

## **XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS PARA DIFERENTES LOCALIDADES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ, PERNAMBUCO**

*José Raliuson Inácio Silva<sup>1</sup>; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro<sup>2</sup>; Carolyne Wanessa Lins de Andrade Farias<sup>3</sup> & Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>4</sup>*

**RESUMO** – Objetivou-se estudar a probabilidade de ocorrência de chuvas intensas e calibrar a equação de intensidade-duração-frequência (IDF), por meio da desagregação da chuva, para diferentes localidades da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú. Foram selecionadas quatro estações pluviométricas que representam regiões do alto ao baixo Pajeú, seguindo o gradiente de altitude e a precipitação média anual: Brejinho, Afogados da Ingazeira, Serra Talhada e Floresta. O conjunto de dados pluviométricos diários destas estações consiste em séries de 20 anos (2000-2019). Foram aplicados os métodos de distribuição de Kimbal e Gumbel, e após a verificação de aderência entre os dois métodos, foi determinada a chuva máxima provável para “um dia” em função do tempo de retorno. Foi aplicada a metodologia de desagregação a esta chuva máxima, e a partir da chuva desagregada, foi determinada a intensidade da chuva, sendo possível o ajuste dos parâmetros da equação IDF, usando método dos mínimos quadrados não linear. As regiões do alto e baixo Pajeú, apesar de apresentarem médias pluviométricas distintas, tendem a ter chuvas mais intensas. A equação IDF apresentou ajuste adequado para todos os locais estudados.

**ABSTRACT**– The objective of this study was to study the probability of occurrence of intense rains and to calibrate the intensity-duration-frequency equation (IDF), by means of rainfall disaggregation, for different locations in the Pajeú River Basin, Pernambuco State, Brazil. Four rainfall gauges stations were selected that represent regions from highlands to lowlands Pajeú Watershed, following gradient of altitude and average annual precipitation: Brejinho, Afogados da Ingazeira, Serra Talhada and Floresta. The set of daily rainfall data of these gauges is comprised of series of 20 years (2000-2019). The Kimbal and Gumbel distribution methods were applied. After checking the adherence between the two methods, the maximum probable daily rainfall was determined as a function of the return period. The disaggregation methodology was applied to this maximum daily rainfall, and from the disaggregated rainfall for different durations the intensity of the rain was determined, making it possible to adjust the parameters of the IDF equation, using the non-linear least squares method. The regions of the highlands and lowlands Pajeú Watershed, despite presenting different rainfall averages, tend to have more intense rainfall. The IDF equation showed adequate adjustment for all the studied locations.

<sup>1</sup>) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola; (87) 3829-3351; raliuson.silva@ufrpe.br

<sup>2</sup>) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola; Fone; (81) 3320-6279; montenegro.ufrpe@gmail.com

<sup>3</sup>) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada; carolyne.andrade@ufrpe.br

<sup>4</sup>) Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil; suzanam.ufpe@gmail.com

**Palavras-Chave** – curva IDF, desagregação da chuva, método de Gumbel

## INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica espaço-temporal da chuva é importante para subsidiar estudos hidrológicos e o planejamento de uso dos recursos hídricos (Silva et al., 2017). Outro fator relevante para a gestão dos recursos hídricos é a caracterização das chuvas intensas (ou extremas), pois estas são responsáveis por gerar volumes significativos de escoamento em pequenos intervalos de tempo (Qamar et al., 2017; Rodrigues e Araujo, 2019). Tais eventos extremos provocam altos riscos, pois desencadeiam processos de degradação, como enchentes, deslizamentos de terra, erosão e assoreamento dos corpos hídricos.

Assim, o estudo sobre eventos extremos de chuva é um dos principais tópicos, no campo da hidroclimatologia, devido aos impactos adversos das chuvas intensas nas áreas urbanas e rurais (Loo et al., 2015). Os eventos extremos de chuva são caracterizados por sua intensidade, duração e frequência de ocorrência, sendo que a relação entre esses três fatores pode ser representada por equações que modelem a associação entre as grandezas. A modelagem das chuvas intensas é fundamental para a engenharia, pois é amplamente utilizada no dimensionamento de obras hidráulicas, como galerias, bueiros, sarjetas, reservatórios de detenção em áreas urbanas, vertedouros de barragens, sistema de drenagem agrícola e práticas para contenção de erosão (Pereira et al., 2017; Silva et al., 2012; Silva Neto et al., 2020).

