

Análise dos dados de precipitação máxima no noroeste paulista pela teoria dos valores extremos

Analysis of the maximum precipitation data in northwestern São Paulo by theory of extreme values

Análisis de datos de precipitación máxima en el noroeste de São Paulo utilizando la teoría de valores extremos

Recebido: 18/10/2020 | Revisado: 23/10/2020 | Aceito: 26/10/2020 | Publicado: 27/10/2020

Vinicius Affonso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0611-3562>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: vinicius.affonso@unesp.br

Glauca Amorim Faria

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2474-4840>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: glauca.a.faria@unesp.br

Beatriz Garcia Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2605-6443>

Universidade de São Paulo, Brasil

E-mail: beatrizgl@usp.br

Nayra Yumi Tsutsumoto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8410-0716>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Brasil

E-mail: nayra.yumi@ifsp.edu.br

Ariele Daieny da Fonseca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0072-5733>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: ariele.fonseca@unesp.br

Lucas Menezes Felizardo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9676-0623>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: lucas.felizardo@unesp.br

Resumo

A previsão do comportamento de fenômenos extremos torna-se de suma importância para toda população, devido às consequências causadas pelo aquecimento global, o que torna o estudo da Teoria de Valores Extremos (TVE) cada dia mais imprescindível em estudos de variáveis ambientais. Aplicada com a finalidade de descrever o comportamento de eventos raros, tem sido aplicada em meteorologia nas precipitações máximas, temperaturas mínimas, ventos máximos, haja vista que informações do tipo são de grande importância para o planejamento urbano, industrial, agrônômico e políticas públicas mitigadoras de impacto e de desenvolvimento das cidades e da sociedade. Tendo em vista a importância do conhecimento das possíveis precipitações mensais máximas, este trabalho tem como objetivo estimar a probabilidade de precipitação pluvial mensal máxima esperada para diferentes períodos utilizando-se uma série histórica de dados pluviométricos da região de Ilha Solteira, bem como verificar o nível de ajuste dos dados ao modelo *Generalized Extreme Values* (GEV) utilizando o método de máxima verossimilhança para estimação dos parâmetros do modelo e verificação do ajuste em todos os períodos de chuva considerados, respectivamente. A distribuição de Gumbel foi a mais adequada para esse estudo de caso, exceto no período de estiagem da região.

Palavras-chave: Precipitação; Valores extremos; Teoria generalizada de valores extremos.

Abstract

Predicting the behavior of extreme phenomena becomes extremely important for the entire population, due to the consequences caused by global warming, which makes the study of Extreme Value Theory (TVE) increasingly essential in studies of environmental variables. Applied for the purpose of describing the behavior of rare events, it has been applied in meteorology to maximum rainfall, minimum temperatures, maximum winds, since such information is of great importance for urban, industrial, agronomic planning and mitigation public policies of impulse and development of cities and society. Considering the importance of knowing the possible maximum monthly rainfall, this study aims to estimate the probability of maximum expected monthly rainfall for different periods using a historical series of rainfall data from Ilha Solteira region, as well as to verify the level of rainfall. of data adjustment to the Generalized Extreme Values (GEV) model using the maximum likelihood method for estimating the model parameters and verification of the adjustment in all considered rainfall periods, respectively. Gumbel distribution was the most appropriate for this case study, except in the dry season of the region.

Keywords: Precipitation; Extreme value; Generalized theory of extreme values.

Resumen

La predicción del comportamiento de los fenómenos extremos adquiere una gran importancia para toda la población, debido a las consecuencias que provoca el calentamiento global, lo que hace que el estudio de la Teoría de los Valores Extremos (TVE) sea cada vez más imprescindible en los estudios de variables ambientales. Aplicado con el propósito de describir el comportamiento de eventos raros, se ha aplicado en meteorología a máxima precipitación, temperaturas mínimas, vientos máximos, dado que información de este tipo es de gran importancia para la planificación urbana, industrial, agronómica y las políticas públicas que mitigan impacto y desarrollo de las ciudades y la sociedad. Dada la importancia del conocimiento de la posible precipitación máxima mensual, este trabajo tiene como objetivo estimar la probabilidad de precipitación máxima mensual esperada para diferentes períodos utilizando una serie histórica de datos de precipitación de la región de Ilha Solteira, así como verificar el nivel de ajuste de datos al modelo de Valores Extremos Generalizados (GEV) utilizando el método de máxima verosimilitud para estimar los parámetros del modelo y verificar el ajuste en todos los períodos de lluvia considerados, respectivamente. La distribución de Gumbel fue la más adecuada para este estudio de caso, excepto en la estación seca en la región.

