

Estimação de nível de retorno da precipitação máxima diária no município de Jataí, Goiás

Return level of estimation of maximum daily precipitation in the municipality of Jataí, Goiás

Elias Silva de Medeiros^I
 Marcos Antônio Alves^{II}
 Sidnei Azevedo de Souza^{III}

Resumo

Este estudo teve como objetivo determinar estimativas dos níveis de retorno da precipitação máxima diária no município de Jataí, estado do Goiás, por meio da teoria dos valores extremos. Para isto foi considerado um conjunto de dados obtido a partir da estação meteorológica da cidade, compreendendo o período de 1979 a 2017. Os resultados descritivos indicaram que os meses do primeiro e quarto trimestre do ano apresentam os maiores índices da precipitação máxima diária. Por meio do teste da razão de verossimilhanças, notou-se que a distribuição Gumbel é preferível em relação a GEV para modelar os dados de precipitação. Além disso, observou-se que março é o mês que apresenta os maiores níveis de retorno da variável em questão, com valores entre 71,07 mm a 87,19 mm em um período médio de 5 anos. Adicionalmente, foram determinadas as estimativas dos níveis de retorno para períodos variando de 2 a 100 anos. Os resultados apresentados podem auxiliar os órgãos responsáveis pelo planejamento estratégico na região de Jataí buscando prevenir os danos causados por chuvas extremas em áreas urbanas e no setor da produção agrícola.

Palavras-chave: Chuvas extremas. Distribuição Gumbel. Desastres ambientais.

Abstract

This study aimed to estimates of the return levels of maximum daily precipitation in the municipality of Jataí, state of Goiás, through the extreme values theory. For this purpose, it was considered a data set obtained from the meteorological station of the city, comprising the period from 1979 to 2017. The descriptive results indicated that the months of the first and fourth quarter of the year present the highest rates of daily maximum precipitation. For the likelihood ratio test, it was noted that the Gumbel distribution is preferable against the GEV to model precipitation data. In addition, it was observed that March is the month that presents the highest rainfall return of the variable in question, with values between 71.07 mm and 87.19 mm in an average period of 5 years. Additionally, the estimates were determined of return levels for periods ranging from 2 to 100 years. The results presented may help the government agencies responsible for strategic planning in the Jataí region, seeking to prevent damage caused by extreme rainfall in urban areas as well as in the agricultural production sector.

Keywords: Extreme rainfall. Gumbel distribution. Environmental disasters.

^I Professor adjunto da Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil - eliasestatistica@gmail.com

^{II} Doutorando da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil - m.voicer@gmail.com

^{III} Professor adjunto da Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil - SidneiAzevedo@ufgd.edu.br

1 Introdução

Nos últimos anos, pesquisas envolvendo avaliação de eventos extremos, em especial dados de precipitação pluviométrica, têm ganhado notoriedade na comunidade científica. Entende-se por precipitação a entrada de água no ciclo hidrológico (NASCIMENTO; JESUS, 2017) cujas informações são de grande importância para nortear o planejamento e a execução das atividades realizadas pelo homem (FRANCO et al., 2018). É sabido, que episódios de precipitação pluvial fazem parte da variabilidade climática natural de áreas tropicais, porém “tanto em excesso como em escassez causam grandes transtornos ambientais e socioeconômicos” (SANTOS et al., 2018).

Precipitação máxima, por sua vez, torna a população vulnerável ao comportamento e à variabilidade do sistema climático. Dadas a intensidade e a duração das chuvas e considerando a magnitude desses eventos, pode-se associar que quanto mais intenso menor a sua probabilidade de ocorrência (COELHO FILHO; MELO; ARAÚJO, 2017). Contudo, os resultados desses eventos de chuva intensa causam diversos transtornos e são irreparáveis para a sociedade (ANDRADE; PINHEIRO; DOLIF NETO, 2015). Pesquisas anteriores enfatizaram os inúmeros problemas e os riscos associados à intensidade das chuvas na bacia do córrego no município de Jataí, Goiás (MARIANO; ROCHA; PINTO, 2012), e no município de Colatina, Espírito Santo (PINTO et al., 2017). Nessa última, os autores ainda reportaram que nos períodos com maiores volumes de chuvas, as chances de ocorrência de um alerta de inundação aumentaram consideravelmente.

Com o objetivo de fornecer previsões mais acuradas, muitos pesquisadores têm se baseado nas diversas distribuições de probabilidades as quais podem ser empregadas para a modelagem de eventos extremos para diferentes períodos de tempo em todo o Brasil. Beijo et al. (2005) avaliaram o tempo de retorno da precipitação diária máxima no município de Lavras, Minas Gerais, para tempos de retorno entre 2 e 75 anos utilizando a distribuição de valores extremos tipo I (Gumbel). Nesse trabalho, os autores verificaram que o método de estimação da máxima verossimilhança produziu estimativas adequadas para os parâmetros da distribuição Gumbel. Santos et al. (2014) por meio do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) evidenciaram que a distribuição Gumbel foi adequada para modelar a precipitação diária anual no município de Mossoró, Rio Grande do Norte, com base em uma série histórica de 48 anos. Os autores indicaram ajuste logarítmico satisfatório, embora não tenham sido realizadas verificações na aleatoriedade das observações. Coelho Filho et al. (2017) utilizaram as distribuições de Gumbel e Generalizada de Valores Extremos (GEV) em um estudo de chuvas intensas no município de Goiânia, Goiás, considerando tempos de retorno de 2 a 1000 anos. Os resultados apontaram que os quantis estimados não apresentaram variações significativas para períodos menores que 25 anos e desvio médio de 18,03% para retornos de 1000 anos. Entretanto, os autores não construíram testes de hipóteses para in-

