

## INVERSO DA DISTÂNCIA PONDERADA APLICADO À GERAÇÃO DE EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

ARYANE ARAUJO RODRIGUES<sup>1</sup>; TAMARA LEITZKE CALDEIRA BESKOW<sup>2</sup>;  
TIRZAH MOREIRA SIQUEIRA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas; Centro de Engenharias; Discente no PPG em Ciências Ambientais – aryane\_03.2@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas; Centro de Engenharias – tamaraleitzkecaldeira@gmail.com*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas; Centro de Engenharias; Docente no PPG em Ciências Ambientais – tirzahsiqueira@hotmail.com*

### 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento acerca do comportamento espacial e temporal, especialmente das chuvas intensas, tem sido foco de estudos visando contribuir no planejamento e gestão dos recursos naturais, pois estas informações subsidiam estudos ambientais, projetos de obras hidráulicas como canais, sistemas de drenagem urbana e rural, barragens, pontes, bem como as técnicas de manejo e conservação do solo e da água.

As principais grandezas características das chuvas intensas são a sua intensidade ( $I$ ), duração ( $t$ ) e tempo de retorno (TR) e, portanto, para relacioná-las têm sido realizado o ajuste de modelos matemáticos, como as equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF), sendo um dos procedimentos mais utilizados na engenharia de recursos hídricos (MELLO; SILVA, 2013).

As equações IDF são determinadas para um local a partir de dados pluviográficos ou pluviométricos. No entanto, não devem ser utilizadas indiscriminadamente, pois representam apenas a chuva da localidade para a qual foram ajustadas. Por isso, mesmo com a ampla Rede Hidrometeorológica Nacional, a densidade pluviométrica no estado do Rio Grande do Sul ainda não é satisfatória para abranger a variabilidade da chuva, tendo em vista as recomendações da Organização Mundial Meteorológica (WMO, 2008).

Este aspecto leva os tomadores de decisão a obterem os coeficientes da equação IDF por meio da média dos coeficientes dos postos pluviométricos vizinhos ou simplesmente utilizarem equação mais próxima. Assim, para sobrepor este obstáculo, a interpolação espacial vem sendo empregada com a finalidade de espacializar variáveis como a chuva, a intensidade da chuva e os coeficientes da equação IDF, fazendo uso de interpoladores geoestatísticos, como a Krigagem, ou interpoladores determinísticos mais simples e usuais, como o Inverso da Distância Ponderada (IDP).

Em relação à espacialização dos coeficientes da equação IDF, diversos estudos no Brasil vêm sendo conduzidos utilizando o IDP (ALMEIDA, 2017; BRAGA et al., 2018), que estima o valor da variável de interesse em um local não-amostrado, como sendo uma média ponderada pelo inverso da distância dos valores dos amostrados dentro de um raio de busca (MELLO; SILVA, 2013).

Neste contexto, e diante da importância das informações sobre as chuvas intensas para a gestão dos recursos naturais, o objetivo deste estudo foi avaliar o interpolador Inverso da Distância Ponderada (IDP) na espacialização dos coeficientes da equação IDF para todo o estado do Rio Grande do Sul.

### 2. METODOLOGIA

Foram utilizadas séries históricas de chuva total diária, obtidas junto ao Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas

e Saneamento Básico, de 248 postos pluviométricos no Rio Grande do Sul (RS) e 10 postos pluviométricos em Santa Catarina (SC), próximos à fronteira com o RS, com o intuito de diminuir os erros de estimativa nestes locais, fenômeno que é conhecido como “Efeito de Borda” (RIOS, 2018).

A partir destas, foram constituídas séries de Chuva Máxima Diária Anual (CMDA), considerando anos com no máximo 30 dias de falha e extensão entre 20 e 73 anos (Figura 1). Essas séries foram submetidas ao teste de tendência de Mann-Kendall ( $\alpha = 0,05$ ) (MANN; KENDALL, 1975) para verificação da estacionariedade, que é um requisito básico da modelagem probabilística empregada neste estudo.