Palabras clave: Precipitación; Valores extremos; Teoría generalizada de valores extremos.

1. Introdução

Atualmente, uma das maiores preocupações da humanidade são as consequências do aumento crescente do aquecimento global, como o aumento do nível das águas do mar, o aumento da amplitude das precipitações resultando em enchentes e secas, alterações nas frequências e intensidades de situações de temperaturas extremas, diminuição da disponibilidade de terrenos agrícolas, recuo glacial, caudais dos rios muito baixos durante o verão e alagadas em outras épocas, extinção de muitas espécies, mudanças de ecossistemas e aumento do número de doenças (Kessler & Modolo, 2018).

Diante de tais consequências, é importante destacar o aumento do número de ocorrências de eventos extremos, bem como a amplitude desses eventos extremos, uma vez que podem acarretar prejuízos em diversas áreas, tais como: construção civil, ambiental, agrícola, saúde, industrial e bem-estar. Ademais, a ocorrência desses eventos extremos se

constitui um processo aleatório, o que não nos permite uma previsão determinística com grande antecedência, tornando-se necessário o estudo das variáveis e o ajuste de um modelo probabilístico descritivo do processo com o intuito de serem realizadas previsões.

A teoria de valores extremos (TVE) é aplicada com a finalidade de descrever o comportamento de eventos raros e tem sido aplicada com sucesso no tratamento estatístico de dados meteorológicos, tais como precipitações máximas, temperaturas mínimas, ventos máximos, entre outros (Beijo & Avelar, 2011).

Os três tipos possíveis de distribuições assintóticas de valores extremos são as distribuições de Gumbel (I), de Fréchet (II) e de Weibull (III) propostas por Fisher & Tippet (1928). Esses três tipos de distribuições podem ser representados numa forma paramétrica única, designada por distribuição generalizada de valores extremos (GEV) proposta por Jenkinson (1955).

Sabendo-se da importância do conhecimento de possíveis precipitações mensais máximas, esse trabalho tem como objetivo verificar o ajuste dos dados ao modelo GEV utilizando o método de máxima verossimilhança e estimar a precipitação pluvial mensal máxima esperada em períodos distintos para o noroeste paulista, a fim de fornecer informações precisas, de acordo com o interesse prático.

2. Metodologia

A cidade de Ilha Solteira foi escolhida por ser a que apresenta o maior conjunto de dados em relação as demais e por representar o clima da região, que é tropical chuvoso, caracterizado por temperaturas significativamente mais quentes e inverno bastante seco. Os dados foram obtidos a partir dos registros agrometeorológicos da Estação de Ilha Solteira e da CESP (Companhia Energética do Estado de São Paulo), constituindo-se de uma série histórica de 43 anos de registros pluviométricos (x a x). As coordenadas geográficas da estação de Ilha Solteira são: Latitude $20^{\circ} 25' 23,5''$ S e Longitude: $51^{\circ} 21' 12,6''$ W e altitude de 335 m. O clima da região, representado por Ilha Solteira, segundo a classificação de Köppen (Köppen & Geiger, 1928), é do tipo Aw segundo, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Rolim et al., 2007), apresentando temperatura média anual de $24,5^{\circ}\text{C}$, precipitação média anual de 1,232 mm e uma umidade relativa média anual de 64,8 % (Hernandez et al., 1995).