vestigar a significância das estimativas dos parâmetros da distribuição GEV, sendo essa análise de fundamental importância para determinar qual a melhor distribuição para a série de dados observada. Evangelista et al. (2018) realizaram um estudo para estimar a precipitação máxima anual na Sub-Região Hidrográfica Tocantins 08 com base nas distribuições Gumbel e Pearson tipo III, corroborada pelo teste K-S, indicando que a distribuição Gumbel foi a mais apropriada para modelar eventos extremos de precipitação máxima mensal na região de Cacoal, Rondônia.

Tais pesquisas mencionadas indicam que um bom ajuste de uma distribuição aos dados de precipitação de uma região possibilita compreender tanto os padrões da distribuição das chuvas quanto a quantidade prevista para esta. A determinação das estimativas de probabilidade, em relação às vazões máximas em corpos hídricos que podem resultar em grandes enchentes, podem ser utilizadas como uma ferramenta no controle de inundações por parte dos programas de gestão de risco (PINTO et al., 2017).

Tendo em vista a grande importância do conhecimento das estimativas dos níveis de precipitação para diversos períodos de retorno, este estudo tem por objetivo analisar e modelar dados da precipitação máxima diária para a região de Jataí, que possui forte participação na produção agrícola do estado de Goiás. Pesquisas, como esta, podem auxiliar o planejamento estratégico com o intuito de reduzir os impactos causados pelas inundações em áreas urbanas e as perdas na produção agrícola e animal, os quais são causados pelos eventos extremos de precipitação. Adicionalmente, até o presente momento são escassas as pesquisas na literatura focadas em modelagens probabilísticas de eventos extremos para a região em estudo. Para alcançar o objetivo geral, buscou-se responder os seguintes questionamentos: 1) Quais os meses que apresentam os maiores níveis de precipitação diária?; 2) Qual o modelo probabilístico mais adequado para cada série mensal, GEV ou Gumbel?; 3) Quais as estimativas para os diferentes períodos de retorno?

2 Material e Métodos

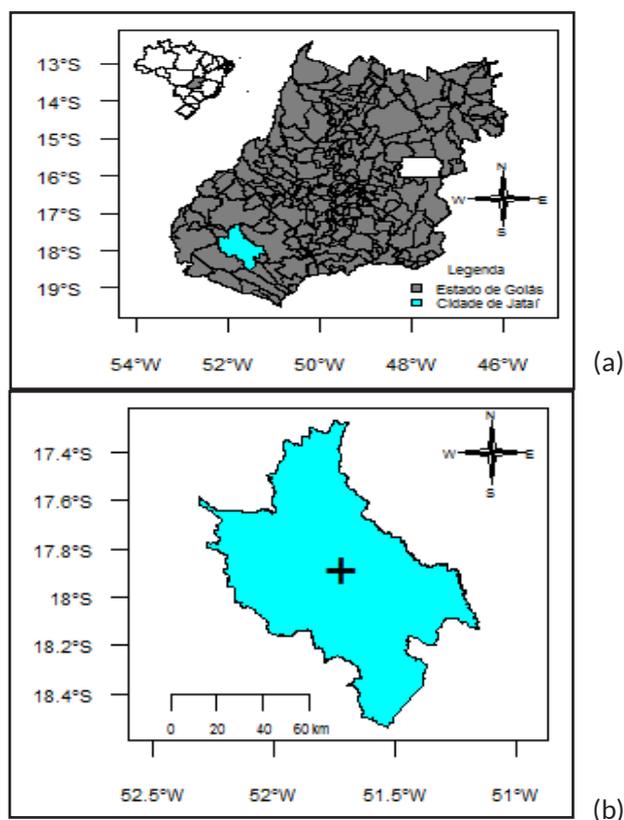
2.1. Área de estudo e base de dados

O município de Jataí possui uma área territorial de 7.174 km², localiza-se no sudoeste do estado de Goiás (GO), Brasil, e conta com uma população próxima de 100.000 habitantes (IBGE, 2010). De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o clima tropical mesotérmico da região, segundo a classificação de Köppen (KOTTEK, MARKUS; GRIESER et al., 2006), possui duas estações bem definidas com um regime diferente de chuvas, com maior índice pluviométrico entre outubro e março (INMET, 2018).

Esta pesquisa considerou os dados de precipitação pluviométrica diária obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET, 2018) a partir da estação meteorológica localizada no município Jataí, referente a uma série histórica de 39 anos (1979 a 2017). Dentro de cada mês foi extraída uma única

observação referente ao valor máximo. Por exemplo, em janeiro de um dado ano, havia 31 registros da precipitação diária, em que foi extraído o valor máximo dentre esses registros. Isso foi repetido para todo o período da série. Dado que cada mês apresenta suas próprias características, foram propostos 12 conjuntos de dados, um para cada mês. Sendo assim, cada conjunto de dados apresentou 39 observações. A Figura 1 ilustra a localização geográfica de Jataí dentro do estado de Goiás, e da estação pluviométrica.

