



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Erosividade das precipitações em ecossistemas tropicais: haverá diferença dentro de uma mesma zona climática?

Yeleine Almoza Hernández<sup>1</sup>, Cleverson Henrique de Freitas<sup>2</sup>, Mitsuhiko Reinaldo Hashioka Takushi<sup>3</sup>, Quirijn de Jong van Lier<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda em Ciências, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP, Piracicaba - SP. [yeleine@usp.br](mailto:yeleine@usp.br) <sup>2</sup>Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP, Piracicaba - SP. [chfreitas@usp.br](mailto:chfreitas@usp.br) (autor correspondente). <sup>3</sup>Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP, Piracicaba - SP. [mht@usp.br](mailto:mht@usp.br) <sup>4</sup>Professor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP, Piracicaba - SP. [qdvlier@usp.br](mailto:qdvlier@usp.br)

Artigo recebido em 13/09/2017 e aceito em 29/03/2018

### RESUMO

Diversos fatores atuam nas condições climáticas de uma região, sendo esses classificados de acordo com sua microescala, toposcala ou macroescala. Entretanto, o fato de Cuba e o Brasil possuírem características climáticas semelhantes, e que as bacias selecionadas para o estudo fiquem na mesma faixa latitudinal, não significa que possuirão igual comportamento erosivo das precipitações. Visando aprimorar o conhecimento sobre a erosividade das chuvas em climas tropicais, este trabalho objetivou caracterizar o potencial erosivo das precipitações nas bacias do Rio Mogi Guaçu (Hemisfério Sul, Brasil) e do Rio Cuyaguajeje (Hemisfério Norte, Cuba), facilitando a comparação entre climas aparentemente muito semelhantes. Para desenvolver a pesquisa foram utilizados dados de um período de 20 anos (1980-1999) para cada bacia, sendo dados pluviográficos para a bacia cubana e pluviométricos para a bacia brasileira. Em adição, modelos de erosividade como o fator R de RUSLE e o Índice Modificado de Fournier foram utilizados para determinar a mesma. Os resultados mostram que a bacia do Rio Cuyaguajeje apresenta consideravelmente maior erosividade anual variando entre 8294.6 a 18467.0 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto a bacia do Rio Mogi Guaçu possui erosividade anual variando de 3542.1 a 4461.5 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, demonstrando que apesar de ambas bacias possuírem acumulados de precipitações anuais semelhantes, a bacia cubana pode ser considerada mais energizada quando se trata de precipitações.

Palavras-chave: Comparações do Clima, Chuva, EI<sub>30</sub>, Índice de Fournier Modificado.

### Rainfall erosivity in tropical ecosystems: is there difference within a same climate zone?

### ABSTRACT

Several factors are involved in the formation of climatic conditions within a given region which may be classified according to the microscale, mesoscale, and macroscale effects. Although Cuba and Brazil belong to the same climatic range, and the study basins selected are in the same latitude, it does not mean they have the same pattern in rainfall erosivity. Aiming to enrich the knowledge of rainfall erosivity in tropical climates, the objective of this study is to characterize and compare the erosivity potential of rainfall in the Cuyaguajeje (Northern Hemisphere, Cuba) and Mogi Guaçu (Southern Hemisphere, Brazil) basins; areas which have very similar climates. The research considered a 20-year period (1980-1999), using the pluviographic and pluviometric data for the Cuban and Brazilian basins, respectively. Erosivity potential was calculated according to the R-factor (from RUSLE) and Modified Fournier Index models. The results showed that Cuyaguajeje river basin presents considerably higher rainfall erosivity with R-factor annual values ranging approximately from 8284.6 to 18467.0 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, whereas Mogi Guaçu watershed presents lower values for R-factor that ranges from 3542.1 to 4461.5 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, showing that despite similar annual rainfall accumulation on both, the Cuban watershed can be considered more energized about precipitation.

Keywords: Climate Comparison, Rainfall, EI<sub>30</sub>, Fournier Modified Index.

## Introdução

O clima tropical é quente e abrange a região entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio, sendo uma espécie de faixa de transição entre o clima equatorial, excessivamente úmido devido à alta pluviosidade, e o clima mais temperado (Kajtar et al., 2016). Os países Brasil e Cuba e especificamente as áreas de estudo selecionadas (bacias hidrográficas) localizam-se nesta faixa climática. O clima tropical além de ter excessivas chuvas durante o período chuvoso, estas se caracterizam pela alta intensidade, elemento muito importante no estudo da erosão.

A erosão dos solos é de crescente interesse em várias regiões, e em particular dos países tropicais cuja economia depende fortemente da agricultura. Estimativas de perdas de solos podem servir como guia na seleção de sistemas de cultivo e práticas de conservação do solo em geral. Existem vários modelos disponíveis para predição de perdas de solo por erosão, como a equação universal de perdas de solo (EUPS) (Wischmeier e Smith, 1978); *Chemical Runoff, and Erosion from Agricultural Management System* (CREAMS) (Knisel, 1980) e *Water Erosion Prediction Project* (WEPP) (Flanagan, 2007), porém, no Brasil, a equação universal de perdas de solo ainda tem sido de uso mais generalizado (Vieira e Lombardi Neto, 1995).

A erosão do solo é um processo de duas fases que consiste na desagregação de partículas individuais do solo e seu transporte por agentes erosivos como a água e o vento. Uma terceira fase se inicia quando não há energia suficiente para o transporte das partículas e ocorre a deposição (Morgan, 2005). No momento em que o solo é atingido por gotas de chuva, começa a ocorrer a erosão do tipo salpicamento, o qual se refere ao estado inicial do processo erosivo e, a partir dessa etapa, as partículas desestruturadas do solo estão susceptíveis ao deslocamento por escoamento superficial. Por outro lado, as perdas de solos ocasionadas por eventos de chuvas não dependem somente da resistência que o solo oferece ao impacto das gotas, mas também da energia cinética da chuva, da intensidade e duração (Fidalgo et al., 2012).

A energia disponível para causar erosão se apresenta sob duas formas: potencial e cinética. A energia potencial resulta da diferença de altura de um corpo em relação a outro. Ela é o produto obtido entre

massa, diferença de altura e aceleração da gravidade. A energia potencial é convertida em energia cinética, responsável pelo movimento, sendo esta última proporcional à massa e à velocidade do agente erosivo. A energia atua, portanto, na desagregação de partículas e em seu transporte. A intensidade é a quantidade de chuva que atinge a superfície por unidade de tempo. Quanto maior a intensidade, maior a possibilidade de perda de solo por erosão. A relação entre intensidade e energia tem sido desenvolvida por diferentes autores tais como Angulo-Martínez e Barros (2015), Lim et al., (2015), Meshesha et al., (2016), entre outros nos últimos anos.

O estudo da erosividade das chuvas em grande escala é realizado no mínimo em escala de bacia hidrográfica, sendo a mesma suficientemente grande para que seja possível demonstrar a variabilidade espacial de tal fenômeno. Dentre os índices de erosividade mais utilizados na literatura encontram-se o índice  $EI_{30}$  proposto por Wischmeier e Smith (1958) e usado por autores como Morgan (2005) e Schiettecatte et al. (2008).

O índice  $EI_{30}$  multiplica a intensidade da chuva aos 30 minutos pela energia cinética, método depois desenvolvido para a determinação do fator R do modelo USLE que posteriormente foi denominado modelo RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) em sua versão revisada (Renard et al., 1997). O cálculo das perdas de solo através da equação universal de perdas de solo envolve o conhecimento de outros fatores como: K (erodibilidade do solo), L (comprimento de rampa), S (declividade), C (cobertura do solo) e P (práticas de manejo). Em relação ao fator R, este índice relaciona, como dito anteriormente, a energia cinética da gota da chuva com a intensidade e expressa a capacidade de uma chuva erodir um solo desprotegido. Porém, existem diferentes modelos que quantificam esta energia, alguns dependem principalmente da região de estudo, como por exemplo Brown & Foster, (1987) para Holly Springs, Mississippi Missouri, ou Kinnell, (1981) para Miami, Florida, e existem também outros modelos mais genéricos que são muito frequentes na literatura como o de van Dijk et al., (2002). Além do fator R, tem-se o índice de Fournier Modificado (MFI) proposto por Arnoldus (1977) e citado por Apaydin et al., (2006) e a principal diferença deste índice com os demais para o cálculo da erosividade está na necessidade de utilização de apenas dados pluviométricos.

