



Precipitações máximas mensais em Santa Maria, RS

Gilberto Rodrigues LISKA^{1*} , Otávio Magno TEIXEIRA¹ ,
Priscila de Azevedo MIREZ² 

¹ Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Socioeconomia Rural, Universidade Federal São Carlos, Araras, SP, Brasil.

² Universidade Federal do Pampa, Itaqui, RS Brasil.

*E-mail: gilbertoliska@ufscar.br

Submetido em 04/11/2022; Aceito em 26/07/2023; Publicado em 28/07/2023.

RESUMO: Existem regiões no estado do Rio Grande do Sul onde ocorrência de chuva é suficiente para as funções agrícolas e manutenção social, porém em outras localidades esta ocorrência não é tão satisfatória a ponto de o fornecimento d'água ser suficiente para as necessidades básicas da população. Nesse sentido, estimar com certa precisão as variações meteorológicas é de grande importância, uma vez que viabiliza um planejamento mais preciso nestas regiões. O objetivo desse trabalho foi analisar a ocorrência de precipitações pluviométricas máximas na cidade de Santa Maria – RS por meio das distribuições Generalizada de Valores Extremos, Gumbel e Pearson tipo III e estimar a quantidade de chuva para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 30, 50 e 100 anos. Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov e os Histogramas com as funções densidades de probabilidades ajustadas indicam que as três distribuições de probabilidade se ajustaram aos dados e, entre as distribuições Gumbel e GVE, o teste de razão de verossimilhanças apontou que a distribuição Gumbel é mais adequada. Contudo o erro percentual absoluto médio revelou que a distribuição Pearson III forneceu níveis de retorno estimados mais precisos em alguns meses.

Palavras-chave: Teoria de valores extremos; probabilidade de ocorrência; distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV); distribuição Gumbel; distribuição de Pearson Tipo III; climatologia.

Maximum monthly rainfall in Santa Maria, RS

ABSTRACT: There are regions in the state of Rio Grande do Sul where rainfall is sufficient for agricultural functions and social maintenance, but in other locations this occurrence is not so satisfactory that water supply is sufficient for the basic needs of the population. In this sense, knowing how to accurately estimate weather variations is of great importance. Statistical modeling of extreme levels is associated with probability distributions, belonging to a class of distributions in a branch of statistics called Extreme Value Theory (EVT). The objective of this work was to analyze the occurrence of maximum rainfall in the city of Santa Maria - RS through the Generalized Extreme Values, Gumbel and Pearson type III distributions and to estimate the amount of rainfall for return periods of 2, 5, 10, 15, 30, 50 and 100 years. The results of the KS test and Histogram plots indicate that the three probability distributions fit the data and, between the Gumbel and GEV distributions, the likelihood ratio test indicated that the Gumbel distribution is more appropriate. However, the mean absolute percentage error revealed that the Pearson III distribution provided more accurate estimated return levels for some months.

Keywords: Extreme value theory; probability of occurrence; Generalized Distribution of Extreme Values (GEV); Gumbel distribution; Pearson Type III distribution; climatology.

1. INTRODUÇÃO

Existem regiões no estado do Rio Grande do Sul onde ocorrência de chuva é suficiente para as funções agrícolas e manutenção social, porém em outras localidades esta ocorrência não é tão satisfatória a ponto de o fornecimento d'água ser suficiente para as necessidades básicas da população (SILVA et al., 2013; BLAIN, 2014; QUINTERO; CONTRERAS-REYES, 2017; REBOITA et al., 2017; SÁ et al., 2018). Assim expressando que a água é um recurso essencial e que a mente do homem ainda não encontrou um substituto dela que possa manter todas as formas de vida como também produzir alimentos, tendo que a quando há ocorrência de chuvas muito forte pode acarretar em desabamentos e alagando algumas localidades (AGUIRRE et al., 2020).

Nesse sentido, saber estimar com certa precisão as variações meteorológicas é de grande importância, uma vez que viabiliza um planejamento mais preciso nestas regiões. Uma maneira de caracterizar a variabilidade da precipitação pluviométrica é analisar a distribuição dessa variável. Para isto, é necessária uma análise de distribuição de densidade e testes estatísticos para determinar qual função de distribuição de probabilidade é mais adequada para calcular a probabilidade de ocorrer determinado fenômeno e, assim, estimar um nível de retorno (KIST; DAS VIRGENS FILHO, 2015). A modelagem estatística desses níveis extremos é associada a distribuições de probabilidade, pertencentes a uma classe de distribuições a um ramo da estatística denominada de Teoria de Valores Extremos (COTTA et al., 2016; YUAN et al., 2018; BUTTURI-GOMES et al., 2019).