A distribuição generalizada de valores extremos (GEV), cuja função de distribuição de probabilidade acumulada é dada pela expressão da equação 1:

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

definida em, $-\infty < x < \mu - \frac{\sigma}{\xi}$, para $\xi < 0$ e $\mu - \frac{\sigma}{\xi} < x < \infty$ para $\xi > 0$, sendo μ, σ, ξ os parâmetros de posição, escala e de forma respectivamente, com $\sigma > 0$. A distribuição utilizada é dada pelo parâmetro ξ , tal que, $\xi = 0$ indica a Distribuição de Gumbel, $\xi > 0$ Fréchet, $\xi < 0$ Weibull (Paiva, 2016).

O período de retorno de uma precipitação pluvial máxima é dado por $\tau = \frac{1}{F(x)}$ e o nível de retorno (x_p), associado ao período de retorno τ baseado na distribuição GEV, é dado pela equação 2.

$$x_p = \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left\{ 1 - [-\ln \ln (1 - p)]^{-\xi} \right\} \quad (2)$$

Sendo o intervalo de confiança para x_p com $(1 - \alpha)100\%$ de confiança é dado pela equação 3.

$$I. C. (x_p) = \hat{x}_p \pm Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{Var(x_p)} \quad (3)$$

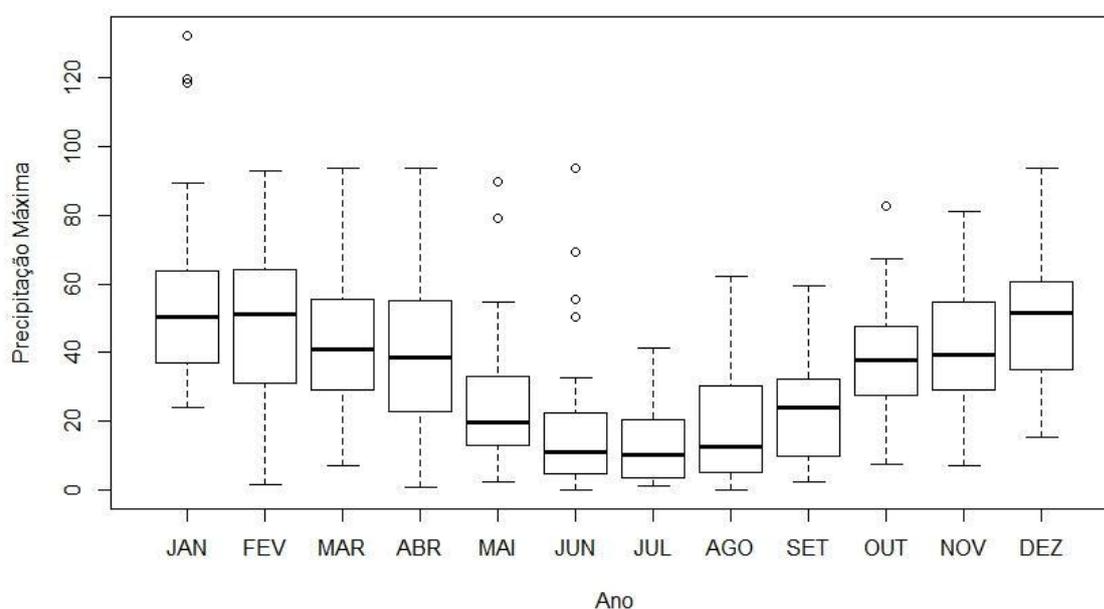
onde α é o nível de significância, $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ o quantil da distribuição normal padronizada e $Var(x_p)$ a variância associada ao nível de retorno x_p que é composta pelas variâncias e covariâncias dos parâmetros μ, σ, ξ , sendo μ o parâmetro de locação, σ o parâmetro de escala e ξ o parâmetro de forma, obtidos a partir da matriz de variâncias e covariâncias dada pelo inverso da matriz de informação de Fisher (Bautista, 2002).

O ajuste da distribuição GEV as séries de dados mensais e anual foi empregado com o uso do teste Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors, 1967) a um nível de 5% de significância, de acordo com a metodologia de Campos (1979) e as estimativas dos parâmetros da distribuição GEV foram obtidas via método da máxima verossimilhança, proposto por Beijo & Avelar (2011). As análises estatísticas referente ao ajuste do modelo, bem como os gráficos ilustrativos, foram realizados com o auxílio do software R versão 3.5.1 (R Core Team, 2019).