Normalmente na determinação dos índices de erosividade é necessário o emprego de dados pluviográficos de uma série histórica. Porém, quando esses dados são escassos, esses índices em alguns casos podem ser estimados a partir de séries históricas de dados pluviométricos, tendo como exemplo o MFI já citado, os quais são comumente mais disponíveis (Gonçalves et al., 2006).

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi caracterizar espacialmente o potencial erosivo das precipitações nas bacias do Rio Mogi-Guaçu (Brasil) e do Rio Cuyaguajeje (Cuba). Ambas bacias são localizadas na mesma faixa climática, uma se encontra no Hemisfério Sul e a outra no Hemisfério Norte, respectivamente. Os objetivos específicos do trabalho foram: (i) avaliação da correspondência entre o Índice Modificado de Fournier e o índice  $EI_{30}$  para o cálculo da erosividade em ambas bacias, (ii) caracterização e comparação do comportamento espacial de ambos índices nas duas bacias.

## Material e métodos

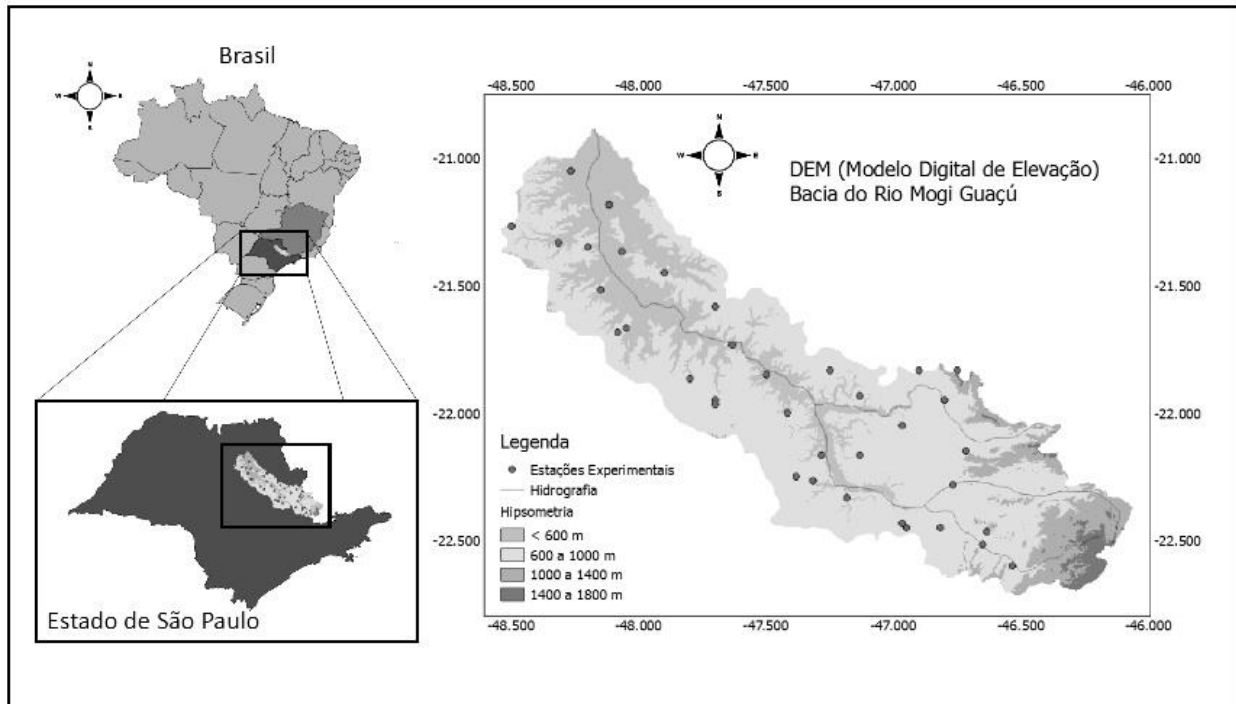
### Áreas de estudo

As bacias foram selecionadas por estarem situadas entre os mesmos paralelos, terem igualdade geomorfológica e características climáticas semelhantes, apesar de possuírem diferença em área significativa, dadas as mesmas dimensões territoriais de cada país. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, a bacia do Rio Cuyaguajeje possui clima Aw, sendo um clima tropical com estação seca no inverno, enquanto que a bacia do Rio Mogi Guaçu é classificada como Cwa, com clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente.

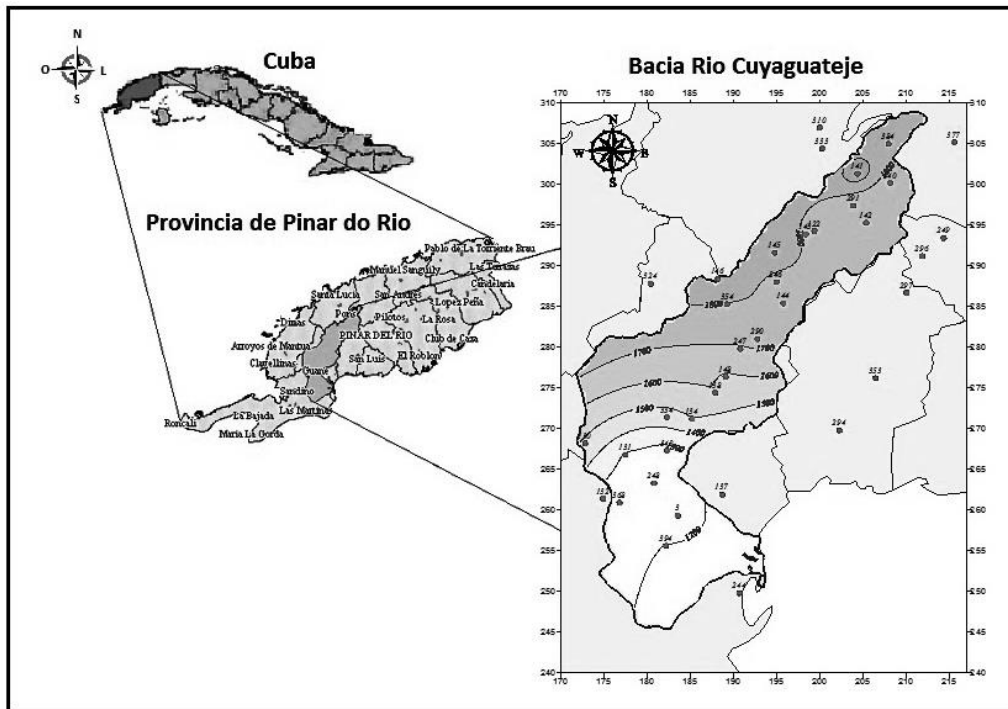
No Brasil, a bacia hidrográfica selecionada foi a do Rio Mogi Guaçu (BH-MOGI), localizada

entre os paralelos 20,5°S e 23,0°S e meridianos 46,0°W e 48,5°W (Weill et al., 2001), com área de aproximadamente 15.004 km<sup>2</sup>, sendo concentrada em sua maior parte no Nordeste do estado de São Paulo e uma pequena porção do sul de Minas Gerais. Esta bacia corresponde a uma das 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo e predominam-se as atividades do setor primário, como a agricultura e a pecuária, com destaque para as culturas de laranja, milho, cana-de-açúcar e pastagem (braquiária). Já no setor secundário, predomina a agroindústria, como as usinas de açúcar e álcool, óleos vegetais e bebidas, além de frigoríficos e indústria de papel e celulose. Além dessas, o turismo destaca-se com a presença das estâncias hidrominerais de Águas de Prata, Águas de Lindóia, Lindóia, Serra Negra e Socorro, no qual a alta qualidade de seu aquífero subterrâneo fornece um enorme atrativo, favorecendo o crescimento de atividades associadas à hotelaria e ao lazer (CBH-MOGI, 2014). A limitação geográfica da área da bacia foi obtida pelo HidroWeb (Sistemas de Informações Hidrológicas) da ANA (Agência Nacional das Águas, 2010). (Figura 1)

Em Cuba, este trabalho foi desenvolvido nas áreas da bacia do Rio Cuyaguajeje, localizada na Província de Pinar do Rio (Figura 2) cujas coordenadas geográficas encontram-se entre os paralelos 20,3°N e 23,3°N e os meridianos 83,1° W e 84,2°W. A bacia fica na parte ocidental de Cuba e está entre as 8 mais importantes bacias do país, devido ao seu uso da terra direcionado ao plantio do tabaco, cultura de relevância econômica nacional. Tem uma extensão de 723 km<sup>2</sup>, com uma longitude do Rio principal de 112,4 km que desemboca no Mar Caribe (CITMA, 2010).