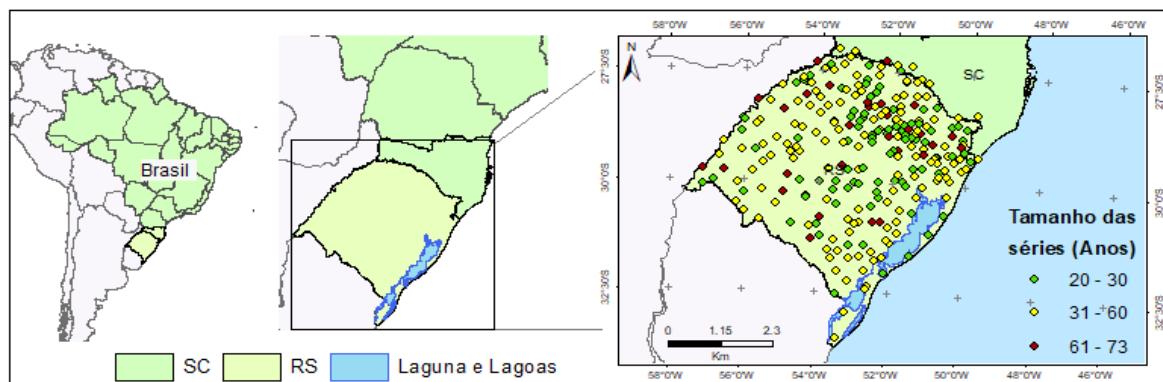


Figura 1 – Área de estudo e distribuição espacial dos postos pluviométricos.

À cada série de CMDA (Figura 1) foram ajustadas as distribuições probabilísticas (DP) Log Normal a 2 parâmetros (LN 2P), Log Normal a 3 parâmetros (LN 3P), Gumbel para Máximos, Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Kappa, utilizando o Método dos Momentos-L para estimação dos parâmetros (NAGHETTINI, 2017). O ajuste das DPs foi avaliado com o teste de aderência de Anderson-Darling (AD) ( $\alpha = 0,05$ ) (ANDERSON; DARLING, 1954). Tanto a constituição das séries de CMDA, quanto o ajuste das DP foram realizados com o software SYHDA - System of Hydrological Data Acquisition and Analysis (VARGAS et al., 2019).

Com base na melhor DP de cada série de CMDA, foram calculadas as intensidades máximas de chuva associadas aos TR de 2 a 100 anos e, empregando a técnica de Desagregação da Chuva Diária foram estimadas as intensidades com durações inferiores a 1 dia. As constantes de desagregação utilizadas foram as propostas pela CETESB (1979), considerando as durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 720 e 1440 minutos.

O conjunto de dados de intensidade máxima de chuva associada às diversas durações e TR foi utilizado para ajustar os coeficientes da equação IDF, empregando o modelo matemático (Equação 1) mais aplicado para relacionar as principais grandezas da chuva (CHOW, 1962):

$$I = \frac{a \cdot TR^b}{(c + t)^d} \quad (1)$$

Em que: I é a intensidade máxima da chuva ( $\text{mm.h}^{-1}$ ); TR é o tempo de retorno (anos); t é a duração (minutos); e a, b, c e d são coeficientes ajustados para o local de cada posto pluviométrico. Os coeficientes foram ajustados no software RStudio (R Core Team, 2017), utilizando o Coeficiente de Nash-Sutcliffe ( $C_{NS}$ ) (NASH; SUTCLIFFE, 1975) como função objetivo.