Figura 1 – Mapa da localização espacial do município de Jataí, Goiás, (a) e de sua estação pluviométrica indicada pelo símbolo “+” (b)



2.2. Análise exploratória

A análise exploratória dos dados foi realizada por meio da construção de gráficos (Boxplot) e das medidas de posição central e de dispersão. Para determinar o nível de assimetria dos dados, foi utilizado o coeficiente de assimetria. Com o intuito de verificar a aleatoriedade dos dados, foram aplicados os testes *Wald-Wolfowitz* (RAI et al., 2013) e de *Ljung-Box* (LJUNG; BOX, 1978), os quais têm sob as hipóteses nulas a existência de estacionariedade e independência, respectivamente. Nesses testes, para rejeitar H_0 ou não foi adotado o nível de 0,01 de significância.

2.3. Distribuições GEV e Gumbel

Para cada série histórica foram ajustadas as distribuições de probabilidades GEV e Gumbel. A seguir, é

apresentada a função de distribuição acumulada para cada uma dessas funções, respectivamente:

$$F_X(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\} \quad (1)$$

$$F_X(x) = \exp \left\{ \exp \left[- \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

Na distribuição GEV (Equação (1)), quando o parâmetro de forma, $\xi \in \mathfrak{R}$, tende a zero, o resultado tende à distribuição Gumbel (Equação (2)). Os termos $\mu \in \mathfrak{R}$ e $\sigma > 0$ representam os parâmetros de locação e de escala, respectivamente. Para determinar as estimativas dos parâmetros, foi utilizado o método da máxima verossimilhança.

Após ajustadas as distribuições de probabilidade, o próximo passo consistiu em determinar qual distribuição deveria ser escolhida para modelar os dados de PMD mensal. Para isso, foi aplicado o teste da razão de verossimilhanças modificado. Primeiramente, a estatística dos testes da razão de verossimilhanças (*TLR*) é denotado pela expressão $TLR = -2[l(\hat{\theta}_G) - l(\hat{\theta}_{GEV})]$. Na *TLR*, as quantidades $l(\hat{\theta}_G)$ e $l(\hat{\theta}_{GEV})$ representam o logaritmo da função de máxima verossimilhança das funções Gumbel e GEV, respectivamente. Entretanto, para pequenas amostras, Hosking (1984) propôs a estatística *TLR* modificada, $TRL^* = (1 - 2,8/n) \cdot TLR$. Na TRL^* , n representa a quantidade de observações na série em estudo. O valor da estatística TRL^* é então comparado com o quantil da distribuição Qui-quadrado com 1 grau de liberdade e 0,01 de significância, $\chi^2_{(1;0,01)} = 6,635$. A hipótese nula desse teste consistiu em $H_0: \xi = 0$. Assim, quando a $TRL^* < 6,635$, não se rejeitou a hipótese nula, indicando que a distribuição Gumbel é preferível em relação à GEV para modelar a série de dados.

Com uma distribuição de probabilidade ajustada, aplicou-se o teste *K-S*, para avaliar se a distribuição em questão modelava adequadamente os dados (MARSHALL; OLKIN, 2007). A estatística desse teste consiste no valor máximo da diferença absoluta entre a distribuição teórica e a empírica. O valor dessa estatística é então comparado com o valor crítico D ao nível de 0,01 de significância, $D_{n;0,01} = 1,63/\sqrt{n}$ (MARSAGLIA; TSANG; WANG, 2003). Nesse artigo, cada série foi constituída de 39 observações, logo $D_{39;0,01} = 1,63/\sqrt{39} = 0,261$. Assim, quando a estatística D foi inferior a $D_{39;0,01}$ não se rejeitou a hipótese de que a distribuição ajustada é adequada para modelar a série de dados.

2.4. Período e nível de retorno

Obtidas as estimativas de máxima verossimilhança para os parâmetros das distribuições GEV (Equação (1)) e Gumbel (Equação (2)), os níveis de retorno são calculados pelas expressões:

$$x_p = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\xi} \{1 - [-\ln(1-p)]^{-\xi}\}, & \xi \neq 0 \\ \mu - \sigma \{ \ln[-\ln(1-p)] \}, & \xi = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Na Equação (3), para determinar estimativas para os níveis de retorno (\hat{x}_p) associadas com o período de retorno em $1/p$ anos, os parâmetros μ , σ e ξ foram substituídos pelas estimativas dos seus respectivos estimadores, as quais foram obtidas pelo método da máxima verossimilhança. Adicionalmente, foram construídos intervalos assintóticos ao nível de 95% de confiança para os níveis de retorno (GILLELAND; KATZ, 2016).