1  
2  
3  
Figura 1. Localização Geográfica da Bacia do Rio Mogi Guaçu, São Paulo, Brasil.



4  
5  
Figura 2. Localização Geográfica da Bacia do Rio Cuyaguatzeje, Pinar do Rio, Cuba.

#### Dados Utilizados

Para a bacia do Rio Mogi Guaçu foram utilizados dados pluviométricos diários de 36

estações meteorológicas (Figura 1) bem distribuídas espacialmente do portal HydroWeb (Sistemas de Informações Hidrológicas), da Agência Nacional de Águas (ANA) no período de 1980 a 1999, totalizando

20 anos. Já para a bacia do Rio Cuyaguaje utilizaram-se dados pluviográficos do mesmo período, de 26 estações experimentais (Figura 2) também distribuídas ao longo da bacia. O período 1980-1999 foi escolhido devido a disponibilidade e regularidade dos dados além de compreenderem os mesmos anos para as duas bacias.

### Índices de Erosividade

#### Fator R do modelo RUSLE

Para as duas bacias foi calculada a média anual do fator R para cada estação, sendo posteriormente interpoladas a fim de se obter o mapa de erosividade das chuvas.

Para a bacia Cuyaguaje o método é baseado na utilização na proposta de Renard et al., (1991) no Modelo RUSLE, dado pela Equação 1:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m (EI_m)_j \right) \quad (1)$$

em que  $R$  é erosividade média em uma época de  $n$  anos ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ),  $m$  é o número de eventos em cada ano,  $n$  é o número de anos,  $i$  é o  $i$ -ésimo ano,  $j$  o  $i$ -ésimo evento e  $EI$  é a erosividade de um evento em,  $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .  $R$  é calculado somando o produto da energia cinética vezes a intensidade máxima de cada tormenta durante 30 minutos, em " $n$ " anos.

Para o cálculo de cada um dos fatores da Equação 1 utilizaram-se as equações propostas por Renard et al., (1991) (Equação 2 e 4) e Brown e Foster (1987) (Equação 3)

$$EI = (E) \cdot (I_{30}) = \left( \sum_{k=1}^q e_k \cdot \Delta V_k \right) \cdot I_{30} \quad (2)$$

$$e_k = 0,29[1 - 0,72 \cdot \exp(-0,05 \cdot i_k)] \quad (3)$$

$$i_k = \frac{\Delta V_k}{\Delta t_k} \quad (4)$$

em que  $E$  é energia cinética total do evento em  $MJ \text{ ha}^{-1}$ ;  $I_{30}$  é a intensidade máxima do evento durante 30 minutos em  $\text{mm h}^{-1}$ ;  $q$  é o número de pluviofases do evento;  $e_k$  é a energia cinética por unidade de chuva da pluviofase, com  $k$  em  $MJ \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ;  $\Delta V_k$  é a quantidade de chuva em pluviofase, com  $k$  em  $\text{mm}$ ;  $i_k$  é a intensidade de chuva em cada pluviofase, com  $k$  em  $\text{mm h}^{-1}$  e  $\Delta t_k$  é a duração do pluviofase e  $k$  em  $\text{h}$ . Entende-se por pluviofases os intervalos da chuva dentro do evento meteorológico.

Como a bacia do Rio Mogi Guaçu não possuía dados pluviográficos, utilizou-se dados pluviométricos diários. Além disso, o índice de

erosão média mensal ( $EI_m$ ) foi calculado segundo Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), também usados depois em outros trabalhos como Vieira e Lombardi Neto (1995) estendido para todo o estado de São Paulo de acordo com a Equação 5:

$$EI_m = 68,730 \cdot \left( \frac{p^2}{P} \right)^{0,841} \quad (5)$$

em que  $p$  é a precipitação média mensal ( $\text{mm}$ ), e  $P$  é a precipitação média anual ( $\text{mm}$ ).

O fator R ( $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) da equação universal de perdas de solo revisada RUSLE, ou seja, a erosividade da chuva média anual para uma estação, é dado por:

$$R = \sum_{i=1}^{12} (EI_m)_i \quad (6)$$

#### Índice de Fournier Modificado

A determinação do Índice de Fournier Modificado para ambas bacias se deu pela equação proposta por Arnoldus (1977):

$$MFI = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P} \quad (7)$$

em que  $MFI$  é a agressividade da chuva em relação ao solo em  $\text{mm}$ ,  $p$  é a precipitação média dos meses em  $\text{mm}$ ,  $P$  é a precipitação média do ano em  $\text{mm}$  e  $i$  é o  $i$ -ésimo mês.

A fim de se representar o  $MFI$  por mês e analisar o seu comportamento foi necessário utilizar a equação matemática seguinte:

$$FMFI = \frac{\left( \frac{p^2}{P} \right)}{MFI} \quad (8)$$

em que  $FMFI$  é a fração do Índice Modificado de Fournier para cada mês e  $\overline{MFI}$  o Índice de Fournier Modificado médio.

Todos os cálculos dos índices foram realizados utilizando a linguagem R, sendo esta também um ambiente de desenvolvimento integrado para cálculos estatísticos e gráficos. A linguagem R disponibiliza uma ampla variedade de técnicas estatísticas e gráficas, incluindo modelação linear e não linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação, agrupamento e outras.

Também foi empregado Microsoft Excel para a organização e seleção de dados.

## Geoprocessamento

### Modelo Numérico do Terreno (MNT)

O MNT é uma representação estatística e computacional da distribuição de um fenômeno ou fator de natureza espacial (dados meteorológicos, relevo, geologia, propriedades do solo) que ocorre em determinada região da superfície terrestre. Porém, para a confecção do Mapa de Erosividade para as bacias foi criado um MNT em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Adotou-se o programa QGIS 2.8 que é um sistema de informação geográfica de código aberto licenciado, multiplataforma que provê de visualização, edição e análise de dados georreferenciados. O sistema de coordenadas geográficas utilizado foi em latitudes e longitudes, com unidade de referência em grau (Sistema de Referência de Coordenadas, SAD69 / UTM zone 23S) para Brasil e para Cuba, (WGS 84/ UTM zone 11N) que é o normalmente utilizado, e posteriormente se levaram a coordenadas planas retangulares na representação dos mapas.

A amostragem dos dados foi gerenciada pela localização geográfica das estações meteorológicas que propiciou uma estrutura irregular da grid dos dados e, além disso, em ambas bacias a distribuição foi irregular, mas bem equilibrada espacialmente por toda a área de estudo.

### O método de Interpolação

Segundo Vieira e Lombardi Neto, (1995) uma das maneiras mais comuns e ilustrativas de apresentar mapas de variáveis espaciais é através de isolinhas. Existem, basicamente, três maneiras de preparar os dados para a construção de mapas de isolinhas o de precipitações: (1) medir a variável em estudo no menor espaçamento possível; (2) medir em um espaçamento qualquer e interpolar usando pacotes de programas computacionais de Sistemas de Informação Geográficas; (3) medir em um espaçamento que permita obtenção de dependência espacial e interpolar usando o método da krigagem (Vieira, 1981). A primeira é praticamente inviável, haja visto o custo de amostragem e análise. A segunda pode gerar isolinhas completamente diferentes da realidade, uma vez que os métodos utilizados por pacotes comerciais não consideram a variabilidade espacial durante a interpolação (Vieira, 1981). A terceira é a ideal porque pode economizar

amostragem e interpolar sem tendenciosidade e com mínima variância do erro de interpolação (Burgess e Webster, 1980).

