% para os grupos homogêneos Ia, Ib e Ic, destacando-se como o evento ENOS de maior influência para os grupos supracitados, enquanto que os anos de 1983 e 1998 foram mais significativos para os grupos homogêneos IIb e IIa, nesta ordem (Figura 7b).

Por sua vez, durante os eventos de La Niña, o grupo homogêneo Ib apresentou redução da erosividade superior a 30% nos anos de 1985 e 1999, enquanto que no ano de 2008 a maior redução do potencial erosivo foi verificado no grupo IIb (-18,6%). Destaca-se ainda que o grupo homogêneo IIa foi o mostrou as menores reduções da erosividade em todos os anos, em média -19,2%, e o grupo Ib obteve a maior redução média (-27,1%) dos totais de erosividade em relação a série histórica durante os eventos de La Niña selecionados (Figura 7b).

Figura 7 - Estimativas de erosividade anual (a) e desvio simples (b) em relação à média para os grupos homogêneos da bacia hidrográfica do rio Piquiri (PR) em anos característicos de El Niño (1983, 1997 e 2015), La Niña (1985, 1999 e 2008).



Organização: Terassi, Correa e Galvani (2018).



### Considerações finais

- A aplicação da análise de agrupamento mostrou-se satisfatória para compreender a relação entre o controle exercido pelo relevo - altitude e formas - e a distribuição espacial da precipitação pluviométrica e, conseqüentemente, da erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do rio Piquiri. O grupo homogêneoIIa caracterizou-se pelos maiores totais anuais de erosividade das chuvas, superior a  $13.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , devido ao aumento da altitude, ao passo que o grupo homogêneo Ic obteve a menor erosividade média anual, equivalente a  $10.132 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , devido a redução das altitudes.
- O período de maior atenção em relação ao potencial erosivo das chuvas vai de outubro a janeiro, sendo que nestes meses os grupos homogêneos apresentaram erosividade superior a  $1.000 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ . Com exceção do grupo homogêneo Ic, o mês de outubro mostrou-se como o de maior potencial erosivo, característica peculiar ao Sul do Brasil e do clima subtropical. Os meses de julho e agosto mostraram as menores médias mensais de erosividade, sobretudo nos grupos homogêneos Ib e Ic, setores com maior proximidade ao clima tropical do Brasil Central.
- O modo de variabilidade El Niño-Oscilação Sul mostrou-se influente para a distribuição anual da pluviosidade e, do mesmo modo, à erosividade das chuvas. Com a seleção de anos representativos das fases dos ENOS de forte intensidade, observou-se que os grupos homogêneos Ia, Ib e Ic são aqueles em que apresentam o maior aumento da erosividade durante os eventos de El Niño, sobretudo para o ano de 2015. Os eventos de La Niña foram mais significativos para o grupo homogêneo Ib, que obteve uma redução de 27,1% do potencial médio erosivo das chuvas.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil – Edital CAPES 071/2013 – Processo número 88881.068465/2014-01. Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de estudos de Doutorado e à Bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1D (303676/2013-2).

## Referências

- ÁLVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- APARECIDO, L.E.O; ROLIM, G.S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P.S.; JOHANN, J. A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia (Online)**, Lavras, v.40, n.4, p. 405-417, 2016.
- BRITTO, P.F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno El Niño - Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.3, n.2, p.37-48, 2011.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR. CD ROM. 2000.
- CHIERICE, R.A.F.; LANDIM, P.M.B. Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. **Geociências**, São Paulo, v.33, n.1, p.157-171, 2014.
- CORREA, M.G.G.; GALVANI, E. **Évaluation de l'effet orographique dans le bassin versant du Piquiri - Paraná/Brésil**. In: XXIX Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Lausanne (Besançon), Associação Internacional de Climatologia, p.211-216, 2016.
- DUBREUIL, V.; FANTE, K.P.; PLACHON, O.; SANT'ANNA NETO, J.L. Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. **EchoGéo**, Paris, v.3, n.41, p.1-27, 2017.
- FREITAS, J.C.; ANDRADE, A.R.S.; BRAGA,C.C.; GODOI NETO, A.H.; ALMEIDA, T.F. Análise de agrupamento na identificação de regiões homogêneas de índices climáticos no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.6, n.4, p.732-748, 2013.





FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L.E.; WREGGE, M.S.; CHAVES NETO, A. Análise da pluviometria para definição de zonas homogêneas no Estado do Paraná. **RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v.23, n.1, p.555-572, 2011.