Nesse artigo foram determinadas as estimativas da precipitação máxima diária em diferentes períodos de retorno. Para a validação dessas estimativas, foi proposto estudo da comparação entre os níveis de retorno empírico e os níveis de retorno obtidos pela Equação (3). Os níveis de retorno empíricos, para cada série da precipitação máxima diária, foram obtidos considerando a estatística de ordem $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$. A distribuição empírica avaliada em $x_{(i)}$ é dada por $\tilde{G}(x_{(i)}) = \frac{i}{n+1}$ (COLES et al., 2001). Na Equação (3), pode-se fazer, $1-p = \frac{i}{n+1}$ sendo o i -ésimo período de retorno dado por $(\frac{i}{n+1})^{-1}$ anos, o qual é associado ao nível de retorno. Os níveis de retorno teórico e empírico foram obtidos para períodos de retorno variando de dois a dez anos. Após determinados esses valores, foi realizada a comparação por meio das estatísticas: raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio absoluto (MAE).

2.5. Análise computacional

As análises estatísticas foram todas realizadas no software R (R CORE TEAM, 2018). Para realizar o teste de estacionariedade foi utilizada a biblioteca *trend* (POHLERT, 2018). A biblioteca *extRemes* (GILLELAND; KATZ, 2016) foi utilizada para ajustar os modelos de probabilidades GEV e Gumbel, realizar o teste *TLR** e calcular os níveis de retorno. O teste *K-S* serviu para verificar a adequabilidade e foi realizado por meio da biblioteca *reliaR* (KUMAR; LIGGES, 2011).

3 Resultados

Na Figura 2, tem-se o gráfico de boxplot de todos os meses para a precipitação pluviométrica máxima diária,

compreendendo o período de 1979 a 2017. Por meio desta figura é possível observar que os meses que englobam o primeiro trimestre (janeiro, fevereiro e março) e o quarto trimestre (outubro, novembro e dezembro) apresentaram os maiores índices de precipitação máxima diária. Nota-se ainda uma aparente presença de assimetria positiva e, por meio do coeficiente de variação, uma alta variabilidade para todos os meses.

Esses indicativos estão de acordo com os resultados apresentados por Mariano et al. (2012) cuja pesquisa revelou que a região de Jataí é caracterizada por apresentar alta variabilidade temporal da precipitação, com os maiores números de dias de chuvas ocorrendo nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro e com menor quantidade nos meses de maio, junho e setembro.

No período em estudo, em um único dia no mês de fevereiro de 1979 choveu o acumulado de 161,30 mm, como apresentado na Tabela 1. Observa-se ainda que os meses que constituem o primeiro e o quarto trimestres do ano apresentaram os maiores volumes de precipitação, com relação ao nível máximo diário, seguidos da presença de valores elevados para o desvio padrão, com exceção de novembro. O mês de março apresentou o maior desvio padrão, com valores em que o acumulado diário varia entre 27,20 mm e 151,40 mm de precipitação e com um coeficiente de assimetria de 1,46. Esses dados fornecem evidências para a necessidade de um modelo probabilístico adequado, a fim de prever o nível de retorno dos meses com maior precipitação, que são janeiro a março e outubro a dezembro. Esses meses correspondem ao período chuvoso da região em estudo (SILVA; MARIA-NO; SCOPEL, 2007).

Para verificar as suposições de estacionariedade e de independência na série, foram aplicados os testes de *Wald-Wolfowitz* e *Ljung-Box*, respectivamente (Tabela 2). Para todos os meses, os valores desses dois testes foram superiores ao nível de significância adotado de 0,01. Esses valores apontam fortes evidências à não rejeição das hipóteses de estacionariedade e de independência da série mensal das observações. Por meio da estatística tem-se que, para todos os meses, o valor-p foi inferior ao nível de 0,01 de significância, indicando que é preferível a distribuição Gumbel à GEV, para modelar a precipitação máxima diária.

Figura 2 – Boxplot da precipitação máxima (mm) em Jataí, Goiás, no período de 1979 a 2017

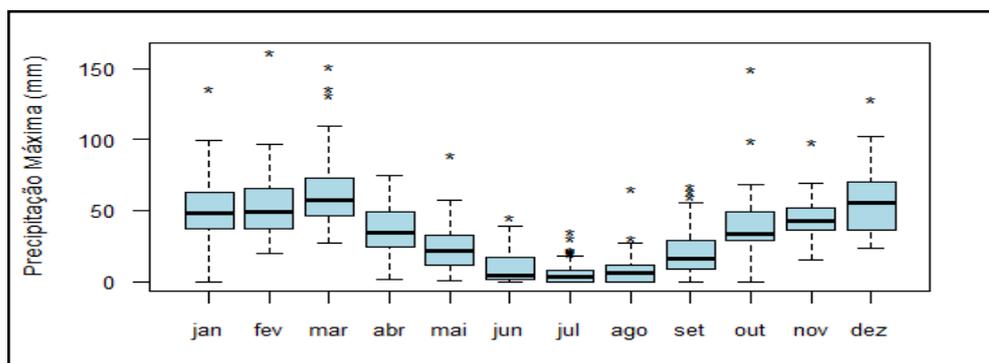


Tabela 1 – Medidas descritivas para cada mês da precipitação máxima em Jataí, Goiás, no período de 1979 a 2017