O método do krigagem é normalmente muito utilizado para qualquer tipo de interpolação, por sua simplicidade. Para a obtenção dos mapas de erosividade, o método de interpolação utilizado foi dos polígonos de Thiessen um dos métodos mais citados na literatura, falando-se de mapas de precipitações nos últimos anos.

Segundo Shope e Maharjan (2015), através da comparação de 5 diferentes métodos de interpolação para as precipitações, chegaram à conclusão de que os polígonos de Thiessen apresentaram os melhores resultados. Este método subdivide a área da bacia em áreas delimitadas por retas unindo os pontos das estações, dando origem a vários triângulos. Traçam-se retas perpendiculares aos lados de cada triângulo, obtendo-se vários polígonos que se encontram em apenas um ponto de observação. Admite-se que cada ponto de observação seja representativo daquela área onde a altura precipitada é tida como constante. Cada estação recebe um peso pela área que representa em relação à área total da bacia. Se os polígonos abrangerem áreas externas à bacia, essas porções são eliminadas do cálculo.

Se a área total é A e as áreas parciais  $A_1, A_2, A_3, \dots$ , com respectivas precipitações  $P_1, P_2, P_3, \dots$ , a precipitação média ( $P_m$ ) pode ser obtida pela Equação 9:

$$P_m = \frac{(A_1 \cdot P_1 + A_2 \cdot P_2 + A_3 \cdot P_3 + \dots + A_n \cdot P_n)}{A} \quad (9)$$

## Resultados e discussão

Como mencionado anteriormente, Brasil e Cuba possuem diferenças quanto as estações do ano devido a sua localização geográfica, mas o padrão climático das bacias selecionadas é próximo, com meses úmidos durante o verão e meses mais secos durante o inverno (Figura 3A e Figura 3B).

Em relação aos acumulados médios de precipitação anual, a bacia do Rio Cuyaguajeje apresenta variações entre 1195mm a 1992mm por ano, sendo estas maiores no norte da bacia diminuindo em direção ao sul (Figura 4A). Um dos fatores condicionantes para esta variação se deve a geomorfologia do terreno, uma vez que ao norte da bacia se localiza a cordilheira de Guaniguanico e a serra dos Órganos onde o rio nasce e ao sul, o relevo é totalmente plano.

A bacia Mogi Guaçu por sua vez apresenta acumulados anuais de precipitação que variam entre 1365 mm a 1857 mm com os maiores valores igualmente na parte mais alta da bacia, mas localizados ao sul da mesma (Figura 4B). Como se pode ver, os acumulados de precipitações são semelhantes, mas dada a diferença em área, (a bacia cubana é 6.36% da área da bacia Mogi Guaçu) os acumulados da bacia Cuyaguateje variam muito mais em uma área muito menor, enquanto que o

comportamento espacial dos acumulados de chuva para Mogi Guaçu diminui gradualmente de sul para norte. Realizando uma análise de correlação entre a altitude e os acumulados de precipitação nos pontos das estações meteorológicas, para ambas bacias, o coeficiente de correlação foi maior que 0.60, demonstrando uma relação moderada positiva entre as variáveis.

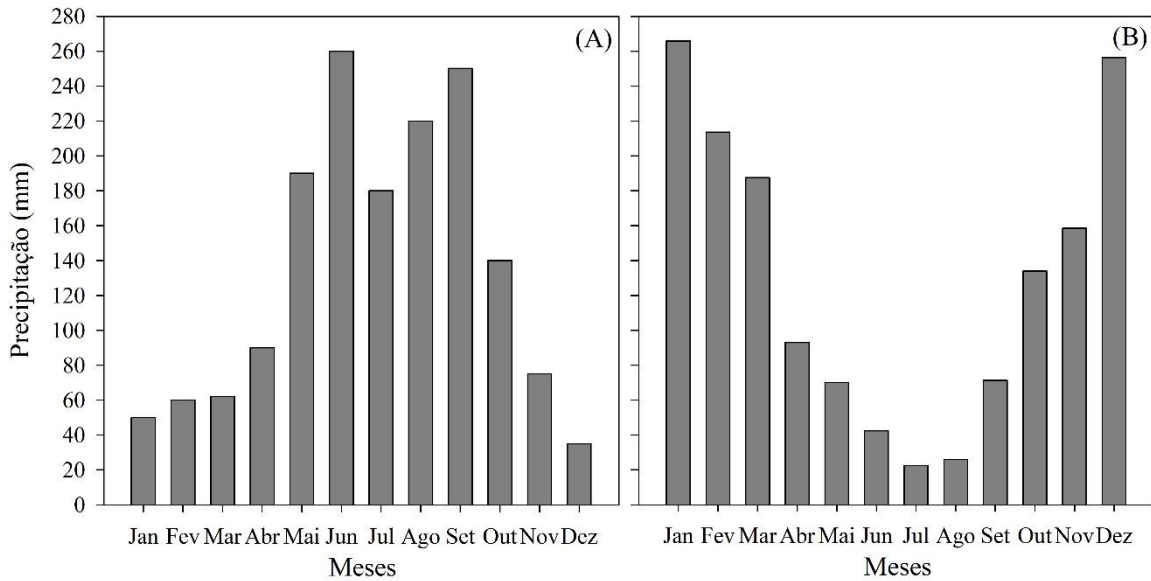


Figura 3. Distribuição mensal da precipitação para a bacia do Rio Cuyaguateje, Cuba (A) e bacia do Rio Mogi Guaçu, Brasil (B).

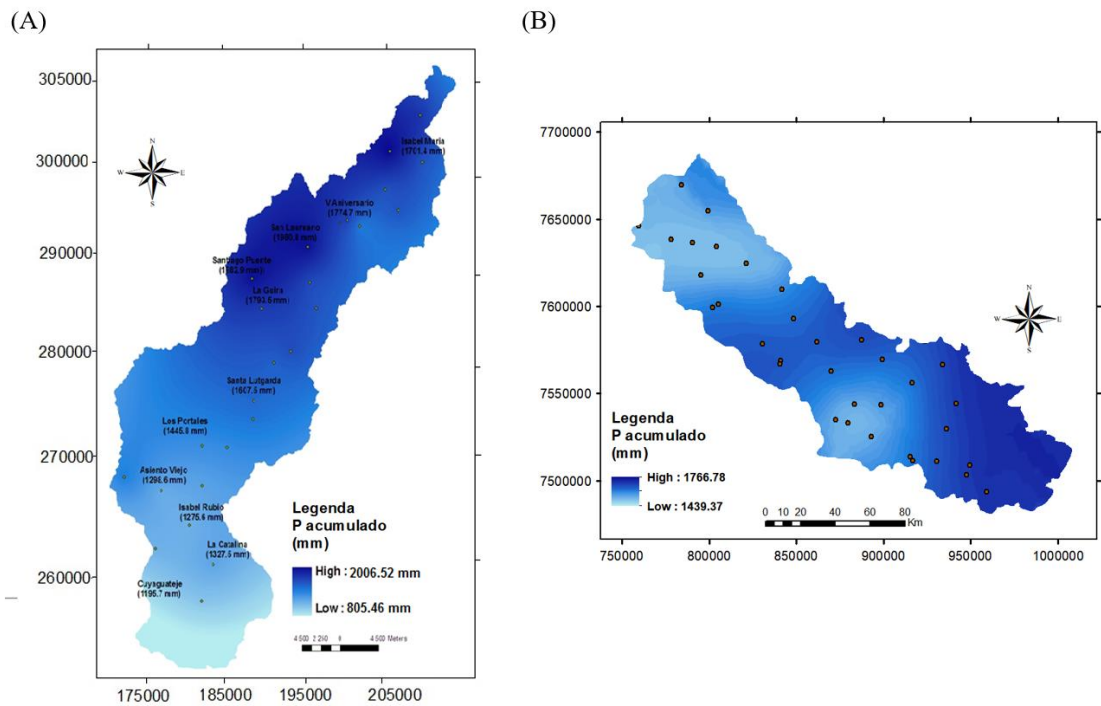


Figura 4. Mapa de acumulados médios de precipitações (mm) para a bacia do Rio Cuyaguatzeje, Cuba (A) e bacia do Rio Mogi Guaçu, Brasil (B).