As equações ajustadas para as 258 localidades foram utilizadas como dado de entrada no procedimento de interpolação espacial, conduzido no

software ArcGIS 10.8 (ESRI, 2020). A espacialização dos coeficientes foi realizada empregando o interpolador Inverso da Distância Ponderada (IDP), testando as potências ( $\rho$ ) de 2 a 5. Foram considerados de 10 a 15 postos pluviométricos vizinhos de cada pixel a ser estimado, dentro de um raio de busca de 50 Km desse pixel, e os mapas foram gerados com resolução espacial de 1 Km. O desempenho da estimativa dos coeficientes da equação IDF, realizada com o IDP, foi avaliado pela Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (Root Mean Square Error – RMSE) (CHAI; DRAXLER, 2014), entre o valor do coeficiente obtido nos postos pluviométricos e os valores estimados pelo IDP no pixel em que os postos encontram-se.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As DP que melhor se ajustaram às 258 séries de CMDA foram a Kappa (186), GEV (70) e LN 2P (2). Em relação ao ajuste dos coeficientes da equação IDF, o  $C_{NS}$  foi superior a 0,994 para os 258 locais, sendo que: o coeficiente  $a$  variou entre 417,36 e 1263; o coeficiente  $b$  variou entre 0,06028 e 0,3547; e os coeficientes  $c$  e  $d$  foram constantes e iguais a 9,791 e 0,7244, respectivamente.

A espacialização dos coeficientes  $a$  e  $b$  das 258 equações IDFs, realizada por meio do interpolador IDP para todo o RS é demonstrada na Figura 2.

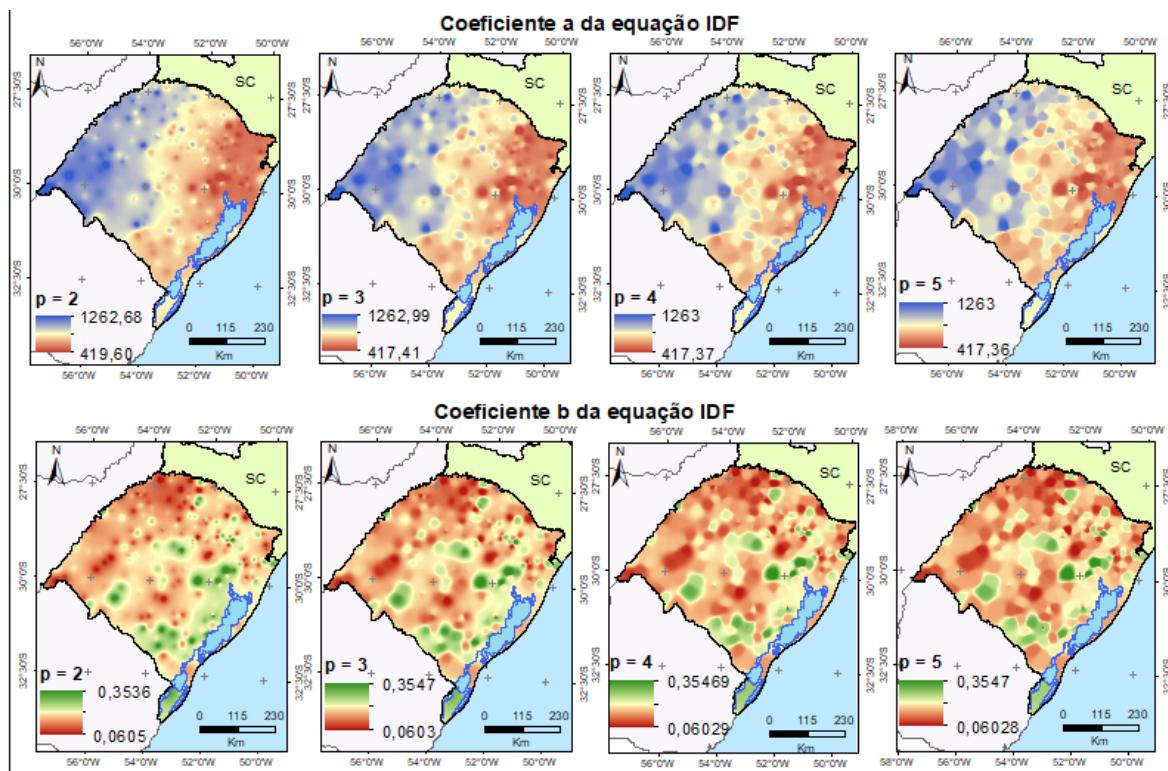


Figura 2 – Interpolação espacial dos coeficientes  $a$  e  $b$  da equação IDF para o estado do RS, realizados com as diferentes potências ( $\rho$ ) (de 2 a 5)