3. Resultados e Discussão

O período de menor concentração de chuvas, período de estiagem na região, ocorre nos meses de maio, junho e julho, dos quais o mês de junho destaca-se pela menor concentração de chuvas durante o período analisado, ainda assim, há valores acima do limite apresentado no Boxplot (Figura 1). Observa-se que os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro apresentaram as maiores médias de precipitações máximas, cujo mês de janeiro apresentou a maior média dentre todas de acordo com a Tabela 1. Nos meses de junho, julho, agosto e setembro verificou-se as menores médias, fato já esperado, visto que é a época de estiagem na região.

Figura 1. Gráfico de caixa (Boxplot) referente a precipitação máxima no período de junho/1970 a dezembro/2013 no município de Ilha Solteira – SP.



Fonte: Próprios autores.

Os valores extremos fora dos limites dos quantis (Q_1 e Q_3) nos meses de janeiro, maio, junho e outubro não ultrapassam o limite necessário ($Q_1 \pm 3 \cdot IQ$ e $Q_3 \pm 3 \cdot IQ$, IQ: distância interquartílica). Assim, estes valores extremos não foram considerados outliers, e, portanto, pode-se dizer que não houve influência negativa de tais dados. A presença de outliers, em relação aos demais valores da série histórica, refletem diretamente na estimação dos

parâmetros e torna menos representativa a função de distribuição de probabilidade (Alves et al., 2013) (Figura 1).

Para verificar a pressuposição de independência dos dados de precipitação máxima, ao nível de 5% de significância (Tabela 1), foi escolhido o teste de Kolmogorov-Smirnov, por ser mais poderoso e menos rigoroso, sendo indicado para esse tipo de distribuição (Abreu et al., 2018) garantindo a obtenção de inferências estatísticas satisfatórias a partir de modelos de valores extremos (Medeiros, 2011). O mês de agosto não se ajustou bem a distribuição de Gumbel, isso pode ser confirmado quando se é observado o parâmetro de forma ξ , no qual apresenta um valor superior se comparado a outros meses (Tabela 1).

Tabela 1. Estimativas dos estimadores dos parâmetros da GVE e Teste de Kolmogorov-Smirnov de pressuposição de aderência à 95% dos dados entre os meses de janeiro a dezembro e o nível descritivo dos mesmos.

Mês	μ^1	σ^1	ξ^1	Valor-P
Janeiro	43,01	15,73	0,21	0,437
Fevereiro	42,40	20,37	-0,28	0,874
Março	35,42	17,11	-0,11	0,640
Abril	31,65	20,63	-0,19	0,165
Maió	16,92	10,84	0,20	0,348
Junho	7,87	8,10	0,50	0,742
Julho	7,19	6,66	0,40	0,310
Agosto	8,19	8,39	0,55	0,036
Setembro	16,88	12,21	-0,09	0,541
Outubro	31,94	15,27	-0,19	0,020
Novembro	34,73	16,99	-0,18	0,127
Dezembro	42,58	18,34	-0,13	0,541

¹ μ : Posição; σ : Escala; ξ : Forma. Fonte: Próprios autores.

Segundo Bautista (2002), se observado estimativas pontuais do parâmetro ξ menores do que zero, há indícios de que os dados se ajustem a distribuição de Weibull. Se for maior do que zero há indícios de que os dados se ajustem a distribuição de Fréchet.

O parâmetro ξ , apresentado na Tabela 1, mostra qual das distribuições propostas (Gumbel, Fréchet e Weibull) descreve melhor o conjunto de dados. Verifica-se que as estimativas pontuais apresentam valores positivos e negativos, o que permite testar o ajuste das três distribuições. Nos meses de maio, junho, julho e agosto apresentaram valores de ξ positivos, o que indicaria a distribuição de Fréchet, mas segundo Coles et al. (2001) esse tipo de distribuição não se adequa a fenômenos ambientais, pois apresenta uma cauda superior

com o limite tendendo ao infinito, o que causaria omissão de dados. Nos demais meses os parâmetros ξ apresentam valores negativos e próximos de zero, o que indica que a distribuição de Gumbel é a mais adequada para esses meses.