GRIMM, A.M.; BARROS, V.R.; DOYLE, M.E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.13, p.35-58, 2000.

INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais). **Projeto TOPODATA**. 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em 22 de julho de 2014.

ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geodésia). **Produtos Cartográficos**. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=47>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; LIMA, P.R.S.R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Revista Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, Brasília, v.40, n.4, p.311-322, 2005.

KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I.F.A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, Estocolmo, v.36, n.5, p.490-504, 1984.

LEIVAS, J.F.; BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.397-407, 2006.

NASCIMENTO, F.C.A.; ARAÚJO, F.R.C.D.; BRAGA, C.C.; COSTA, E.V.S. Análise dos padrões espaciais e temporais da precipitação no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.8, n.2, p.422-430, 2015.

NERY, J.T.; STIVARI, S.M.S.; MARTINS, M.L.O.F.; SILVA, E.S.; SOUSA, P. Estudo da precipitação do estado do Paraná e sua associação à temperatura da superfície do Oceano Pacífico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.13, n.1, p.161-171, 2005.

NERY, J.T. Dinâmica climática da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.1, n.1, p.61-75, 2006.

NERY, J.T.; CARFAN, A.C. Re-analysis of pluvial precipitation in southern Brazil. **Atmosfera**, Cidade do México, v.27, n.2, p.103-114, 2014.



GEOAMBIENTE ON-LINE  
Revista Eletrônica do Curso de Geografia - UFG/REJ  
Graduação e Pós-Graduação em Geografia  
<http://www.revistas.ufg.br/geoambiente>  
Edição Especial Procad USP/UFMS/UFJF-Jataí  
Jataí-GO | n 30 | Jan-Abril/2018



NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 421p.

NOAA/CPC - National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center. **El Niño /Southern Oscillation (ENSO)**. Disponível em:<[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)>. Acesso em 17 de dezembro de 2017.

OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: a review. **Catena**, Amsterdam, v.100, n.1, p.139-147, 2012.

PANAGOS, P.; BORELLI, P.; MEUSBURGER, K.; YU, B.; KLIK, A.; JAE LIM, K.; 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**, Londres, v.7, n.4175, p.1-12, 2017.

PELL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Update world map of the Köppen - Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Munich, v.11, n.1, p.1633-1644, 2007.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 115, n.8, p. 1606-1626, 1987.

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**, Campinas, v.17, n.1, p.439-444,1993.

SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, Amsterdam, v.57, n.3, p.251-259. 2004.

SILVA, W.L.; DEREZYNSKI, 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**, São Paulo, v.30, n.2, p.181-194, 2015.



GEOAMBIENTE ON-LINE  
Revista Eletrônica do Curso de Geografia - UFG/REJ  
Graduação e Pós-Graduação em Geografia  
<http://www.revistas.ufg.br/geoambiente>  
Edição Especial Procad USP/UFMS/UFG-Jataí  
Jataí-GO | n 30 | Jan-Abril/2018



TERASSI, P.M.B.; SILVEIRA, H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F. Variabilidade pluviométrica e a erosividade das chuvas na unidade hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV-Paraná. **RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v.39, n.1, p.76-91, 2017.

TERASSI, P.M.B.; CORREA, M.G.G.; GALVANI, E. Determinação de regiões pluviométricas homogêneas na bacia hidrográfica do rio Piquiri - Paraná. *In: Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento*. Campinas: Instituto de Geociências (UNICAMP), p.1610-1621, 2017.

TRENBERTH, K.E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorology Society**, Boston, v.78, n.12, p.2771-2777. 1997.

TRINDADE, A.L.F.; OLIVEIRA, P.T.S.; ANACHE, J.A.A.; WENDLAND, E. Variabilidade espacial das chuvas no Brasil. **Revista de Pesquisa Agropecuária**, Brasília, v.51, n.12, p.1918-1928, 2016.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WALTRICK, P.C.; MACHADO, M.A.M.; OLIVEIRA, D.; GRIMM, A.M.; DIECKOW, J. Erosividade de chuvas no estado do Paraná: atualização e influência dos Eventos “El Niño” e “La Niña”. **Boletim Técnico da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 1ª Edição. Curitiba, 2011. 36p.

WALTRICK, P.C.; MACHADO, M.A.M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativas da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: Atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.1, p.256-267, 2015.

WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v.58, n.301, p.236-244, 1963.

WREGE, M.S.; FRITZSONS, E.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W.S.; RADIN, B.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C. Regiões com similaridade de comportamento hídrico no Sul do Brasil. **RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v.38, p.363-382, 2016.