Os menores valores do coeficiente  $a$  encontram-se na região nordeste do RS, enquanto os maiores na metade oeste do estado. Em contrapartida, o coeficiente  $b$  possui seus valores mínimos nas regiões noroeste e sudoeste, e máximos em porções das regiões nordeste e sudeste, majoritariamente (Figura 2). Também é possível observar que os mapas dos coeficientes  $a$  e  $b$  apresentaram diferenças na estimativa dos valores conforme o parâmetro  $\rho$  varia. No IDP, quanto maior a potência, maior peso é dado aos valores dos postos mais próximos ao pixel a ser estimado, ou seja, conforme aumenta a distância, diminui a influência dos coeficientes dos postos pluviométricos mais afastados.

A avaliação das potências utilizadas no IDP foi feita com base nos resultados do RMSE, demonstrados na tabela 1.

**Tabela 1 – Desempenho do interpolador IDP na estimativa dos coeficientes da equação IDF para o RS, variando o parâmetro potência ( $\rho$ ), conforme o RMSE.**

Potência	RMSE			
	$\rho = 2$	$\rho = 3$	$\rho = 4$	$\rho = 5$
Coeficiente a	15,67	14,73	14,25	13,98
Coeficiente b	0,0508	0,0104	0,0101	0,0099

Os menores RMSE foram obtidos para a potência 5, enquanto que os maiores foram encontrados realizando a interpolação com as potências 2 e 3. Estes resultados são semelhantes ao encontrados em outros estudos como os de ALMEIDA (2017) e BRAGA et al. (2018), que encontraram os menores erros de estimativa ao utilizar as potências 4 e 5. Além disso, acredita-se que este fato possa indicar um menor alcance e uma maior contribuição das chuvas locais para a estimativa dos coeficientes, tendo em vista que é característica das chuvas intensas este comportamento esparsos e de alta variabilidade espacial.

#### 4. CONCLUSÕES

Foi possível espacializar os coeficientes da equação IDF para todo o estado do RS utilizando o interpolador Inverso da Distância Ponderada, sendo que a potência que gerou os mapas com os menores erros foi a 5<sup>a</sup>, tanto para o coeficiente a, quanto para o coeficiente b.

Ademais, cabe destacar que apesar de suas limitações, o uso do IDP forneceu bons resultados, culminando em mapas que representam um ganho de informações hidrológicas a serem utilizadas na gestão dos recursos naturais no estado do Rio Grande do Sul.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of fit. **Journal of the American Statistical Association**, v. 49, n. 268, pp. 756-76, 1954.
- ALMEIDA, L. T. **Espacialização de chuvas intensas: uma nova proposta**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.
- BRAGA, Raphael Nunes de Siqueira et al. Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro. **Revista Ambiente & Água**, v18, 2018.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana – Manual de Projeto**. 3 ed. 1979.
- CHOW, Ven Te et al. **Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small basins**. Illinois, 1962.
- KENDALL, M. **Rank correlation methods** (4th edn.), Charles griffin. 1975.
- MELLO, C. R.; Silva, A. M. **Hidrologia: Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.
- NAGHETTINI, Mauro. **Fundamentals of statistical hydrology**. Springer, 2017.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models I. **Journal of Hydrology**, v. 10, n.3, 1970.
- RIOS, E. S. **O EFEITO DE BORDA NA GEOESTATÍSTICA**. 2018. Tese. UFV.
- VARGAS, M. M.; BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; CORREA, L. CUNHA, Z. A. D. SYHDA – System of Hydrological Data Acquisition and Analysis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 24, 2019.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Hydrological Practices**. Genebra. Chairperson Publications Board, 2008, 6º ed.