Fator R para ambas bacias

Os resultados demonstram que a bacia do Rio Cuyaguaje, em Cuba, apresenta maior erosividade das precipitações (Tabela 1). A média anual do índice R para a bacia Cuyaguaje variou entre 8294.6 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na estação Cuyaguaje E.C a 18467 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a estação San Laureano que se encontra ao norte da bacia. (Figura 5A). As estações com maiores acumulados de chuvas, em geral, resultaram em maiores valores de erosividade. Apesar da estação San Laureano não possuir o maior acumulado de chuva (1980.8 mm), foi a estação de maior erosividade, sobressaindo em

relação a estação Quemado de Pineda, com acumulado de chuva de 1992 mm.

O mesmo padrão foi encontrado para a bacia do Rio Mogi Guaçu, com maior erosividade para a estação Santa Cruz das Palmeiras, cerca de 4462 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e maior acumulado de chuva para a estação São Roque da Fartura (1857mm). Resultados similares foram encontrados por De Mello et al., (2007) para o sul do estado de Minas Gerais, perto da região de estudo. Este fato demonstra que nem sempre maiores acumulados de precipitação significam em maior erosividade.

Tabela 1. Mínimos e máximos de precipitação e índices de erosividade para as bacias do Rio Mogi Guaçu (Brasil) e Cuyaguaje (Cuba).

Bacias Hidrográficas	Estação	Precipitação (mm)	Parâmetros				
			Estação	Fator R (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Estação	MFI (mm)	
Rio Mogi Guaçu	Mín.	Fazenda Campão da Cruz	1 365	Vargem Grande do Sul	3 542	Vargem Grande do Sul	99
	Máx.	São Roque da Fartura	1 857	Santa Cruz das Palmeiras	4 462	Santa Cruz das Palmeiras	104
Rio Cuyaguaje	Mín.	Cuyaguaje E.C.	1 195	Cuyaguaje E.C.	8 295	Cuyaguaje E.C.	99
	Máx.	Quemado de Pineda	1 992	San Laureano	18 467	Quemado de Pineda	230

Os valores do Fator R anual para a bacia Mogi Guaçu variaram entre 3542.0 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a estação de Vargem Grande do Sul a 4462 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a estação Santa Cruz das Palmeiras (Figura 5B). É importante destacar que estas duas estações se encontram próximas uma da outra, significando que existe uma variação espacial da erosividade mesmo que em pequena escala, ou seja, a topografia influencia muito na pluviosidade e consequentemente na erosividade como já se vem falando.

Como se pode observar, os valores do Fator R anual são mais baixos que os obtidos para a bacia Cuyaguaje, apesar de terem acumulados de chuvas anuais semelhantes. Isto pode ser ocasionado pela extensão territorial de Cuba, e sendo uma ilha no meio do Mar Caribe que sofre com eventos extremos mais intensos como os furacões tropicais. As altas temperaturas do mar Caribe produzem tormentas tropicais severas na region. Outro fator importante é que a maior parte das chuvas de verão são

convectivas (chuvas intensas e de curta duração) podendo favorecer a uma maior energia cinética das mesmas.

Dados obtidos por Suarez e Rodriguez (1956) mostram que para uma mesma chuva com o total de 21 mm, uma intensidade de 7.9 mm h<sup>-1</sup> produziu uma perda de solo cem vezes maior que uma intensidade de 1 mm h<sup>-1</sup>. Por outro lado, o fator duração é tido como complemento da intensidade que, combinados, determinam a chuva total. Estudos sobre erosão realizados na Inglaterra por Morgan (1986) mostraram que chuvas de alta intensidade e curta duração produzem erosão similar às chuvas de baixa intensidade e longa duração. Segundo Moreira (2002) citado por De Mello et al., (2007), o clima da região sul da bacia do Rio Mogi Guaçu é influenciado por sistemas atmosféricos de tipo frontal, além de estar dentro de um grande continente, fazendo com que a severidade dos eventos seja menor da ocorrida em Cuba.

Outro fator que pode ter contribuído aos resultados relativamente baixos de  $R$  (em comparação com a bacia de Cuba) é que o modelo proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) que foi utilizado para estimar o  $EI_m$  e  $R$  para este trabalho é empírico e foi calibrado para a região de Campinas (SP), podendo trazer erros caso seja regionalizado para todo o estado, como propõe Da Silva (2004). O modelo foi obtido da relação entre  $EI_m$  e o Coeficiente de Chuva, que depende obrigatoriamente dos acumulados das precipitações e do comportamento energético das chuvas daquela região. Assim, a regionalização climática é muito

sensível a muitos fatores, mais micros que macros, como topografia, vegetação, proximidade ao oceano, entre outros. O trabalho feito por Vieira e Lombardi Neto (1995) sobre o mapa de erosividade para todo o estado de São Paulo mostra valores que variam de 7000 a 8000  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$  como média anual, na área da bacia. Da Silva (2004) também encontrou valores de erosividade para a mesma região que variaram de 6000 a 8000  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$  fazendo uso do mesmo modelo proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) que foi usado em este trabalho.

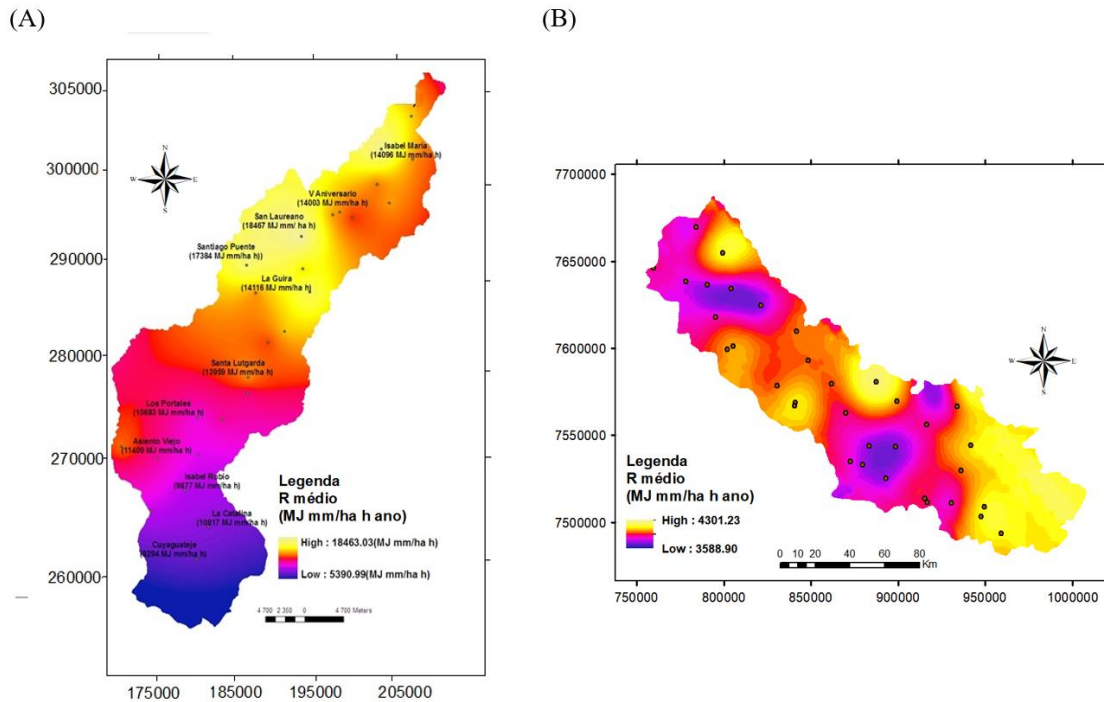


Figura 5. Fator  $R$  anual ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ ) para a bacia do Rio Cuyaguaje, Cuba (A) e bacia do Rio Mogi Guaçu, Brasil (B).