Com os resultados obtidos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), foi possível constatar que os meses de agosto e outubro apresentam valores-p menores que 0,05; o que significa que esses meses não se aproximam de uma distribuição normal.

A Tabela 2 apresenta os intervalos de confiança para o parâmetro ξ a 95% de confiança juntamente com a estatística de máxima verossimilhança, com o intuito de verificar a veracidade dos parâmetros obtidos. Com isso conclui-se que o parâmetro ξ se encaixa entre os limites inferiores e superiores apresentados na Tabela 2, o que confirma que a distribuição de Gumbel é a mais adequada para analisar os dados de precipitação. Ressalta-se que nos meses de junho, julho e agosto os limites superiores se destacam, por serem superiores aos demais, o que implica que esses meses não se encaixam bem para a distribuição de Gumbel.

Tabela 2. Intervalos de 95% relativos ao parâmetro ξ e os respectivos valores de máxima verossimilhança, juntamente com os estimadores μ e σ da distribuição de Gumbel.

Mês	Limites de 95% de confiança		T_{LR}^1	μ^2	σ^3
	Inferiores	Superiores			
Janeiro	-0,088	0,5068	3,016	1,806	4,798
Fevereiro	-0,519	-0,047	4,952	2,253	4,751
Março	-0,519	-0,047	0,903	1,665	3,762
Abril	-0,426	0,041	2,263	2,356	5,199
Mai	-0,056	0,453	3,468	0,845	2,298
Junho	0,105	0,896	17,031	0,789	2,469
Julho	-0,135	0,939	5,587	0,502	1,333
Agosto	0,058	1,040	9,983	1,228	3,413
Setembro	-0,385	0,204	0,405	0,847	1,986
Outubro	-0,371	-0,004	2,898	1,323	2,834
Novembro	-0,417	0,066	2,013	1,570	3,458
Dezembro	-0,384	0,122	1,029	1,862	4,226

¹ T_{LR} : estatística de máxima verossimilhança; ² μ : parâmetro de posição; ³ σ : parâmetro de forma.