Normalmente, os modelos matemáticos que descrevem as chuvas extremas são gerados/calibrados a partir de uma série de dados pluviográficos obtidos para cada localidade, porém, esses dados são escassos para a maioria das localidades (Silva Neto et al., 2016). Deste modo, a desagregação da chuva de um dia (obtida em estações pluviométricas) surge como uma alternativa interessante para aumentar a quantidade de informações sobre chuvas intensas, pois essa metodologia apresenta boa representatividade da chuva de pluviógrafos (Silva et al., 2012; Silva Neto et al., 2017).

Mesmo diante da importância da caracterização das chuvas intensas para o planejamento e gestão das bacias hidrográficas, principalmente de regiões semiáridas, devido à variabilidade espaço-temporal das chuvas, ainda são escassos os trabalhos que analisam chuva intensas em escala de bacia hidrográfica no semiárido. Diante do contexto, objetivou-se estudar a probabilidade de ocorrência

de chuvas intensas e calibrar a equação de intensidade-duração-frequência (curva IDF), por meio da desagregação da chuva, para diferentes localidades na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú.

## MATERIAL E METÓDOS

O trabalho foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, localizada em sua totalidade no semiárido do Estado de Pernambuco, e inserida na Bacia do São Francisco. Foram selecionadas quatro estações pluviométricas que representam regiões do Alto ao Baixo Pajeú, seguindo o gradiente de altitude e a precipitação média anual: Brejinho (728,98 mm), Afogados da Ingazeira (698,44 mm), Serra Talhada (643,76 mm) e Floresta (461,76 mm) (Figura 1). O conjunto de dados pluviométricos diários destas estações, consiste em séries de 20 anos (2000-2019), as quais foram obtidas junto a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

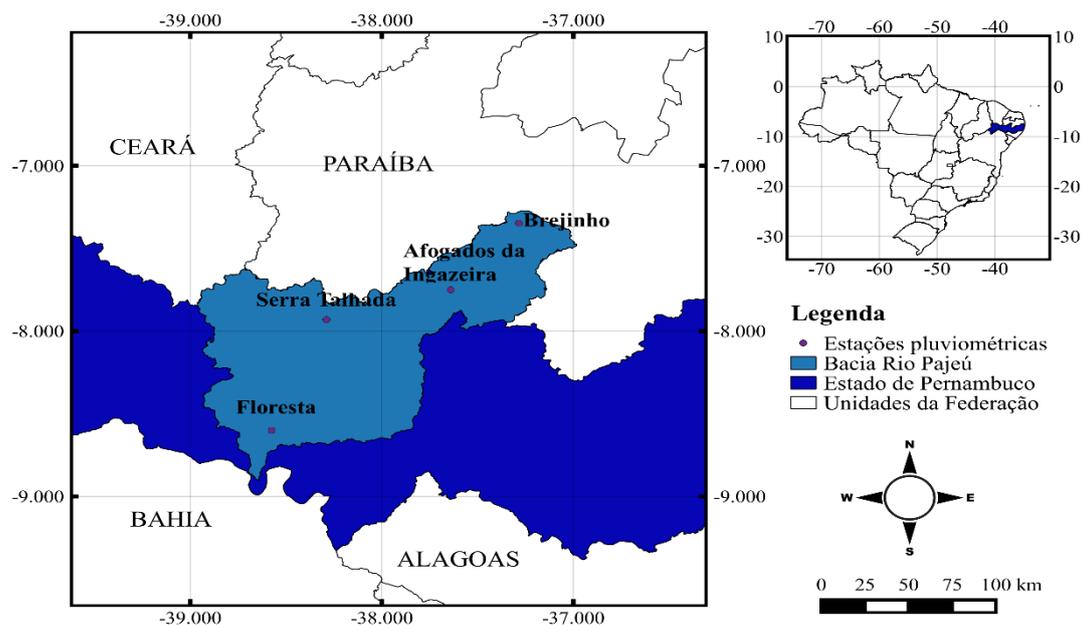


Figura 1 - Localização das estações pluviométricas distribuídas no gradiente de altitude na Bacia do Rio Pajeú, semiárido de Pernambuco.