| Mês | Tamanho | Mínimo | Máximo | Média | Mediana | Desvio Padrão | Coefficiente de Assimetria | Coefficiente de Variação |
|-----------|---------|--------|--------|-------|---------|---------------|----------------------------|--------------------------|
| Janeiro | 39 | 0,00 | 135,60 | 51,50 | 47,90 | 25,06 | 0,87 | 48,66% |
| Fevereiro | 39 | 19,40 | 161,30 | 55,09 | 49,40 | 26,61 | 1,74 | 48,30% |
| Março | 39 | 27,20 | 151,40 | 62,69 | 57,30 | 28,56 | 1,46 | 45,56% |
| Abril | 39 | 1,20 | 74,40 | 36,67 | 34,70 | 19,32 | 0,23 | 52,69% |
| Maio | 39 | 0,90 | 89,70 | 24,16 | 21,30 | 18,10 | 1,25 | 74,92% |
| Junho | 39 | 0,00 | 45,50 | 10,67 | 4,00 | 13,15 | 1,19 | 123,24% |
| Julho | 39 | 0,00 | 35,60 | 6,48 | 3,00 | 9,28 | 1,57 | 143,21% |
| Agosto | 39 | 0,00 | 65,30 | 9,19 | 6,40 | 12,60 | 2,45 | 137,11% |
| Setembro | 39 | 0,00 | 67,50 | 22,05 | 15,60 | 17,78 | 1,07 | 80,63% |
| Outubro | 39 | 0,00 | 149,20 | 40,64 | 33,30 | 25,11 | 2,28 | 61,79% |
| Novembro | 39 | 15,20 | 98,00 | 45,07 | 43,00 | 15,72 | 0,88 | 34,88% |
| Dezembro | 39 | 23,60 | 128,40 | 55,12 | 55,20 | 24,15 | 0,75 | 43,81% |

Tabela 2 – Valores do tamanho amostral (n), Valores p do teste de Wald-Wolfowitz (p_{WW}) e do teste Ljung-Box (p_{LB}), estimativas do parâmetro de forma da GEV e o teste da Razão de Verossimilhanças modificado (λ) seguido do valor- p (p_{TLR^*}) para os meses do primeiro e quarto trimestres da precipitação máxima em Jataí, Goiás, no período de 1979 a 2017

| Mês | n | p_{WW} | p_{LB} | Parâmetro de forma (GEV) | | | TRL^* | p_{TLR^*} |
|-----------|-----|----------|----------|--------------------------|------------|----------|---------|-------------|
| | | | | LI (95%) | Estimativa | LS (95%) | | |
| Janeiro | 39 | 0,57 | 0,49 | -0,26 | -0,09 | 0,07 | 0,96 | 0,33 |
| Fevereiro | 39 | 0,72 | 0,79 | -0,11 | 0,13 | 0,37 | 1,31 | 0,25 |
| Março | 39 | 0,86 | 0,99 | -0,09 | 0,19 | 0,46 | 2,23 | 0,14 |
| Outubro | 39 | 0,88 | 0,95 | -0,10 | 0,05 | 0,21 | 0,50 | 0,48 |
| Novembro | 39 | 0,03 | 0,22 | -0,26 | -0,07 | 0,11 | 0,48 | 0,49 |
| Dezembro | 39 | 0,31 | 0,24 | -0,31 | 0,02 | 0,35 | 0,02 | 0,49 |

Para verificar a adequabilidade da distribuição Gumbel a cada série de dados, foi calculada a estatística D do teste K-S. Pesquisas anteriores como a de Santos et al. (2014) e Evangelista et al. (2018) obtiveram resultados positivos com a utilização desse teste para verificar a adequabilidade de ajuste dos modelos, bem como indicar a distribuição Gumbel apropriada, para modelar eventos extremos de precipitação máxima mensal. De acordo com esses autores, identificar o tipo de distribuição de

probabilidade seguida da obtenção das estimativas dos parâmetros é de fundamental importância para determinar os valores preditos dos níveis de retorno da precipitação em diferentes períodos de retorno.

Na Tabela 3, são apresentadas as estimativas dos parâmetros da distribuição Gumbel, bem como os resultados do teste K-S. Nota-se que em cada série mensal o valor da estatística D foi inferior ao valor crítico $D_{39;0,01} = 0,261$, indicando que o modelo pode ser aplicado à série.

Tabela 3 – Estimativas dos parâmetros μ e σ da distribuição Gumbel e os resultados do teste K-S para a qualidade do ajuste da Gumbel para os meses do primeiro e quarto trimestres da precipitação máxima em Jataí, Goiás, no período de 1979 a 2017

| Mês | $\hat{\mu}$ | $\hat{\sigma}$ | $var(\hat{\mu})$ | $var(\hat{\sigma})$ | $cov(\hat{\mu}, \hat{\sigma})$ | Teste K-S | |
|-----------|-------------|----------------|------------------|---------------------|--------------------------------|-------------|-------|
| | | | | | | Estatística | Valor |
| Janeiro | 40,04 | 21,39 | 13,10 | 6,35 | 2,95 | 0,12 | 0,59 |
| Fevereiro | 44,13 | 17,82 | 8,93 | 5,30 | 2,04 | 0,10 | 0,79 |
| Março | 50,84 | 18,86 | 9,97 | 6,12 | 2,27 | 0,09 | 0,89 |
| Outubro | 30,88 | 16,44 | 7,59 | 4,03 | 1,63 | 0,16 | 0,30 |
| Novembro | 37,91 | 13,01 | 4,83 | 2,46 | 1,11 | 0,08 | 0,96 |
| Dezembro | 44,08 | 18,86 | 10,13 | 5,86 | 2,43 | 0,10 | 0,83 |