O objetivo desse trabalho foi analisar a ocorrência de precipitações pluviométricas máximas na cidade de Santa Maria – RS por meio das distribuições Generalizada de Valores Extremos, Gumbel e Pearson tipo III e estimar a quantidade de chuva para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 30, 50 e 100 anos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisadas as séries históricas de 1961 a 2018 dos valores diários da precipitação da chuva, registradas na Estação BDMEP do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em Santa Maria, RS. Para aplicar a teoria de valores extremos à série diária, os dados foram organizados em grupos de períodos mensais e extraído o valor máximo da precipitação da chuva observado de cada série, formando assim, vetores de valores máximos de cada período para cada mês estudado. Foi utilizado o teste de Mann-Kendall para testar a se a série apresenta tendência. A série de máximos foi organizada em duas subséries, sendo uma utilizada para ajustar o modelo probabilístico, correspondendo à série temporal de 1961 a 2002, e a outra correspondendo à série temporal de teste, compreendendo o período de 2003 a 2018. A distribuição Generalizada de Valores Extremos (GVE) tem função de distribuição acumulada de probabilidade dada por:

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1}{\xi}\right)} \right\} \quad (01)$$

sendo definida em, $-\infty < x < \mu - \sigma/\xi$ para $\xi < 0$, $-\infty < x < \infty$ para ξ tendendo a zero, $\mu - \sigma/\xi < x < \infty$ para $\xi > 0$, sendo μ , σ e ξ os parâmetros de posição, escala e de forma respectivamente com $\sigma > 0$. As distribuições de valores extremos de Fréchet e de Weibull correspondem aos casos particulares de (1) em que $\xi > 0$ e $\xi < 0$, respectivamente. E com $\lim_{\xi \rightarrow 0} F(x)$ tem-se que (1) corresponderá à distribuição de Gumbel. A função de densidade de probabilidade da distribuição GVE é obtida por derivação da expressão em (1) com respeito à variável aleatória x e é definida por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left\{ \left[1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1+\xi}{\xi}\right)} \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1}{\xi}\right)} \right\} \right\} \quad (02)$$

definida em, $-\infty < x < \mu - \sigma/\xi$, para $\xi < 0$ e $\mu - \sigma/\xi < x < \infty$, para $\xi > 0$, e a função de densidade de probabilidade Gumbel é definida por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp \left\{ - \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) - \exp \left[- \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right] \right\} \quad (03)$$

que é definida em $-\infty < x < \infty$. A função densidade de probabilidade que representa uma distribuição Pearson Tipo III é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \Gamma(\xi)} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^{\xi-1} \exp \left(- \frac{x-\mu}{\sigma} \right) \quad (04)$$

em que: σ é o parâmetro e escala; ξ , parâmetro de forma e μ , parâmetro de posição.

Os parâmetros dos modelos em (2), (3) e (4) são desconhecidos, mas podem ser estimados a partir da amostra. Foi utilizado o método da Máxima Verossimilhança e,

quando necessário, o método dos momentos, para obter as estimativas dos parâmetros μ , σ e ξ (OLIVEIRA et al., 2014). Para tal, é pressuposto que as observações sejam independentes e, para verificar essa pressuposição, utilizou-se o teste de Ljung-Box (COLES, 2001; MARTINS et al., 2020).

O teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) foi utilizado para verificar o ajuste de uma distribuição de probabilidade aos vetores de máximos mensais da precipitação da chuva. No teste de KS as hipóteses de interesse são dadas por H_0 : A função de distribuição da qual a amostra é proveniente segue a função de distribuição GVE ou Gumbel. No caso em que as duas distribuições se ajustaram a um mesmo mês, foi avaliado se ξ é estatisticamente igual a zero na distribuição GVE por meio do teste da razão de verossimilhança, conforme Lucca Filho et al. (2022). Utilizando-se a distribuição Gumbel, GVE e Pearson III com as estimativas dos parâmetros obtidas pelo método da máxima verossimilhança, foram calculadas as probabilidades de níveis máximos da precipitação da chuva ocorrerem e níveis de retorno para determinados períodos de retorno (FERREIRA et al., 2022).