Após uma triagem nas séries de dados, observou-se, para cada ano da série, a altura máxima de chuva de “um dia” (chuva registrada em um dia), obtendo-se a série de chuvas máximas anuais para cada estação pluviométrica. Em seguida, a séries de chuvas máximas foram organizadas em ordem decrescente, sendo também calculados a média aritmética e o desvio-padrão da respectiva série.

De posse das séries organizadas em ordem decrescente, foi determinada a probabilidade de ocorrência relativa a cada chuva máxima anual, utilizando-se a equação de Kimbal (Villela e Mattos, 1975), para séries curtas:

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (1)$$

Sendo  $n$  o tamanho da série disponível e  $m$  o número do evento.

Ademais, ajustou-se a distribuição de probabilidade de Gumbel (Equação 2) para modelar a frequência das chuvas intensas diárias para as quatro estações, uma vez que essa distribuição se mostrou adequada para várias localidades do Estado de Pernambuco (Souza et al., 2012).

$$P = 1 - e^{-e^{-b}} \quad (2)$$

$$b = a * (X - Mo) \quad (3)$$

$$a = \frac{\sigma_n}{\sigma_x} \quad (4)$$

$$Mo = \bar{X} - \sigma_x \frac{Y_n}{\sigma_n} \quad (5)$$

sendo  $P$  a probabilidade de ocorrência;  $b$ ,  $a$  e  $Mo$  parâmetros que dependem das características da chuva;  $X$  o evento de chuva;  $\bar{X}$  a média da série de chuvas;  $\sigma_x$  o desvio padrão da série de chuvas;  $\sigma_n$  o desvio padrão reduzido (tabelado para 20 anos como 1,0628); e  $Y_n$  a média reduzida (tabelada para 20 anos como 0,5236).

Visando avaliar a adequabilidade da distribuição de Gumbel, foi aplicado o teste de aderência de Kolmogorov-Sminov ao nível de 5% de probabilidade (Silva et al., 2012). Quando a distribuição de Gumbel apresenta aderência com a distribuição teórica observada, pode-se, através da Equação 6, estimar as alturas de chuvas máxima de “um dia” para os períodos de retorno desejados, que no presente estudo foram de 2, 5, 10, 20 e 30 anos, a partir das seguintes expressões:

$$X = \frac{b2}{a} + Mo \quad (6)$$

$$b2 = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{Tr}\right)\right) \quad (7)$$

sendo  $X$  a altura de chuva máxima de “um dia” (mm),  $b2$  um parâmetro de ajuste e  $Tr$  o tempo de retorno (anos).

Após se obter a chuva máxima diária provável para cada tempo de retorno, foi aplicada a metodologia de desagregação da chuva, com o intuito de converter a chuva de um dia em tempos de duração que variam de 24 horas a 5 minutos, possibilitando estimar as intensidades de chuva

correspondentes para cada tempo (Cardoso et al., 1998). A desagregação da chuva foi calculada multiplicando-se o valor inicial da chuva por um coeficiente de desagregação correspondente a cada tempo que se deseja desagregar (CETESB, 1986). Um exemplo de como é realizado o processo de desagregação de uma chuva de 80 mm no dia, é apresentado na Tabela 1. Vale salientar que para conversão da chuva de “um dia” em 24 horas utilizou-se o coeficiente recomendado por Torrico (1974), por apresentar uma proximidade mais realista com o clima do Estado de Pernambuco (Silva et al., 2012).

Tabela 1 - Exemplo de desagregação de chuvas diárias, seguindo metodologia da CETESB (1980)

Duração da chuva (h)	Relação entre alturas de chuva	Coefficiente de desagregação - CD	Chuva (mm)	Chuva desagregada (chuva x CD)	Intensidade da chuva (mm/h)
24	1 dia para 24 h	1,10	80	88,00	3,67
12	24 h para 12 h	0,85	88	74,80	6,23
10	24 h para 10 h	0,82	88	72,16	7,21
8	24 h para 8 h	0,78	88	68,64	8,58
6	24 h para 6 h	0,72	88	63,36	10,56
3	24 h para 3 h	0,54	88	47,52	15,84
1	24 h para 1 h	0,42	88	36,96	36,96
0,5	1 h para 30 min	0,74	36,96	27,35	54,70
0,41	30 min para 25 min	0,91	27,35	24,88	60,70
0,33	30 min para 20 min	0,81	27,35	22,15	67,13
0,25	30 min para 15 min	0,70	27,35	19,14	76,58
0,16	30 min para 10 min	0,54	27,35	14,76	92,30
0,08	30 min para 5 min	0,34	27,35	9,29	116,23