Da Silva (2004) propõe o mapa anual de erosividade da precipitação, o qual mostra uma faixa de 3116 até 20035  $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$  para todo Brasil. No mapa, a região com os valores mais baixos é representada pela região Nordeste, enquanto os valores mais altos são encontrados na região norte (região Amazônica). De acordo com o mesmo autor, 4.7% da área total do território brasileiro foi classificada por erosividade média, 26.3% foi classificada como médio forte, 10.6% apresentaram valores de erosividade considerados fortes e 58.4% de todo o território foi classificada como muito forte

segundo a classificação de Carvalho (1994) usada em seu trabalho. Nenhuma região foi classificada por baixos valores de erosividade. Isso demonstra claramente a importância das chuvas dentro dos processos de erosão no Brasil, já que a erosividade das chuvas é responsável por cerca de 80% da variação da perda do solo (Wischmeier e Smith, 1978).

É entendível que pela falta de dados pluviográficos os autores regionalizem o uso do modelo visando ter uma ideia do comportamento da erosividade da região, porém não se pode deixar de

mencionar que não é uma boa opção. Panagos et al., (2015a) propuseram em seu trabalho intitulado “*Rainfall erosivity in Europe*” uma metodologia para fazer o mapa de erosividade para Europa, o qual foi criticado e chamado de simplista. Em sua resposta ao primeiro trabalho, Panagos et al., (2015b) mencionam que seria ainda mais simplista utilizar o trabalho de Van Der Knijff (2000), onde a relação utilizada para a elaboração do mapa seria  $R = 1.3 * (\text{Precipitação})$ . Em outras palavras o uso de modelos empíricos regionalizados pode levar a erros implícitos que podem alterar os resultados.

Comparando com outros lugares do Brasil, Gonçalves et al., (2006) encontraram valor de R igual a  $4118 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para Manuel Duarte no estado de Rio de Janeiro, valor próximo aos encontrados para a bacia do Rio Mogi Guaçu. Porém, no mesmo estudo, para a estação do Posto Garrafão, no estado do Rio de Janeiro, Gonçalves et al., (2006) encontraram valores de  $16225 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , estes próximos aos encontrados para a bacia Cuyaguajeje em Cuba, o que demonstra a variabilidade espacial do comportamento erosivo das precipitações.

Por sua vez, em algumas regiões de Portugal, país de clima temperado, foram encontrados valores do fator R de  $3741.8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , enquanto que na Bélgica foram encontrados valores entre  $860.0 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , na região de Flanders, até R igual a  $1963 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em outras partes do país. Os valores do fator R para clima temperado geralmente se encontram abaixo dos  $4000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , e entrariam na classificação de erosividade média-baixa. Os resultados obtidos neste trabalho, na região da bacia Mogi Guaçu, estão muito próximos destes, o que leva ao questionamento dos resultados.

Outro fator importante é que os dados de precipitação usados para a determinação do modelo de Lombardi Neto e Modenhauer (1992) foram de quarenta anos atrás (1954-1975), e caso tenha havido alguma mudança na variabilidade e intensidade das precipitações, o modelo necessitará de uma nova calibração. Isto poderia ser uma causa da subestimação dos valores do fator R. A fim de se verificar o desempenho do modelo de Lombardi Neto e Modenhauer (1992) propõe-se utilizar dados pluviométricos de Campinas atuais e/ou calcular os valores do fator R com dados pluviográficos atuais, comparando depois com os dados obtidos no estudo citado.

Segundo a classificação de erosividade proposta por Carvalho (1994) (Tabela 2), as bacias estudadas podem ser classificadas como bacia de erosividade muito forte (Cuyaguajeje) e bacia de erosividade média (Mogi Guaçu).

Um resultado interessante encontrado por Da Silva (2004) foram as relações da erosividade da chuva com a longitude e latitude. Referente ao tema de comparação de duas bacias na mesma faixa climática, como as estudadas, o fato de estar na mesma latitude, pensa-se que ambas bacias pudessem apresentar valores semelhantes de erosividade, mas não é exatamente o que foi encontrado no presente estudo. A correlação encontrada pelo autor entre longitude e erosividade anual foi de  $R^2 = 0,484$  enquanto que a correlação entre latitude e erosividade anual foi de  $R^2 = 0,229$ .

Tabela 2. Classes de Interpretação do Fator R segundo Carvalho (1994)

<b>Erosividade (MJmm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Classes de Erosividade</b>
$R \leq 2.452$	Erosividade Baixa
$2.452 < R \leq 4.905$	Erosividade Média
$4.905 < R \leq 7.357$	Erosividade Média-Forte
$7.357 < R \leq 9.810$	Erosividade Forte
$R > 9.810$	Erosividade Muito Forte

Além de não serem correlações muito significativas, sendo um pouco mais considerável para a longitude, dá-se a entender que a medida que a longitude diminui, a erosividade das chuvas também diminuirá, como mostrado na Figura 6B, enquanto que não existe uma tendência muito bem definida entre o comportamento da erosividade em relação a latitude.

Na Figura 6A para facilitar a interpretação são representados no mesmo gráfico, em uma faixa vermelha, as latitudes das bacias que se coincidem e em laranja a faixa de valores de erosividade anual encontrados neste trabalho. Para a bacia Mogi Guaçu, os valores de erosividade ficaram abaixo (entre  $3500$  a  $4500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) da nuvem de pontos obtida por Da Silva (2004), marcados por uma faixa azul. Já para a bacia de Cuyaguajeje, os valores de R foram muito superiores aos encontrados por Da Silva (2004) para esta mesma faixa latitudinal, mais no hemisfério contrário.

A Figura 6B mostra a relação entre longitude e erosividade obtida por Da Silva (2004) e utilizando das mesmas cores que a Figura 6a, vê-se que os

valores de R também não seguiram a dispersão de pontos encontrados pelo autor.

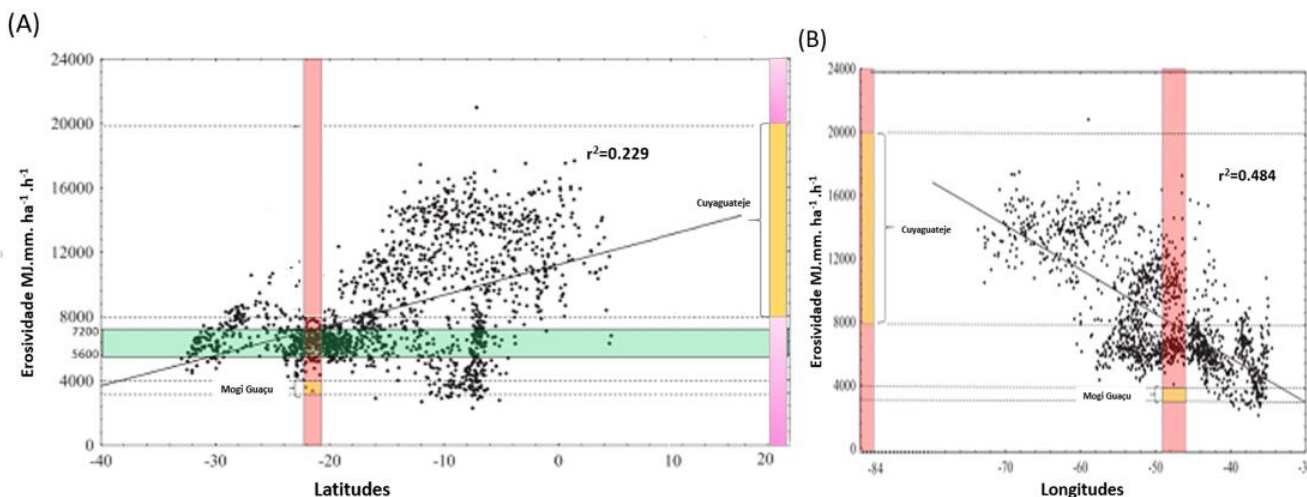


Figura 6. Relação entre latitude (graus) e erosividade anual (A) e longitude (graus) e erosividade anual (B) para todo Brasil por Da Silva (2004) com destaque nas duas bacias utilizadas no presente estudo. Adaptado de Da Silva (2004).