Após verificar a adequabilidade do modelo probabilístico de Gumbel aos dados e a obtenção das estimativas dos parâmetros, o próximo passo foi obter os níveis de retorno da precipitação máxima diária dos meses em estudo, considerando diferentes períodos de retorno. A comparação dos níveis de retorno empírico e teórico, para períodos de no máximo 10 anos, utilizando as métricas *RMSE*, R^2 e *MAE* são dadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação dos níveis de retorno empírico e teórico para períodos de no máximo 10 anos por meio do *RMSE*, R^2 e *MAE*

| Medidas | Mês | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Jan | Fev | Mar | Out | Nov | Dez |
| RMSE | 4,62 | 8,84 | 9,13 | 10,35 | 2,80 | 3,95 |
| R^2 | 96,51% | 92,50% | 94,19% | 85,55% | 96,82% | 98,17% |
| MAE | 3,26 | 3,61 | 4,22 | 4,63 | 1,77 | 3,22 |

Por meio da Tabela 4 é possível perceber que o modelo Gumbel mostrou-se satisfatório para determinar os níveis de retorno de precipitação. Entre os meses apresentados, outubro apresentou o maior *RMSE*, 10,35 mm, para períodos de retorno de até 10 anos. Uma explicação possível é que esse mês apresentou os valores de mínimo e máximo muito distantes (Figura 2) e uma alta variabilidade evidenciada por meio de um coeficiente de variação de 61,79% (Tabela 1).

Na Tabela 5, são apresentadas as estimativas dos níveis de retorno da precipitação máxima diária para os períodos de 5, 10 e 50 anos. Os resultados indicam que o mês de março apresentou os maiores níveis de retorno da precipitação máxima diária. Por exemplo, em um período médio de 5 anos, espera-se que em um único dia de março seja registrado, com 95% de confiança, um nível de precipitação entre 71,07 mm a 87,19 mm, com um valor médio de 79,13 mm.

Para complementar a Tabela 5, o comportamento

dos níveis de retorno para diferentes períodos (entre 2 e 50 anos), acompanhados dos limites inferiores e superiores do intervalo com 95% de confiança foram representados na Figura 3. Com base nessa figura, é possível perceber que para o mês de janeiro, o valor predito da precipitação máxima diária, para um período de retorno de 100 anos, esteja entre 116,96 e 159,96 mm. Contudo, vale salientar que havia apenas a disponibilidade de informação para 39 anos, fazendo com que as estimativas para períodos de retorno superior a este sejam seguidas de grandes margens de erro.

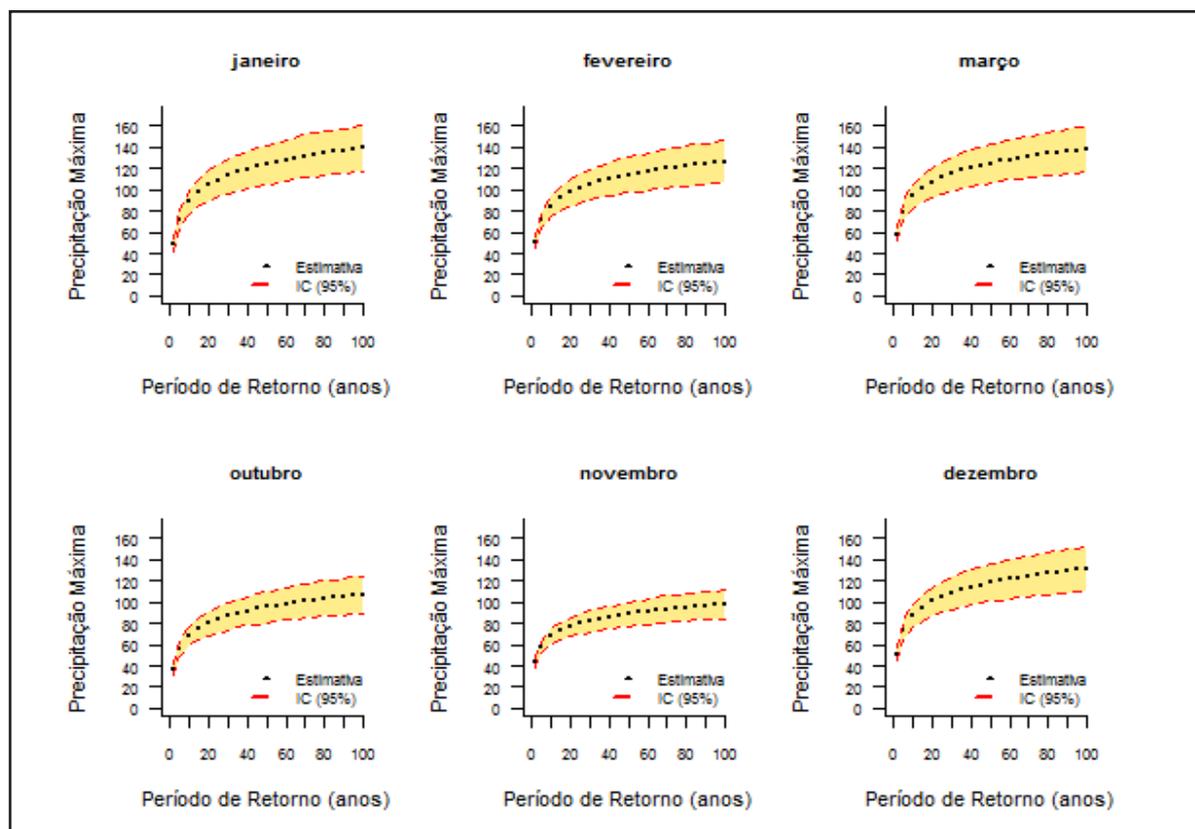
Oliveira et al. (2008) analisaram a precipitação máxima anual em diferentes estações pluviométrica do estado de Goiás. Após ajustarem a distribuição Gumbel aos dados, as estimativas obtidas por meio desse modelo, para um período de retorno de 50 anos, variam de 134,00 mm a 203,20 mm nas estações de Campo Alegre de Goiás e Pires do Rio, respectivamente. Para o conjunto de dados da estação de Jataí, foi determinada uma estimativa de 124,43 mm de precipitação pluviométrica no mês de março para um retorno de 50 anos. Vale salientar que os autores supracitados não levaram em consideração as características particulares da precipitação máxima diária de cada mês, não sendo assim possível a comparação imediata com os resultados obtidos nesse artigo.