h – horas, min – minutos

Dispondo da intensidade de chuva, obtida a partir da desagregação, foi executado o ajuste da equação de intensidade-duração-frequência (curva IDF), proposto por Pfafstetter (1958) (Equação 8). Esta equação possui quatro parâmetros empíricos (K, a, b e c) que dependem da localidade. Os parâmetros foram obtidos/ajustados por meio do método iterativo para sistema de equações não-lineares. No presente estudo, utilizou-se o Software R com o comando nls (Nonlinear Least Squares – Mínimos quadrados não linear), para realizar o ajuste dos parâmetros do seguinte funcional, largamente adotado para análise de chuvas intensas:

$$i = \frac{K \cdot T^a}{(t+b)^c} \quad (8)$$

sendo  $i$  a intensidade da chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ ),  $T_r$  o tempo de retorno (anos),  $t$  a duração da chuva (minutos) e  $K$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  parâmetros empíricos que dependem da localidade.

Para avaliar a eficiência dos ajustes da Equação IDF, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o coeficiente NSE (Nash e Sultcliffe, 1970) e a porcentagem do erro.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para todas as estações estudadas, o modelo de distribuição de Gumbel mostrou-se satisfatório na representação da distribuição de frequência das máximas chuvas diárias (Figura 2). Observa-se na Figura 2 que os pontos da frequência teórica se aproximam da curva do modelo de Gumbel, sendo que a partir do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, verificou-se que a distribuição de Gumbel pôde representar a distribuição das chuvas máxima de “um dia” para as séries estudadas. Sendo adequada para estimar a magnitude de um evento extremo (chuva máxima provável) para um determinado tempo de retorno.

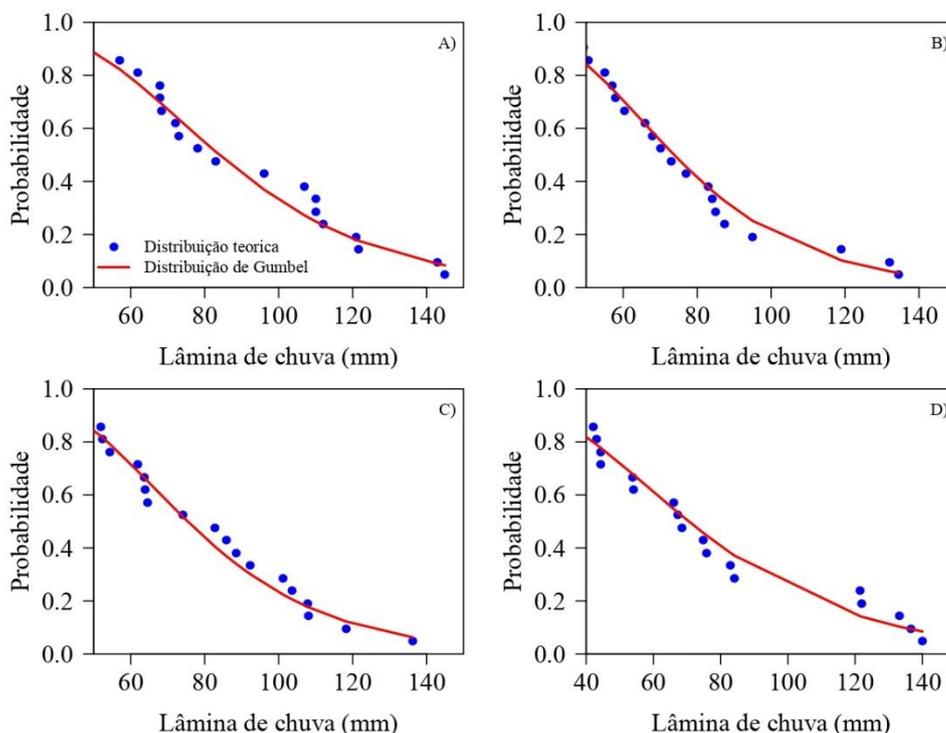


Figura 2 - Distribuição de frequência teórica e de Gumbel para as chuvas máximas diárias nas estações de Brejinho (A), Afogados da Ingazeira (B), Serra Talhada (C) e Floresta (D).