Eventualmente problemas de natureza numéricas podem ocorrer com os estimadores de máxima verossimilhança, como por exemplo a não convergência do algoritmo de otimização. Neste caso para contornar foi utilizado o método dos momentos (ŠIMKOVÁ; PICEK, 2017; YILMAZ et al., 2021).

Com a série de teste supracitada, calcularam-se os níveis de retorno estimados (\hat{y}_i) para os referidos anos e obteve-se o erro percentual absoluto médio (EPAM), dado pela seguinte expressão:

$$EPAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100 \quad (05)$$

Para a realização das análises foi utilizado o pacote evd (STEPHENSON, 2002) do sistema computacional estatístico R (R CORE TEAM, 2021).

3. RESULTADOS

A análise de tendência da série mensal de janeiro, fevereiro, setembro e outubro revelou que ela não apresentou tendência, uma vez que o a hipótese nula do teste de Mann-Kendall foi aceita (p -valor = 0,7853, Tabela 2). O teste de Mann-Kendall é um método sequencial não paramétrico utilizado para determinar se uma série de dados apresenta tendência estocástica (SÁ et al., 2018; SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016; SILVA et al., 2007). A Figura 1 contribui para sustentar esse fato, pois a linha de tendência é praticamente constante ao longo dos anos. Considerando os resultados do teste de razão de verossimilhança a 1% de significância pode-se dizer que a distribuição Gumbel é adequada para modelar os dados de precipitação máxima da chuva para o mês de janeiro, já que a hipótese nula do teste foi aceita (Tabela 1).

Pelo teste de Ljung-Box apresentado na Tabela 2, a série mensal é independente nos meses de cada ano, pois a hipótese nula de independência do teste foi aceita para a série desse mês. Analisando a Figura 1 pode-se observar que a uma leve inclinação nos meses março, abril, maio, junho, julho, agosto, novembro e dezembro, no entanto, pela Tabela 2 percebe-se que a hipótese é nula então a série é independente (RIGHI; ROBAINA, 2010).

Precipitações máximas mensais em Santa Maria, RS

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros das distribuições GVE, Gumbel (G) e Pearson III (PIII) estimados para as séries de precipitação máxima (mm) mensal da chuva, nos períodos de 1961 a 2002 e resultado do teste de razão de verossimilhança (TRV) para cada mês de cada ano em Santa Maria, RS.

Table 1. Estimates of the parameters of the GEV, Gumbel (G) and Pearson III (PIII) distributions estimated for the series of maximum monthly rainfall (mm) of rainfall, in the periods from 1961 to 2002 and result of the likelihood-ratio test (LRT) for each month of each year in Santa Catarina Maria, RS.

Mês	Distribuição	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\xi}$	Trv
Jan	GVE	35,4412	19,6827	-0,0336	0,7915
	G	35,0835	19,4692	-	
	PIII	-6,5168	11,2169	4,7004	
Fev	GVE	32,1280	19,07313	-0,1283	0,3973
	G	30,8527	18,3533	-	
	PIII	-17,7349	8,1729	7,2035	
Mar	GVE	39,3001	22,8913	-0,3062	0,0641
	G	35,7596	21,1941	-	
	PIII	-	1,4671	246,5164	
Abr	GVE	29,5448	20,9865	0,3766	0,0520
	G	34,3173	25,8320	-	
	PIII ^a	9,3466	36,2284	1,13932	
Mai	GVE	31,0268	25,2101	0,04768	0,7084
	G	31,7174	25,6764	-	
	PIII	-4,3145	25,5583	2,0011	
Jun	GVE	37,9307	22,6962	-0,0890	0,5276
	G	36,8965	22,1573	-	
	PIII	-23,8269	9,6728	7,5650	
Jul	GVE	32,2880	16,6319	-0,0572	0,5504
	G	31,7805	16,5353	-	
	PIII	-20,9611	6,2287	9,9294	
Ago	GVE	31,3623	22,1246	-0,0749	0,6700
	G	31,1153	21,5597	-	
	PIII	2,5716	22,1971	1,8443	
Set	GVE	35,8369	20,8749	-0,1551	0,2538
	G	34,1177	19,9837	-	
	PIII	-29,5171	7,1435	10,4489	
Out	GVE	34,0938	23,9825	0,0821	0,5547
	G	35,1439	24,7790	-	
	PIII	-5,7873	20,0678	2,7816	
Nov	GVE	35,0845	19,2705	-0,1470	0,3099
	G	33,5912	18,4341	-	
	PIII	-14,2916	8,2110	7,0803	
Dez	GVE	38,5306	20,4955	0,0180	0,8573
	G	38,7210	20,6041	-	
	PIII	-7,1513	11,9079	4,8534	

^a Estimativa dos parâmetros obtidas pelo método dos momentos.