Sabe-se que os altos índices de precipitação diária podem ocasionar chuvas intensas, podendo afetar direta e indiretamente toda a população em uma determinada região. As estimativas da precipitação em diferentes períodos de retorno podem ser úteis para auxiliar os profissionais envolvidos com o planejamento e execução de projetos de estruturas hidráulicas, tomar decisões em controle de inundações (FRANCO et al., 2018; PINTO et al., 2017). Com isso, podem-se evitar alagamentos, perdas na produção agrícola e animal e outros impactos negativos. Adicionalmente, as estimativas desses eventos extremos, baseadas em modelos probabilísticos, contribuem para que políticas públicas venham a ser instaladas com o intuito de colaborar no planejamento das atividades humanas.

Tabela 5 – Estimativas dos níveis de retorno (x_p) e seus respectivos limites inferiores (LI) e limites superiores (LS) considerando um intervalo de 95% de confiança para a precipitação máxima em Jataí, Goiás, para os períodos de retorno de 5, 10 e 50 anos

| Mês | Período de retorno | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|-------|-------|---------|-------|--------|---------|--------|--------|
| | 5 anos | | | 10 anos | | | 50 anos | | |
| | LI | x_p | LS | LI | x_p | LS | LI | x_p | LS |
| Janeiro | 63,69 | 72,13 | 80,57 | 77,10 | 88,19 | 99,27 | 105,26 | 123,52 | 141,77 |
| Fevereiro | 63,34 | 70,86 | 78,39 | 74,13 | 84,24 | 94,35 | 96,84 | 113,68 | 130,51 |
| Março | 71,07 | 79,13 | 87,19 | 82,42 | 93,28 | 104,14 | 106,32 | 124,43 | 142,54 |
| Outubro | 48,82 | 55,54 | 62,26 | 58,97 | 67,87 | 76,77 | 80,34 | 95,02 | 109,71 |
| Novembro | 52,21 | 57,41 | 62,62 | 60,29 | 67,17 | 74,05 | 77,28 | 88,65 | 100,03 |
| Dezembro | 64,52 | 72,37 | 80,21 | 75,99 | 86,52 | 97,05 | 100,09 | 117,67 | 135,24 |

Figura 3 – Precipitação máxima diária (mm) estimada pela distribuição Gumbel (pontos pretos), seguida dos intervalos de 95% de confiança (linha tracejada vermelha), para diferentes níveis de retorno no município de Jataí, Goiás



4 Conclusões

As análises realizadas permitiram concluir que as amostras das séries de precipitação pluviométrica máxima diária são estacionárias e independentes. A distribuição de Gumbel mostrou-se mais adequada para descrever o comportamento de cada série de dados. Os níveis de retorno nos diferentes períodos de tempo foram estimados para períodos de até 100 anos. Entretanto, a disponibilidade de apenas 39 anos de dados faz com que as estimativas para períodos de retorno maiores que este sejam seguidas por grandes margens de erro. Assim, para períodos longos, como aqueles entre 50 e 100 anos descritos nesse trabalho, sugere-se constante observação do projetista ou o órgão responsável para que possa utilizar estes novos dados e refinar os resultados com o modelo de previsão apresentado.

Com essas estimativas é possível obter um planejamento municipal mais eficiente, pois fornece informações que permitem prevenir danos causados por chuvas intensas em um único dia, as quais podem resultar em inundações em área urbanas e afetar o planejamento agrícola numa região que possui positiva participação na produção.