Na Figura 3 é apresentada a dinâmica da chuva máxima provável em função do tempo de retorno para cada estação estudada. As estações pluviométricas localizadas na região central da Bacia

do Rio Pajeú (Afogados da Ingazeira e Serra Talhada) apresentaram dinâmica de chuvas máximas diárias similar. Ademais, observa-se que a estação de Brejinho possui a maior chuva máxima para todos os tempos de retorno estudados, em comparação com as demais estações. Contudo, à medida que o tempo de retorno aumenta, a chuva máxima para a estação de Floresta se aproxima da chuva de Brejinho. Vale salientar que estas estações se encontram nos extremos da Bacia do Rio Pajeú (Brejinho – Alto e Floresta – Baixo), além disso, apesar destas estações apresentarem lâmina de chuva média anual distintas, apresentam dinâmica de chuvas máximas prováveis similar, mesmo distantes 200 km (em linha reta).

A associação de uma menor lâmina de chuva anual, com uma maior probabilidade de ocorrência de chuvas intensas (Figura 3), pode comprometer as atividades agropecuárias para a região do Baixo Pajeú, pois a maior parte das chuvas máximas tendem a ser convertidas em escoamento superficial, aumentando o risco de erosão e reduzindo o armazenamento de água no solo (Silva et al., 2019).

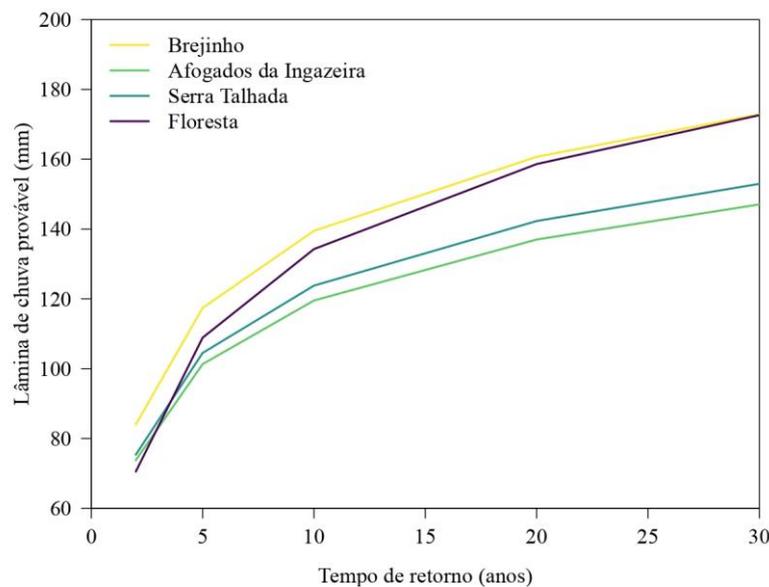


Figura 3 - Dinâmica da chuva máxima provável em função do tempo de retorno, para as quatro estações localizadas na Bacia do Rio Pajeú, Pernambuco.

Na Figura 4 são apresentados os parâmetros ajustados da Equação IDF e as métricas de eficiência do ajuste. Os parâmetros “b” e “c” da equação IDF não variaram entre as estações estudadas. Silva et al. (2012), estudando chuvas intensas no Estado de Pernambuco, também não

encontraram variações significativas para estes parâmetros. O parâmetro “K” foi o que apresentou maior variação entre as estações, comportamento esse também observado por Melo et al. (2003).

Os ajustes da equação IDF podem ser considerados satisfatórios, uma vez que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) está acima de 0,97, o coeficiente NSE acima de 0,70 e a porcentagem do erro (PBIAS) menor do que 1% (Figura 4). Qamar et al. (2017) observaram que o ajuste da curva IDF tem um menor desempenho em regiões de menor altitude e de menores índices pluviométricos, sendo observada essa tendência no presente estudo, porém, a piora as métricas de erro para continuaram satisfatórias. Como a qualidade dos ajustes foi satisfatória, foi possível calcular as curvas de intensidade máxima de chuvas com diferentes durações e períodos de retorno (Figura 4). Observa-se que ocorre um decréscimo na intensidade de chuva com o aumento do tempo de duração da chuva, e esse comportamento é característico de chuvas intensas, onde a intensidade tende a decrescer com o aumento da duração da chuva.