Observando os valores da estatística para meses de cada ano verifica-se que a distribuição de Gumbel se ajusta aos dados, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Tabela 2). As Fig. 1 e 2 complementam esses resultados e pode-se verificar que a distribuição Pearson III apresenta ajuste satisfatório aos dados, pois os gráficos revelam boa concordância entre os valores estimados por esse modelo e os observados.

Com as distribuições ajustadas, pode-se calcular as probabilidades de determinados níveis de precipitação pluvial ocorrerem. Uma interpretação da Tabela 3 pode ser colocada da seguinte forma: a probabilidade de ocorrer uma precipitação pluvial máxima superior a 100 milímetros pela distribuição Generalizada de Valores Extremos é de 3,05% no mês de janeiro, 0,86% em fevereiro, 0,43% em março, 10,79% em abril, 7,36% em maio, 4,26% em junho, 0,97%

em julho, 2,99% em agosto, 1,52% em setembro; 8,05% em outubro, 0,95% em novembro e 5,25% em dezembro. Sendo assim a maior probabilidade de ocorrer está precipitação pluvial máxima é no mês de abril.

Para complementar o teste de aderência de KS, foram gerados gráficos de comparação do histograma empírico com as distribuições de probabilidades ajustadas, Figura 1, onde é possível perceber que as distribuições se ajustam aos dados, uma vez que as curvas se mostraram próximas do histograma.

Com relação aos níveis de retorno, para um período médio de 100 anos, espera-se que ocorra pelo menos uma precipitação pluvial com intensidade superior a 119,33 milímetros mês de janeiro, 98,40 milímetros em fevereiro, 95,79 milímetros em março, 288,91 milímetros em abril, 160,70 milímetros em maio, 123,60 milímetros em junho, 99,65 milímetros em julho, 118,06 milímetros em agosto, 104,48 milímetros em setembro, 168,16 milímetros em outubro, 99,51 milímetros em novembro e 136,84 milímetros em dezembro pela distribuição de GVE (Tabela 4). A Figura 4 revela que os níveis de retorno estimados pelos três modelos probabilísticos são bastante próximos.

Tabela 2. Resultados dos testes de Ljung-Box (Q) a 1% de significância e teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de significância, para as séries máximas mensais da precipitação da chuva (m.m), nos períodos de 1961 a 2002 para cada mês de cada ano, em Santa Maria, RS.

Table 2. Results of Ljung-Box (Q) tests at 1% of significance and Kolmogorov-Smirnov (KS) test at 5% of significance, for the maximum monthly rainfall series (m.m), in the periods from 1961 to 2002 for each month of each year, in Santa Maria, RS.

Mês	Mann-Kendall	Q	KS	
			GVE	Gumbel
Jan	0,7853	0,1266	0,9879	0,9717
Fev	0,9024	0,5623	0,9871	0,9853
Mar	0,6629	0,8803	0,997	0,9412
Abr	0,462	0,9542	0,7381	0,5756
Mai	0,3833	0,7408	0,7949	0,882
Jun	0,2713	0,3037	0,9847	0,9956
Jul	0,1079	0,1669	0,7492	0,8184
Ago	0,6597	0,6597	0,8637	0,8419
Set	0,924	0,7513	0,6976	0,4601
Out	0,4137	0,7637	0,9443	0,9068
Nov	0,4098	0,4781	0,9707	0,7499
Dez	0,6192	0,3815	0,9942	0,9952

4. DISCUSSÃO

O erro percentual absoluto médio revelou que, dentre os modelos da Teoria de Valores Extremos, a distribuição GVE forneceu níveis de retorno estimados mais precisos, uma vez que os valores estimados foram os mais próximos dos valores observados de precipitação pluvial dos anos de 2003 a 2018.

Com base na tabela 1 pode se afirmar que a distribuição Gumbel é preferível à GVE em vários meses. No entanto analisando todos os resultados percebe-se que pelo erro percentual absoluto médio (Tabela 5) a distribuição que se aproxima mais dos valores observados é a GVE, pois analisando as duas distribuições observa-se que dos 12 meses, em 7 a GVE proporcionou menores valores do EPAM. A distribuição Pearson III apresentou menores valores de EPAM em 6 meses em comparação com a Gumbel. Nesse sentido, a rigor, num dado mês a distribuição de probabilidade da classe de valores extremos pode estar sendo erroneamente selecionada, resultando num erro tipo II. Como trabalhos futuros, estudos de simulação podem ser

feitos para avaliar a viabilidade de usar distribuições de probabilidade aquém da teoria de valores extremos.