#### Índice Modificado de Fournier para as bacias.

Em relação a distribuição espacial do índice modificado de Fournier (MFI), a bacia Cuyaguajeje tem um comportamento espacial muito semelhante aos acumulados de precipitações anuais como era de se esperar, coincidindo com o valor máximo na estação experimental Quemado de Pineda (230 mm) e o mínimo para a estação Cuyaguajeje E.C. com (98.8 mm), variando espacialmente de Norte a Sul (Figura 7A). O coeficiente de correlação entre o MFI e o Fator R foi de 0.95, demonstrando uma grande correspondência entre ambos índices nesta bacia.

Em áreas relativamente próximas a bacia Cuyaguajeje, na antiga Província de Habana, parte Ocidental de Cuba, Vega e Febles, (2006) encontraram valores de MFI variando de 120 a 220 mm, sendo classificados de fortes a muito fortes segundo a classificação de Corine (1992) citado por Lujan e Gabriels (2005). Igualmente acontece para a bacia do Rio Cuyaguajeje, com exceção da estação experimental Cuyaguajeje E.C. com valores classificados como médios (Tabela 3), demonstrando que a erosividade pluvial é elevada na região de estudo em Cuba.

Já para a bacia do Rio Mogi Guaçu, o MFI médio anual variou de 76 mm na estação Vargem Grande do Sul a 104.5 mm na estação Santa Cruz das Palmeiras (Figura 7B). De acordo com a classificação apresentada, a bacia brasileira estudada

possui valores de MFI entre as classes baixa e média. Os resultados demonstram diferenças entre as bacias, porém não tão grandes quanto as relacionadas aos valores do Fator R. A distribuição espacial, como é de se esperar, possui o mesmo comportamento que o Fator R devido a dependência do modelo de Lombardi Neto e Modenhauer (1992) utilizado para o cálculo do  $EI_m$  por meio dos acumulados de precipitação.

Em um trabalho feito por De Mello et al., (2015) para a bacia do Rio Grande, no estado de Minas Gerais, foram encontrados valores de MFI de 115 mm na parte sul, vizinha da bacia Mogi Guaçu, valor próximo aos encontrados no presente estudo. Estes resultados permitem considerar que o Índice Modificado de Fournier pode ser usado para determinar a erosividade na região paulista melhor que o modelo proposto por Lombardi Neto e Modenhauer (1992).

Tabela 3. Classes de Interpretação do Índice Modificado de Fournier segundo Corine (1992), (citado por Lujan e Gabriels, 2005).

Índice Modificado de Fournier (mm)	Descrição	Classes
MFI < 60	Muito Baixa	1
60 até 90	Baixa	2

90 até 120  
120 até 160

Média 3  
Forte 4

160 > Muito Forte 5

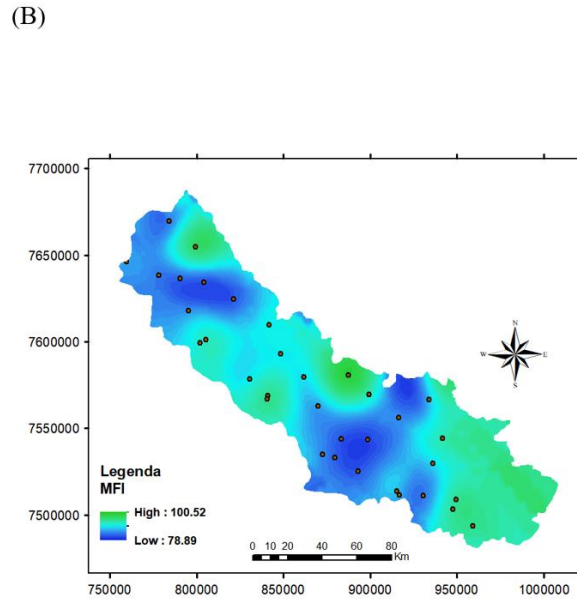
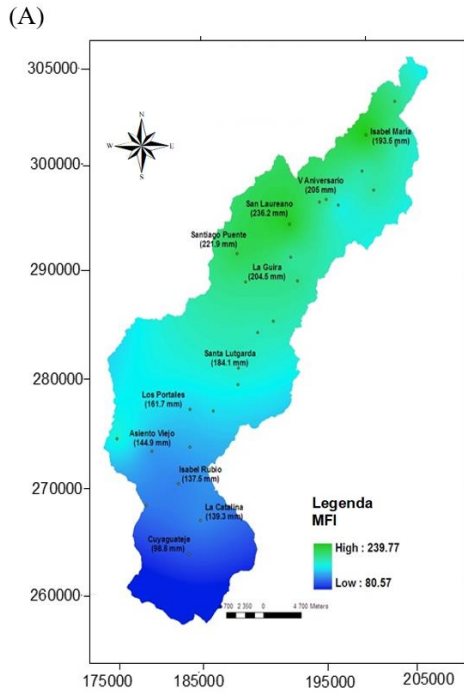


Figura 7. Média anual do Índice Modificado de Fournier. (mm) para a bacia do Rio Cuyaguatije, Cuba (A) e bacia do Rio Mogi Guaçu, Brasil (B).

A variação mensal do MFI pode ser dada pela fração do Índice Modificado de Fournier (FMFI). Para a bacia de Cuyaguatije, o mês de maior valor foi o mês de junho, mês de maior risco de erosão com FMFI igual a 0.240 mm, enquanto que o mês de dezembro apresentou o menor valor, este com

0.005 mm (Figura 8B). Já para a bacia Mogi Guaçu os valores do FMFI mensais foram menores que aos encontrados para a bacia cubana, com máximo no mês de janeiro 0.200 mm e mínimo no mês de julho, com FMFI igual a 0.001mm (Figura 8A).

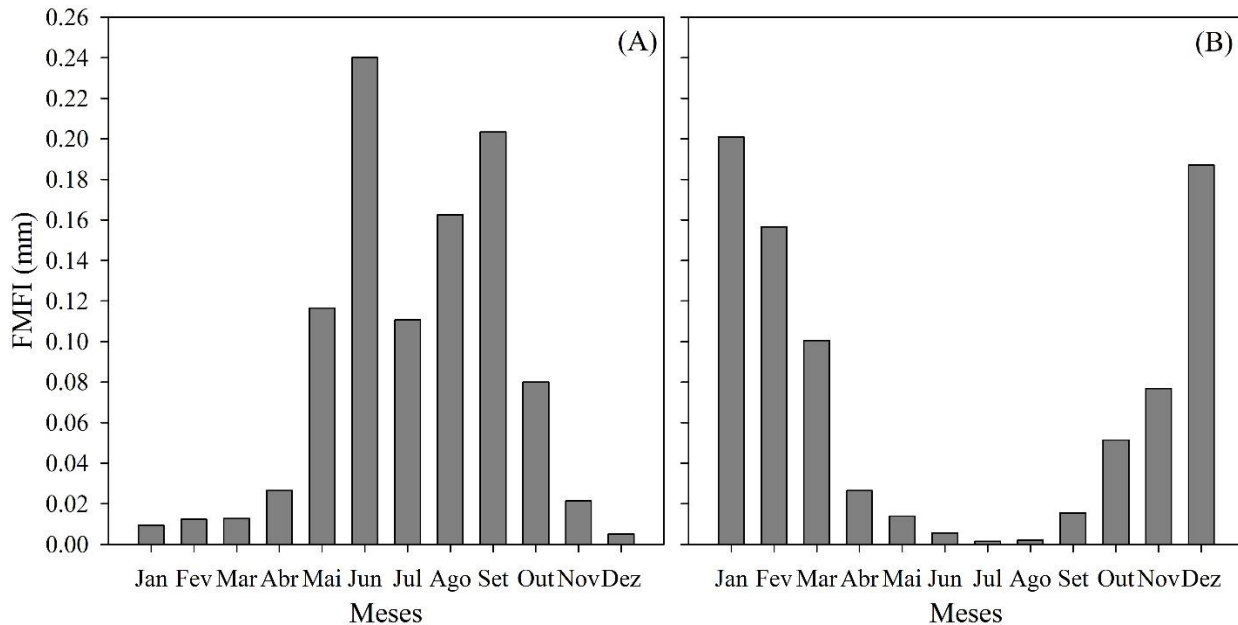


Figura 8. Comportamento mensal do Índice Modificado de Fournier (FMFI) para a bacia do Rio Cuyaguaje, Cuba (A) e bacia do Rio Mogi Guaçu, Brasil (B).