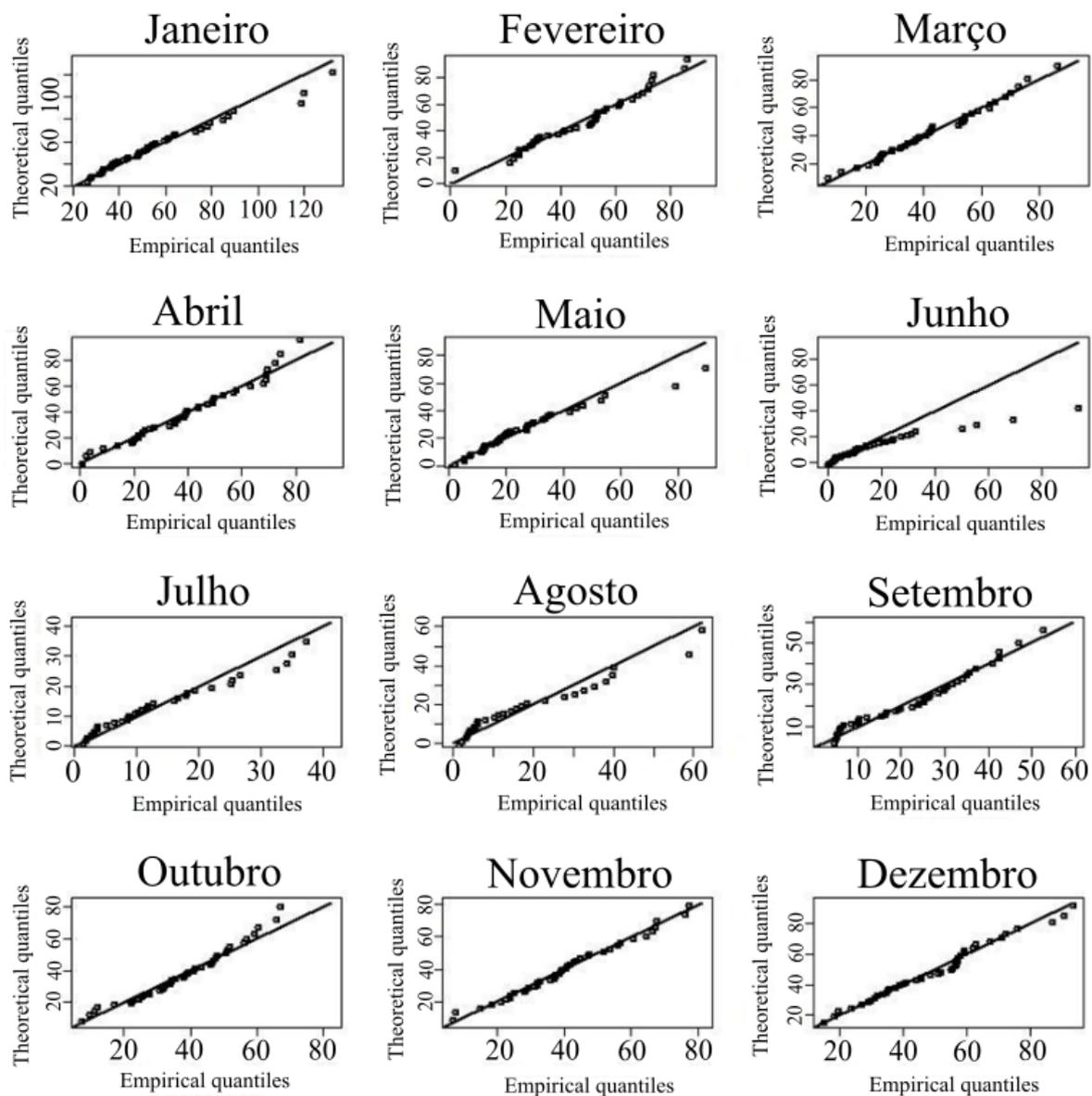
Fonte: Próprios autores.

O mês de abril apresentou o maior parâmetro μ e σ comparado aos outros meses e o mês de julho apresentou o menor, tanto no parâmetro μ quanto no parâmetro σ (Tabela 2). Contudo, podemos observar que o parâmetro ξ dos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, se encaixam bem entres os limites de 95% apresentados na Tabela 2, o

que corresponde a distribuição de Gumbel, isso também foi garantido pela estatística de máxima verossimilhança (T_{LR}), pois, esse tipo de estatística estima com os melhores ajustes aos valores médios dos parâmetros obtidos (Franco et al., 2018).

Os gráficos dos quantil-quantil (QQ) foram elaborados com base no valor observado (eixo das abscissas) e o valor estimado (eixo das ordenadas) com base na função cumulativa de probabilidade (Figura 2).

Figura 2. Gráficos quantil-quantil sobre os resíduos dos dados de precipitação máxima durante os meses estudados.



Fonte: Próprios autores.

Pôde-se constatar pela observação dos gráficos que na maioria dos meses a função densidade de probabilidade associada a GEV descreveu satisfatoriamente o comportamento dos dados, promovendo bom ajuste dos dados na distribuição de Gumbel na maioria dos meses, com exceção dos meses de junho, julho e agosto. Uma vez que nestes meses os dados se distanciam da linha de regressão, destacando-se os meses de junho e julho, mostrando que esses meses não se ajustaram bem a distribuição de Gumbel (Figura 2).

A Tabela 3 mostra os níveis de retorno mensais e os intervalos associados aos períodos de retorno (10, 20, 30 e 40 anos), obtidos pela função de densidade de probabilidade da GEV. Através dos resultados obtidos os meses de maio, junho, julho e agosto apresentam valores discrepantes se for levado em consideração que são meses de estiagem na região, assim os valores de retorno apresentados tendem a ser errôneos, tal fato confirma que esses meses não se encaixam bem a essa distribuição.