Tabela 3. Probabilidade (%) de ocorrência de máximas mensais da precipitação de chuva, para cada mês de cada ano, em Santa Maria, RS.
Table 3. Probability (%) of occurrence of monthly maximum rainfall, for each month of each year, in Santa Maria, RS.

Mês	Distribuição	Precipitação (mm)					
		>50	>60	>70	>80	>90	>100
Janeiro	Gumbel	37,17	24,28	15,33	9,48	5,78	3,50
	GVE	37,68	24,39	15,10	9,06	5,30	3,05
	Pearson III	36,84	24,33	15,46	9,53	5,73	3,38
Fevereiro	Gumbel	29,69	18,48	11,17	6,64	3,91	2,28
	GVE	30,82	17,98	9,62	4,72	2,12	0,86
	Pearson III	30,56	18,31	10,26	5,43	2,74	1,32
Março	Gumbel	39,99	27,29	18,03	11,66	7,44	4,71
	GVE	45,33	29,31	16,30	7,39	2,44	0,43
	Pearson III	44,41	28,70	16,44	8,31	3,70	1,46
Abril	Gumbel	42,01	30,93	22,22	15,68	10,94	7,56
	GVE	35,33	26,96	20,92	16,52	13,25	10,79
	Pearson III	38,20	29,55	22,80	17,56	13,50	10,37
Maio	Gumbel	38,78	28,28	20,16	14,15	9,82	6,76
	GVE	37,96	27,87	20,15	14,44	10,31	7,36
	Pearson III	37,35	28,42	21,36	15,89	11,73	8,59
Junho	Gumbel	42,51	29,71	20,11	13,32	8,70	5,63
	GVE	44,01	30,35	19,82	12,36	7,39	4,26
	Pearson III	44,20	30,76	20,26	12,72	7,66	4,44
Julho	Gumbel	28,27	16,60	9,44	5,27	2,91	1,60
	GVE	28,34	15,94	8,44	4,26	2,07	0,97
	Pearson III	29,18	16,06	8,05	3,73	1,62	0,66
Agosto	Gumbel	34,06	23,04	15,19	9,84	6,31	4,01
	GVE	35,03	23,21	14,68	8,93	5,25	2,99
	Pearson III	32,64	23,33	16,45	11,47	7,93	5,44
Setembro	Gumbel	36,34	23,96	15,30	9,58	5,92	3,63
	GVE	38,63	24,36	14,05	7,41	3,55	1,52
	Pearson III	37,85	23,96	14,07	7,73	4,01	1,97
Outubro	Gumbel	42,25	30,70	21,73	15,09	10,35	7,04
	GVE	40,80	29,90	21,62	15,55	11,18	8,05
	Pearson III	42,06	31,54	23,15	16,70	11,87	8,33
Novembro	Gumbel	33,67	21,23	12,96	7,75	4,58	2,69
	GVE	35,58	21,21	11,45	5,60	2,46	0,95
	Pearson III	34,58	21,10	12,00	6,43	3,28	1,60
Dezembro	Gumbel	43,92	29,95	19,68	12,62	7,97	4,98
	GVE	43,63	29,84	19,75	12,81	8,22	5,25
	Pearson III	44,93	31,24	20,70	13,18	8,11	4,85

Tabela 5. Erro percentual absoluto médio da série de teste, período de 2003 a 2018, em Santa Maria, RS.

Table 5. Mean absolute percentage error of the test series, period from 2003 to 2018, in Santa Maria, RS.

Mês	Distribuição		
	Gumbel	GVE	Pearson III
Janeiro	116,98	115,64	117,07
Fevereiro	92,77	88,32	89,97
Março	69,61	62,85	63,64
Abril	158,09	186,33	178,91
Maio	126,54	129,06	137,60
Junho	215,63	206,37	208,45
Julho	132,12	127,90	127,02
Agosto	117,78	114,37	125,66
Setembro	105,38	97,76	98,52
Outubro	79,23	82,63	84,63
Novembro	110,96	103,91	106,26
Dezembro	246,03	247,78	248,35

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que as três distribuições se ajustam aos dados de chuvas máximas mensais. Pelo teste de razão de verossimilhança, a distribuição Gumbel foi mal especificada em 50% dos meses e, para esses meses, a distribuição Pearson tipo III apresentou menores erros percentuais absolutos

médios. A distribuição GVE é mais adequada para calcular probabilidades e estimar níveis de retorno para a maioria dos meses em Santa Maria, RS.

6. REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, A. F. L.; NOGUEIRA, D. A.; BEIJO, L. A. Análise da temperatura máxima de Piracicaba (SP) via distribuição GEV não estacionária: uma abordagem bayesiana. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 27, p. 496-517, 2020. <https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.73763>
- BLAIN, G. C. Dry months in the agricultural region of Ribeirão Preto, state of São Paulo-Brazil: an study based on the extreme value theory. *Engenharia Agrícola*, v. 34, n. 5, p. 992-1000, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000500018>
- AGUIRRE, A. F. L.; NOGUEIRA, D. A.; BEIJO, L. A. Análise da temperatura máxima de Piracicaba (SP) via distribuição GEV não estacionária: uma abordagem bayesiana. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 27, p. 496-517, 2020. <https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.73763>
- BLAIN, G. C. Dry months in the agricultural region of

Ribeirão Preto, state of São Paulo-Brazil: an study based on the extreme value theory. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 992-1000, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000500018>

BUTTURI-GOMES, D.; BEIJO, L. A.; AVELAR, F. G. On modeling the maximum duration of dry spells: a simulation study under a Bayesian approach. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 137, n. 1-2, p. 1337-1346, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2684-1>

COLES, S. **An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values**. London: Springer London, 2001. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>

COTTA, H. H. A.; CORREA, W. D. S. C.; ALBUQUERQUE, T. T. de A. Aplicação Da Distribuição De Gumbel Para Valores Extremos De Precipitação No Município De Vitória-ES. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, n. 1979, p. 203-217, 2016. <https://doi.org/10.5380/abclima.v19i0.39440>

FERREIRA, T. R.; BEIJO, L. A.; AVELAR, F. G. Avaliação de distribuições de probabilidades no estudo de precipitação pluvial máxima de cidades de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, n. 2, p. 524-544, 2022. <https://doi.org/10.5380/RBCLIMA.V29I0.70950>

KIST, A.; DAS VIRGENS FILHO, J. S. Análise probabilística da distribuição de dados diários de chuva no estado do Paraná. **Revista Ambiente e Agua**, v. 10, n. 1, p. 172-181, 2015. <https://doi.org/10.4136/ambiente.1489>

LUCCA FILHO, E. L. F.; LISKA, G. R.; SANTOS, J. A.; MATIUSI, A. C. Modelagem probabilística de preços máximos da commodity boi gordo para o estado de São Paulo. **Nativa**, v. 10, n. 1, p. 22-31, 2022. <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i1.13291>

MARTINS, A. L. A.; LISKA, G. R.; BEIJO, L. A.; MENEZES, F. S. de; CIRILLO, M. Â. Generalized Pareto distribution applied to the analysis of maximum rainfall events in Uruguaiana, RS, Brazil. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 9, p. 1479, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03199-8>

OLIVEIRA, A. S. de; MELLO, C. R. de; FRANCO, C. S.; MARQUES, R. F. de P. V. Aplicabilidade da distribuição GEV ao estudo da precipitação máxima diária anual na região sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 6, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v6n12014523>

QUINTERO, F. O. L.; CONTRERAS-REYES, J. E. Estimation for finite mixture of simplex models: applications to biomedical data. **Statistical Modelling**, v. 18, n. 2, p. 129-148, 2017. <https://doi.org/10.1177/1471082X17722607>

Tabela 4. Níveis de retorno de máximas de chuva para cada mês de cada ano, em Santa maria, RS.
Table 4. Return levels of maximum rainfall for each month of each year, in Santa Maria, RS.