### Conclusões

As precipitações na bacia do Rio Cuyaguaje em Cuba apresentaram maior erosividade, com máximo de 18467 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Este valor é quase o quádruplo do máximo de erosividade obtido para a bacia do Rio Mogi Guaçu cujo valor máximo foi de 4462 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> como média anual.

O modelo proposto por Lombardi Neto e Modenhauer (1992) para estimar EI<sub>m</sub> em Campinas, e que foi utilizado na bacia Mogi Guaçu, talvez tenha subestimado os valores do Fator R anual para a bacia brasileira.

Na bacia do Rio Cuyaguaje, o Índice Modificado de Fournier (99 até 230 mm) também foi maior que os obtidos na bacia Mogi Guaçu (77 mm até 104 mm), demonstrando que independentemente do Fator R ter sido subestimado, a erosividade das chuvas na bacia cubana é maior.

Na bacia do Rio Cuyaguaje, o Fator R e o Índice Modificado de Fournier apresentaram uma correlação de 0.95, demonstrando alta correspondência entre ambos os índices.

Na bacia Mogi Guaçu, a análise mensal do MFI resultou em valores mais altos para os meses de verão, com máximo no mês de janeiro (0.200 mm) e valores menores para os meses de inverno, com mínimo de 0.001 em julho. Estes valores foram inferiores aos obtidos para a bacia cubana, porém não houve grande diferença nos valores absolutos como foi o caso do Fator R.

Os resultados demonstram que mesmo as duas bacias tendo regimes pluviométricos semelhantes, não significa necessariamente que elas devam apresentar valores iguais de erosividade das chuvas.

### Agradecimentos

À Academia de Ciências para o Mundo em Desenvolvimento (TWAS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa cedida ao primeiro autor (Processo: 190052/2014-7).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa cedida ao segundo autor (Processo: 131184/2016-4).

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa cedida ao terceiro autor.

Aos professores da disciplina de SIG e Análise Multicritérios em Ambiente Agrícola da Escola

Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo.

### Referências

- ANA. Agência Nacional das Águas, 2010. Disponível: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=41>. Acesso: 10 mai. 2016.
- Angulo-Martínez, M., Barros, A.P., 2015. Measurement uncertainty in rainfall kinetic energy and intensity relationships for soil erosion studies: An evaluation using PARSIVEL disdrometers in the Southern Appalachian Mountains. *Geomorphology* 228, 28-40. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.07.036>.
- Apaydin, A., Erpul, G., Bayramin, I., Gabriels, D., 2006. Evaluation of indices for characterizing the distribution and concentration of precipitation: A case for the region of Southeastern Anatolia Project, Turkey. *Journal of Hydrology* 328, 726-732.
- Arnoldus., H.M.J., 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO, Soils Bull* 34, 39-51.
- Brown, L.C., Foster, G.R., 1987. Storm Erosivity Using Idealized Intensity Distributions. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 30, 380-386.
- Burgess, T.M., Webster, R., 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. *European Journal of Soil Science* 31, 333-341.
- Carvalho, N, 1994. *Hidrossedimentologia Prática*, 1 ed. CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, Rio de Janeiro.
- CBH-MOGI. Comitê da bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu, 2014. Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu 2016-2019. Disponível: [http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/9069/diagnostico\\_sintese\\_cbh-mogi.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/9069/diagnostico_sintese_cbh-mogi.pdf). Acesso: 10 jun. 2016.
- Da Silva, A.M., 2004. Rainfall erosivity map for Brazil. *CATENA* 57, 251-259. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>. Acesso: 10 jun 2016.
- De Mello, C.R., Sá, M.A.C., Curi, N., De Mello, J. M., Viola, M.R., Da Silva, A.M., 2007.

- Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42, 537-545.
- Fidalgo, E.C.C., Thompson, D., Lima, E.P., Gonçalves, A.O., Schuler, A.E., Laureano, I.C. M. 2012. Estimativa da Erosividade nas Bacias Hidrográficas dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu, 2 ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- Flanagan, D.C., Gilley, J. E., Franti, T. G, 2007. Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development History, Model Capabilities, and Future Enhancements. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50, 1603-1612.
- Gonçalves, F.A., Da Silva, D.D., Pruski, F. F., Carvalho, D.F., Cruz, E. S., 2006. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10, 269-276.
- Kajtar, J.B., Santoso, A., England, M.H., Cai, W., 2016. Tropical climate variability: interactions across the Pacific, Indian, and Atlantic Oceans. *Climate Dynamics* 48, 2173-2190.
- Knisel, W.G., 1980. CREAMS: a field-scale model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems [USA]. USDA Conservation Research Report 26, 36-64.
- Lim, Y.S., Kim, J.K., Kim, J.W., Park, B. I., Kim, M. S., 2015. Analysis of the relationship between the kinetic energy and intensity of rainfall in Daejeon, Korea. *Quaternary International* 384, 107-117.
- Lombardi Neto, F., Moldenhauer, W.C., 1992. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia* 51, 189-196.
- Lujan, L.D., Gabriels, D., 2005. Assessing the rain erosivity and rain distribution in different agroclimatological zones in Venezuela. *Sociedade & Natureza* 1, 16-29.
- Meshesha, D.T., Tsunekawa, A., Tsubo, M., Haregeweyn, N. Tegegne, F., 2016. Evaluation of kinetic energy and erosivity potential of simulated rainfall using Laser Precipitation Monitor. *CATENA* 137, 237-243.
- CITMA. Ministerio de Ciencia Tecnologia Y Medioambiente, 2010. Programa Nacional de Medioambiente. Centro de información y educación (CIDEA). La Habana, Cuba.
- Morgan, R.P.C., 1986. Soil degradation and soil erosion in the loamy belt of northern Europe. Cesena, Itália.
- Morgan, R. P. C., 2005. Soil erosion and conservation, 3 ed. Blackwell Publishing Ltd, Carlton, Victoria.
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Beguería, S., Klik, A., Rymaszewicz, A., Michaelides, S., Olsen, P., Tadic, M. P., Aalto, J., Lakatos, M., Dumitrescu, A., Rousseva, S., Montanarella, L., Alewell, C., 2015a. Reply to the comment on “Rainfall erosivity in Europe” by Auerswald et al. *Science of the Total Environment* 532, 853-857.
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M. P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., 2015b. Rainfall erosivity in Europe, *Science of the Total Environment* 511, 801-814.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Yoder, D.C., McCool, D.K., 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *Soil Water Conservation* 46, 30-33.
- Schietecatte, W., D’Hondt L., Cornelis, W.M., Acosta, M.L., Leal, L., Almoza, Y., Alonso, G.R., Díaz, J., Ruíz, M., Gabriels, D., 2008. Influence of landuse on soil erosion risk in the Cuyaguaje watershed (Cuba). *CATENA* 74, 1-12.
- Shope, C.L., Maharjan, G.R. K., 2015. Modeling spatiotemporal precipitation: Effects of density, interpolation, and land use distribution. *Advances in Meteorology*. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/174196> Acesso: 23 jun. 2016
- Suarez, C., Rodríguez, H., 1956. Pérdidas de suelo y agua bajo diferentes sistemas de cultivos. *Boletín Técnico - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia* 2, 80-81.
- Van Dijk, A. I. J. M., Bruijnzeel, L. A., Rosewell, C. J., 2002. Rainfall intensity – kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. *Journal of Hydrology* 261, 1-23.
- Van Der Knijff, Montanarella, 2000. Soil erosion risk assessment in Europe. *European Soil Bureau*, n. February, 38.
- Vieira, M.J, 1981. Propriedades físicas do solo. *Plantio direto no Estado do Paraná*, 23, 34-38.
- Vieira, S.R., Lombardi Neto, F.L., 1995. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. *Bragantia* 54, 405-412.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *EOS Earth & Space News* 39, 285–291.

Weill M.A.M., Lamparelli, J.V., 2001. Potencial natural de erosão e riscos de degradação na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçú (SP). VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia (GO).

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conservation planning. United States Department of Agriculture, Washington DC: Agriculture Handbook.