Tabela 3. Probabilidades de ocorrência de precipitações máximas nos intervalos acima de 10, 20, 30 e 40 anos.

Mês	>10 Anos	>20 Anos	>30 Anos	>40 Anos
Janeiro	0,0006	0,015	0,0955	0,266
Fevereiro	0,010	0,065	0,196	0,377
Março	0,012	0,085	0,253	0,465
Abril	0,066	0,195	0,375	0,554
Maió	0,138	0,424	0,690	0,851
Junho	0,463	0,799	0,937	0,160
Julho	0,421	0,772	0,925	0,977
Agosto	0,333	0,627	0,820	0,919
Setembro	0,181	0,482	0,732	0,875
Outubro	0,018	0,132	0,357	0,998
Novembro	0,015	0,106	0,296	0,997
Dezembro	0,002	0,034	0,149	0,993

Fonte: Próprios autores.

A partir dos dados analisados, conclui-se que os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro têm grande probabilidade de ocorrer precipitações máximas durante os períodos de 10, 20, 30 e 40 anos (Tabela 3), correspondendo a cerca de 60% das

precipitações máximas dos anos, adaptando-se, portanto, à distribuição generalizada de valores extremos (GEV). Beijo et. al (2005) também obtiveram melhores ajustes em relação aos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro para a região de Lavras (MG), devido a semelhança dos meses de maiores precipitações.

A Tabela 4 mostra que os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro que apresentam os maiores níveis de retorno, enquanto que os meses de junho, julho e agosto apresentam os menores índices, este fato pode ser associado ao período de estiagem na região, o que implica diretamente nesses resultados.

Tabela 4. Níveis de retorno (X_p) e seus limites (inferiores LI e superiores LS) com intervalo de confiança de 95%, nos períodos de retorno de 10, 20, 30 e 40 anos.

Mês	Período de retorno											
	10 anos			20 anos			30 anos			40 anos		
	LI	X_p	LS	LI	X_p	LS	LI	X_p	LS	LI	X_p	LS
Jan	68,5	88,2	485,4	74,5	107,8	141,2	76,5	120,4	164,9	76,2	130,1	184,1
Fev	68,4	76,3	84,1	73,9	83,3	92,7	76,0	86,7	97,5	77,0	88,9	100,8
Mar	59,5	69,3	79,2	65,2	78,5	91,7	67,6	83,4	99,2	68,8	86,7	104,6
Abr	59,5	69,3	79,2	65,7	78,3	90,9	68,2	83,0	97,7	69,5	86,0	102,5
Mai	34,5	47,7	60,8	39,4	60,8	82,1	41,3	69,2	97,2	42,1	75,6	109,1
Jun	20,1	41,6	63,1	19,4	63,3	107,2	76,0	79,8	144,4	9,6	93,7	177,7
Jul	15,9	31,6	47,3	12,6	45,3	78,0	7,2	55,2	103,2	1,2	63,2	125,4
Ago	16,7	45,5	74,4	9,7	71,1	132,5	-1,2	91,1	183,4	-13,5	108,2	230,0
Set	34,2	41,7	49,2	37,9	48,7	59,4	39,1	52,5	65,8	39,6	55,0	70,5
Out	52,8	60,0	67,2	57,9	66,7	75,5	60,2	70,2	80,1	61,5	72,5	83,4
Nov	57,9	66,3	74,7	63,0	74,0	85,1	64,9	78,1	91,2	66,0	80,7	95,5
Dez	68,2	78,4	88,5	73,9	87,7	101,5	76,1	92,7	109,4	77,2	96,1	115,0

Fonte: Próprios autores.

Tal fato pode ter ocorrido devido ao uso do método da máxima verossimilhança, em ambos os trabalhos. Uma vez que a estimativa pelo método de máxima verossimilhança superestima os valores mínimos e proporciona melhores ajustes a valores médios e máximos (Franco et al., 2018), havendo a necessidade de, em um estudo futuro, se estimar todos os meses utilizando o método dos momentos, que de acordo com o autor citado acima, superestimando valores médios e máximos.