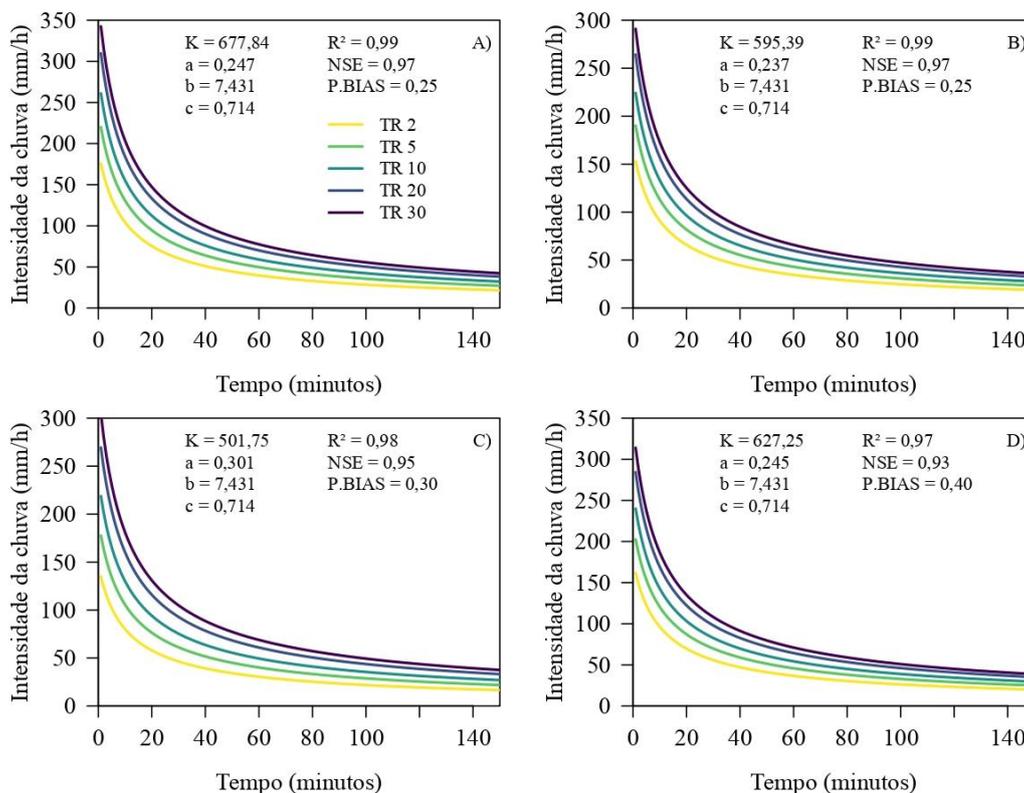


Figura 4 - Curvas de intensidade-duração-frequência para as estações de Brejinho (A), Afogados da Ingazeira (B), Serra Talhada (C) e Floresta (D), localizadas na Bacia do Rio Pajeú

Para um mesmo período de retorno, as curvas de intensidade variaram em ordem decrescente das estações de Brejinho, Floresta, Serra Talhada e Afogados da Ingazeira, respectivamente. Levando-se em conta apenas a intensidade de chuva, a qual possui forte associação com o potencial erosivo da chuva (Rodrigues e Araújo, 2019), pode-se esperar um maior risco a erosão para as regiões do Alto e Baixo Pajeú. Tal situação é agravada quando ocorre a remoção da vegetação nativa para implantação de atividades agropecuárias (Silva et al., 2019).

As diferenças encontradas entre os parâmetros da equação IDF e as curvas de intensidade de precipitação, contribuem para reforçar a necessidade de obtenção de equações de chuvas intensas para cada localidade de interesse. Também é importante salientar que as curvas IDF podem ser consideradas uma propriedade macrorregional (Rodrigues e Araújo, 2009). Assim, pode-se utilizar uma curva para representar uma região que não possua postos pluviométricos.