Por fim, recomenda-se que em estudos futuros sejam analisadas mais estações meteorológicas com o intuito de uma melhor modelagem da variabilidade da precipitação não apenas em Jataí, mais em uma região maior ou até mesmo em todo o estado.

Agradecimentos

Os autores agradecem as agências de fomento Capes e CNPq.

Referências

- ANDRADE KM, PINHEIRO HR, DOLIF NETO G. Evento extremo de chuva no Rio de Janeiro: análise sinótica, previsão numérica e comparação com eventos anteriores. *Ciência e Nat.* 2015;37:175–180.
- BEIJO LA, MUNIZ JA, CASTRO NETO P. Tempo de retorno das precipitações máximas em lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo I. *Ciência e Agrotecnologia.* 2005;29:657–667.
- COELHO FILHO JAP, MELO DC DE R, ARAÚJO M DE LM. Intense rainfall study of Goiânia/GO by modeling maximum annual events using Gumbel and Generalized Extreme Value distributions. *Ambiência.* 2017;13:75–88.
- COLES S, BAWA J, TRENNER L, DORAZIO P. An introduction to statistical modeling of extreme values. *Springer*, 2001.

- EVANGELISTA JO, NOVAIS K, EPIFANIO G. Distribution of hydrological probability of precipitation for sub-region hydrographic Tocantins 08 in the State of Pará. **Rev GEONORTE**. 2018;9:107-122.
- FRANCO C, MARQUES RF DE PV, OLIVEIRA LFC DE, SILVA AM. Aplicabilidade e ajuste da distribuição Log-Normal a 3 parâmetros em um estudo de precipitação máxima anual na bacia do Rio Verde. **Rev Univ Val Rio Verde**. 2018;16.
- GILLELAND E, KATZ RW. extRemes 2.0: An Extreme Value Analysis Package in R. **J Stat Softw**. 2016;72.
- HOSKING, J.R.M. Testing whether the Shape Parameter is Zero in the Generalized Extreme-Value Distribution. **%LRPHWULND**, v. 71, n. 2, p. 367-374, 1984.
- IBGE. Censo Demográfico 2010: Características da População e dos Domicílios. **Inst Bras Geogr e Estatística**. 2010.
- INMET. INMET [Internet]. **Inst. Nac. Meteorol**. 2018.
- KOTTEK, MARKUS; GRIESER J, BECK C, RUDOLF B, RUBEL F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorol Zeitschrift**. 2006;15:259-263.
- KUMAR V, LIGGES U. reliaR: **Package for some probability distributions**. 2011.
- LJUNG GM., BOX GEP. On a measure of lack of fit in time series models. **Biometrika**. 1978;65:297-303.
- MARIANO Z DE F, ROCHA JRR, PINTO AP. Intensidade das chuvas na bacia do córrego Jataí-GO. **Rev GEONORTE**. 2012;1:1050-1059.
- MARSAGLIA G, TSANG WW, WANG J. Evaluating Kolmogorov's Distribution. **J Stat Softw**. 2003;8.
- MARSHALL AW, OLKIN I. Life Distributions: Structure of Nonparametric, Semiparametric, and Parametric Families [Internet]. New York: **Springer New York**, 2007.
- NASCIMENTO Y DOS S, JESUS JB. Relações intensidade-duração-frequência de precipitações para o município de Tucano, Bahia. **Agropecuária Científica no Semiárido**. 2017;13:302-306.
- OLIVEIRA LFC, ANTONINI JC, FIOREZE AP, SILVA MAS. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Rev Bras Eng Agrícola e Ambient**. 2008;12:620-625.
- PINTO WDP, LIMA GB, MONTE EZ, MONTEBELLER CA. Utilização de técnicas de regressão logística na avaliação de vazões máximas do Rio Doce, no Município de Colatina, ES, Brasil. **Ciência e Nat**. 2017;39:526-538.
- POHLERT T. trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R-Package Version 0.2. 0, 2016. R Core Team (2018); 2018.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing [Internet]. **R A Lang. Environ. Stat. Comput**. 2018.
- RAI RK, UPADHYAY A, OJHA CSP, LYE LM. Statistical Analysis of Hydro-Climatic Variables. **Clim Chang Model Mitigation, Adapt. Reston, VA: American Society of Civil Engineers**. 2013. p. 387-418.
- SANTOS RS DOS, VIEIRA PD, EVANGELISTA DHR, OLIVEIRA LJC, NONATO D. Caracterização de extremos mensais de precipitação em Cacoal (RO). **Rev Bras Climatol**. 2018;22:267-280.
- SANTOS W DE O, MESQUITA F DE O, BATISTA BD DE O, BATISTA RO, ALVES A DE S. Precipitações máximas para o município de Mossoró de 1964 a 2011 pela distribuição de gumbel. **Irriga**. 2014;19:207-213.
- SILVA JS, MARIANO Z DE F, SCOPEL I. A influência do clima urbano na proliferação do mosquito *Aedes aegypti* em Jataí (GO), na perspectiva da geografia médica. **Hygeia**. 2007;3:33-49.