As estimativas mensais obtidas fornecem valores de precipitações máximas, que são de suma importância para o planejamento urbano, desenvolvimento das cidades e da sociedade, bem como o planejamento de obras de engenharia agrícola na região.

4. Considerações Finais

Conclui-se que as precipitações máximas ao longo dos anos ocorreram nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, motivo pelo qual a distribuição generalizada de valores extremos (GEV) apresentou os melhores ajustes nesses períodos, o que indica que a distribuição de Gumbel foi a mais adequada nestes meses.

A distribuição não foi eficiente para os meses junho, julho e agosto, pois são períodos de estiagem na região de Ilha Solteira (SP). Desse modo, o ideal é realizar um novo trabalho que visa buscar uma distribuição que se adeque a esses meses, a fim de que se obtenha probabilidades mais eficazes.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - Código de Financiamento 001, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo financiamento do processo nº 2015 / 18225-4, ao Laboratório de Estatística Aplicada (LEA) pelo apoio técnico e estrutural, a Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – Campus de Ilha Solteira.

Referências

Abreu, M. C. (2018). Critérios para escolha de distriuições de probabilidade em estudo de eventos Estresmos de precipitação,. *Revista Brasileira de Meterologia*, 601-613.

Alves, A. V. (2013). Análise dos métodos de estimação para os parâmetros das distribuições de Gumbel e GEV em eventos de precipitações máximas na cidade de Cuiabá-MT. *REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 6(1).

Bautista, E. A. (2002). A distribuição generalizada de valores extremos no estudo da velocidade máxima do vento em Piracicaba, SP. *Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo*.

Beijo, L. A. (2005). Tempo de retorno das precipitações máxima em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo I. *Ciência de agrotecnologia*, 29 (3), 657-667.

Beijo, L. A. (2011). Distribuição Generalizada de Valores Extremos no estudo de dados climáticos: uma breve revisão e aplicação. *Revista da Estatística da UFOP, Outro Preto.*, 1.

Campos, H. (1979). Estatística experimental não paramétrica. *ESALQ/USP Departamento de Matemática e Estatística*, 343.

Coles, S. B. (2001). An introduction to statistical modeling of extreme values. *London Springer (Vol. 208)*, 208.

Fisher, R. A. (1928). Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. *Mathematical Proceeding of the Cambridge Philosophical Society (Vol 24, No 2)*. Cambridge University Press, 180-190.

Franco, C. M. (2018). Aplicabilidade e ajuste da distribuição Log-Normal a 3 parâmetros em estudo de precipitação máxima anual na bacia do Rio Verde. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, 16(1).

Hernandez, F. B. (1995). Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira. *Ilha Solteira: UNESP/Área de Hidráulica e Irrigação*.

Jenkinson, A. F. (1955). The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society (81)*, 158-171.

Kessler, J. P. (2018). Aplicação de sig para avaliações de impactos ambientais na categoria potencial de aquecimento global: Gestão de rotas de transporte de resíduos sólidos. *9º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*.

Köppen, W. &. (1928). *Klimate der Erde* Gotha Verlag Justus Perthes. *Wall-map 150cmx200cm*.

Lilliefors, H. W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American statistical Association*, 62(318), 399-402.

Medeiros, E. S. (2011). Distribuição generalizada de valores extremos aplicada a dados de precipitação máxima na região de Moreilândia-PE. *Trabalho de Conclusão de Curso, UEPB, Campina Grande*.

PAIVA, B. S. (2016). Função de distribuição generalizada de valor extremo transmutada. *Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília*.

RCore, T. E. (2016). R a language and environment for statistical computin. *R Fondation for Statistical Computing, Vienna, Austria*.

Rolim, G. D. (2007). Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, 66(4), 711-720.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Vinicius Affonso - 30%

Glaucia Amorim Faria - 20%

Beatriz Garcia Lopes - 15%

Nayra Yumi Tsutsumoto - 15%

Ariele Daieny da Fonseca - 10%

Lucas Menezes Felizardo - 10%