Mês	Distribuições	Níveis de retorno						
		2	5	10	15	30	50	100
Janeiro	Gumbel	42,2	64,3	78,9	87,1	101,0	111,1	124,7
	GVE	42,6	64,2	78,1	85,8	98,4	107,4	119,3
	Pearson III	41,8	64,4	79,0	87,1	100,2	109,2	122,0
Fevereiro	Gumbel	37,6	58,4	72,2	79,9	93,0	102,5	115,3
	GVE	39,0	58,2	69,4	75,3	84,5	90,7	98,4
	Pearson III	38,4	58,4	70,4	76,9	87,2	94,4	103,8
Março	Gumbel	43,5	67,6	83,5	92,4	107,5	118,5	133,3
	GVE	47,2	66,8	76,5	81,1	87,5	91,4	95,8
	Pearson III	46,7	66,7	77,5	82,9	91,2	96,8	103,7
Abril	Gumbel	43,8	73,1	92,5	103,4	121,7	135,1	153,2
	GVE	37,8	71,9	103,9	126,4	173,2	216,1	288,9
	Pearson III	39,4	75,0	101,4	116,7	142,6	161,7	187,5
Maio	Gumbel	41,1	70,2	89,5	100,4	118,6	131,9	149,8
	GVE	40,4	70,2	90,9	102,9	123,6	139,1	160,7
	Pearson III	38,6	72,3	95,1	108,0	129,4	144,8	165,4
Junho	Gumbel	45,0	70,1	86,8	96,1	111,9	123,4	138,8
	GVE	46,1	69,8	84,2	91,9	104,3	112,8	123,6
	Pearson III	46,2	70,3	84,8	92,6	105,1	113,7	125,0
Julho	Gumbel	37,8	56,6	69,0	76,0	87,7	96,3	107,9
	GVE	38,3	56,2	67,4	73,5	83,5	90,5	99,6
	Pearson III	38,8	56,5	67,0	72,6	81,4	87,5	95,4
Agosto	Gumbel	39,0	63,5	79,6	88,8	104,1	115,2	130,3
	GVE	40,0	63,4	77,8	85,6	98,1	106,8	118,1
	Pearson III	36,4	64,5	83,7	94,6	112,8	125,9	143,4
Setembro	Gumbel	41,4	64,1	79,1	87,6	101,8	112,1	126,1
	GVE	43,3	63,8	75,5	81,5	90,8	96,9	104,5
	Pearson III	42,8	63,6	75,8	82,3	92,7	99,8	109,1
Outubro	Gumbel	44,2	72,3	90,9	101,4	119,0	131,8	149,1
	GVE	43,0	72,4	93,4	105,8	127,7	144,4	168,2
	Pearson III	43,5	74,5	94,9	106,1	124,7	137,9	155,4
Novembro	Gumbel	40,4	61,2	75,1	82,9	96,0	105,5	118,4
	GVE	42,0	61,0	72,0	77,7	86,5	92,3	99,5
	Pearson III	41,1	61,0	73,0	79,5	89,8	97,0	106,3
Dezembro	Gumbel	46,3	69,6	85,1	93,8	108,5	119,1	133,5
	GVE	46,1	69,7	85,6	94,7	110,1	121,4	136,8
	Pearson III	46,7	70,8	85,8	93,9	107,0	116,3	128,4