## **CONCLUSÕES**

As regiões do alto e baixo Pajeú, apesar de apresentarem médias pluviométricas distintas, são regiões que tendem à ocorrência de chuvas intensas similares.

As equações de intensidade-duração-frequência (IDF) apresentaram ajustes satisfatórios para todas as localidades analisadas da Bacia do Rio Pajeú (Brejinho, Afogados da Ingazeira, Serra Talhada e Floresta). Assim, pode ser usada para embasa o planejamento e a gestão dos recursos hídricos para estas.

O parâmetro “K” da equação IDF, representa o coeficiente mais sensível à variações em função da localidade.

## **AGRADECIMENTOS**

A Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) pela disponibilidade dos dados de chuva para o Estado de Pernambuco e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado do primeiro autor, no início do curso. Ao CNPq pelas bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ do segundo e quarto autores, e pelo financiamento do Projeto do Edital Universal Processo 431980/2018-7. À FACEPE pelo fomento do consórcio UNIVERSITAS (APQ 0300-5.03/17).

## **REFERÊNCIAS**

- CARDOSO, C.O.; ULLMANN, M.N. BERTOL, I. (1998). *Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC)*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22(1), pp.131-140.
- CETESB. (1986). *Drenagem Urbana: manual de projeto*. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 464 p.
- LOO, Y.Y.; BILLA, L.; SINGH, A. (2015). *Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia*. Geoscience Frontiers, 6(6), pp. 817-823.
- MELLO, C.D.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, M.S. (2003). *Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27(5), pp. 925-933.
- NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. (1970). *River flow forecasting through conceptual models: Part I - A discussion of principles*. Journal of Hydrology, 10(3), pp. 282-290.
- PEREIRA, D. C.; DUARTE, L.R.; SARMENTO, A.P. (2017). *Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri-Goiás*. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 13(2), pp. 1-10.
- Pfafstetter, O. (1958). *Chuvas intensas no Brasil*. 2.ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 426 p.
- QAMAR, M.U.; AZMAT, M.; SHAHID, M.A.; GANORA, D.; AHMAD, S.; CHEEMA, M. J. M.; KHAN, M. I. (2017). *Rainfall extremes: a novel modeling approach for regionalization*. Water resources management, 31(6), pp.1975-1994.
- RODRIGUES, G.P.; ARAÚJO, J.C. (2019). *Comportamento de chuvas intensas para bacia em região semiárida de Caatinga preservada*. Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária), 14(3), pp. 6138-6145.
- SILVA, B.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, F.D.; ARAÚJO FILHO, P. D. (2012). *Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 17(3), pp. 135-147.
- SILVA, J.R.I.; SOUZA, R.M.S.; SANTOS, W.A.; ALMEIDA, A.Q.; SOUZA, E.S.; ANTONINO, A. C. D. (2017). *Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro*. Revista Scientia Plena, 13(10), pp. 1-10.
- SILVA, J.R.I.; SOUZA, E.S.; SOUZA, R.; SANTOS, E.S.; ANTONINO, A.C.D. (2019). *Efeito de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida*. Revista Engenharia na Agricultura, 27(3), pp. 272-283.
- SILVA NETO, V.L.; VIOLA, M.; RÊGO, P.L.; OLIVEIRA, A.; SILVA, L. (2016). *Relação Intensidade-duração-frequência (IDF) para precipitação Extrema em Guaraí-TO*. Enciclopédia Biosfera, 13(23), pp. 1146-1154.
- SILVA NETO, V.L.D.; VIOLA, M.R.; SILVA, D.D.D.; MELLO, C.R.D.; PEREIRA, S.B.; GIONGO, M. (2017). *Daily rainfall disaggregation for Tocantins State, Brazil*. Revista Ambiente & Água, 12(4), pp. 605-617.
- SILVA NETO, V.L.; VIOLA, M.R.; MELLO, C.R.; ALVES, M.V.G.; SILVA, D.D.; PEREIRA, S. B. (2020). *Mapeamento de Chuvas Intensas para o Estado do Tocantins*. Revista Brasileira de Meteorologia, 35(1), pp.1-11.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245 p.
- TORRICO, J.J.T. (1974). *Práticas hidrológicas*. Rio de Janeiro: Transcon, 119 p.