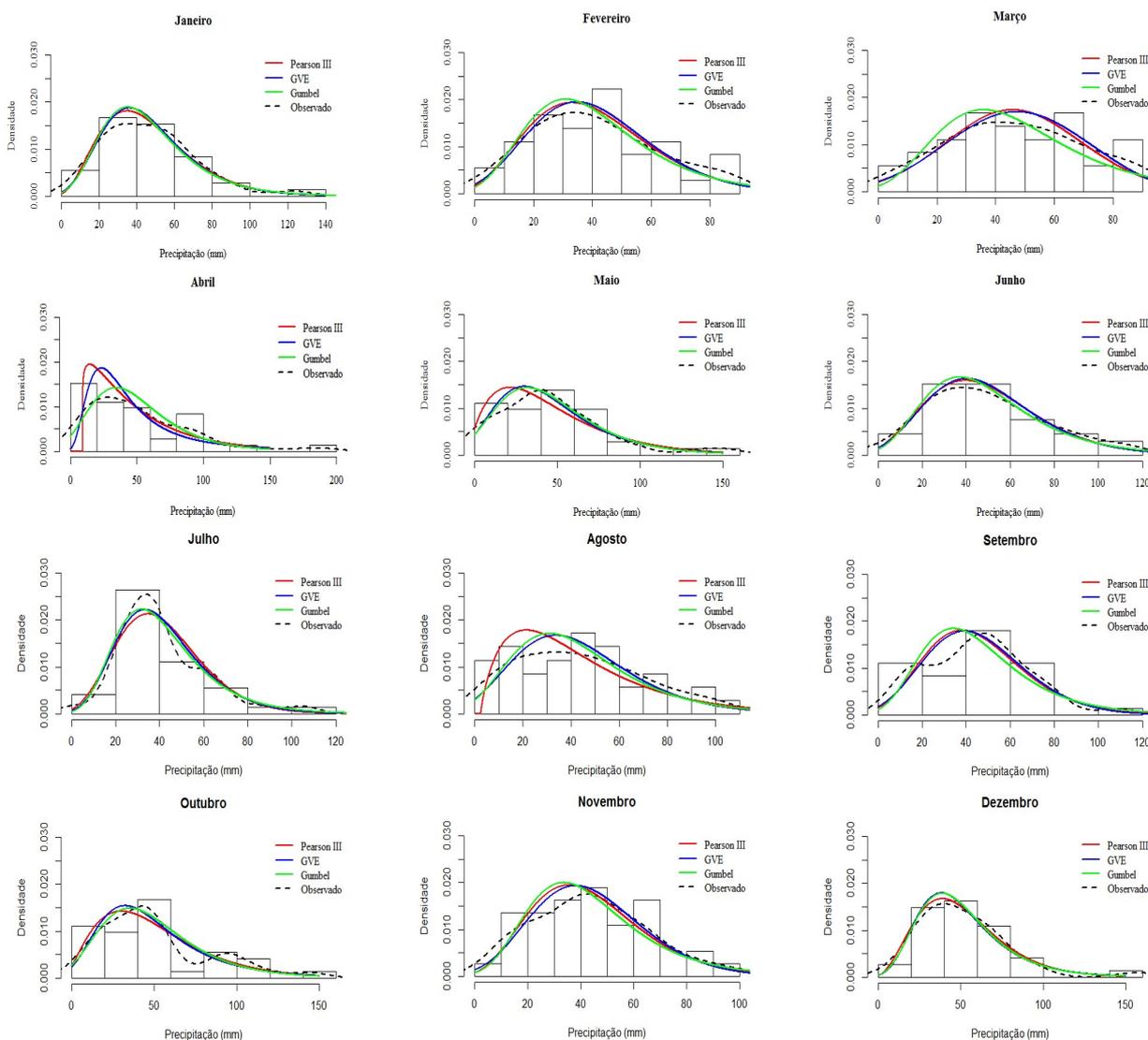


Figura 1. Histograma das precipitações pluviais máximas do período de 1961 a 2002 do município de Santa Maria, RS e os modelos probabilísticos ajustados.

Figure 1. Histogram of maximum rainfall from 1961 to 2002 in the municipality of Santa Maria, RS and the adjusted probabilistic models.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.**

REBOITA, M. S.; MARIETTO, D. M. G.; SOUZA, A.; BARBOSA, M. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de chuva na região sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, N. 1, p. 20-37, 2017. <https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.47577>

RIGHI, E.; ROBAINA, L. E. de S. Enchentes do Rio Uruguai no Rio Grande do Sul entre 1980 e 2005: uma análise geográfica. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 1, p. 35-54, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000100004>

SÁ, E. A. S.; MOURA, C. N. de; PADILHA, V. L.; CAMPOS, C. G. C. Trends in daily precipitation in highlands region of Santa Catarina, southern Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2018. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2149>

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de**

Meteorologia, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.

SILVA, A. T.; PORTELA, M. M.; NAGHETTINI, M. Análise de frequência de máximos anuais baseada em séries de duração parcial. Combinação das distribuições de Poisson inflacionada de zeros e generalizada de Pareto, modelo ZIP-GP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 34, n. 2, p. 5-12, 2013. <https://doi.org/10.5894/rh34n2-1>

SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000100009>

ŠIMKOVÁ, T.; PICEK, J. A comparison of L-, LQ-, TL-moment and maximum likelihood high quantile estimates of the GPD and GEV distribution. **Communications in Statistics - Simulation and Computation**, v. 46, n. 8, p. 5991-6010, 2017. <https://doi.org/10.1080/03610918.2016.1188206>

STEPHENSON, A. G. *evd: Extreme Value Distributions.*

Precipitações máximas mensais em Santa Maria, RS

R News, v. 2, n. 2, p. 31-32, 2002.

YILMAZ, A.; KARA, M.; ÖZDEMİR, O. Comparison of different estimation methods for extreme value distribution. **Journal of Applied Statistics**, v. 48, n. 13–15, p. 2259, 2021. doi 10.1080/02664763.2021.1940109

YUAN, J.; EMURA, K.; FARNHAM, C.; ALAM, M. A. Frequency analysis of annual maximum hourly precipitation and determination of best fit probability distribution for regions in Japan. **Urban Climate**, v. 24, p. 276-286, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.07.008>

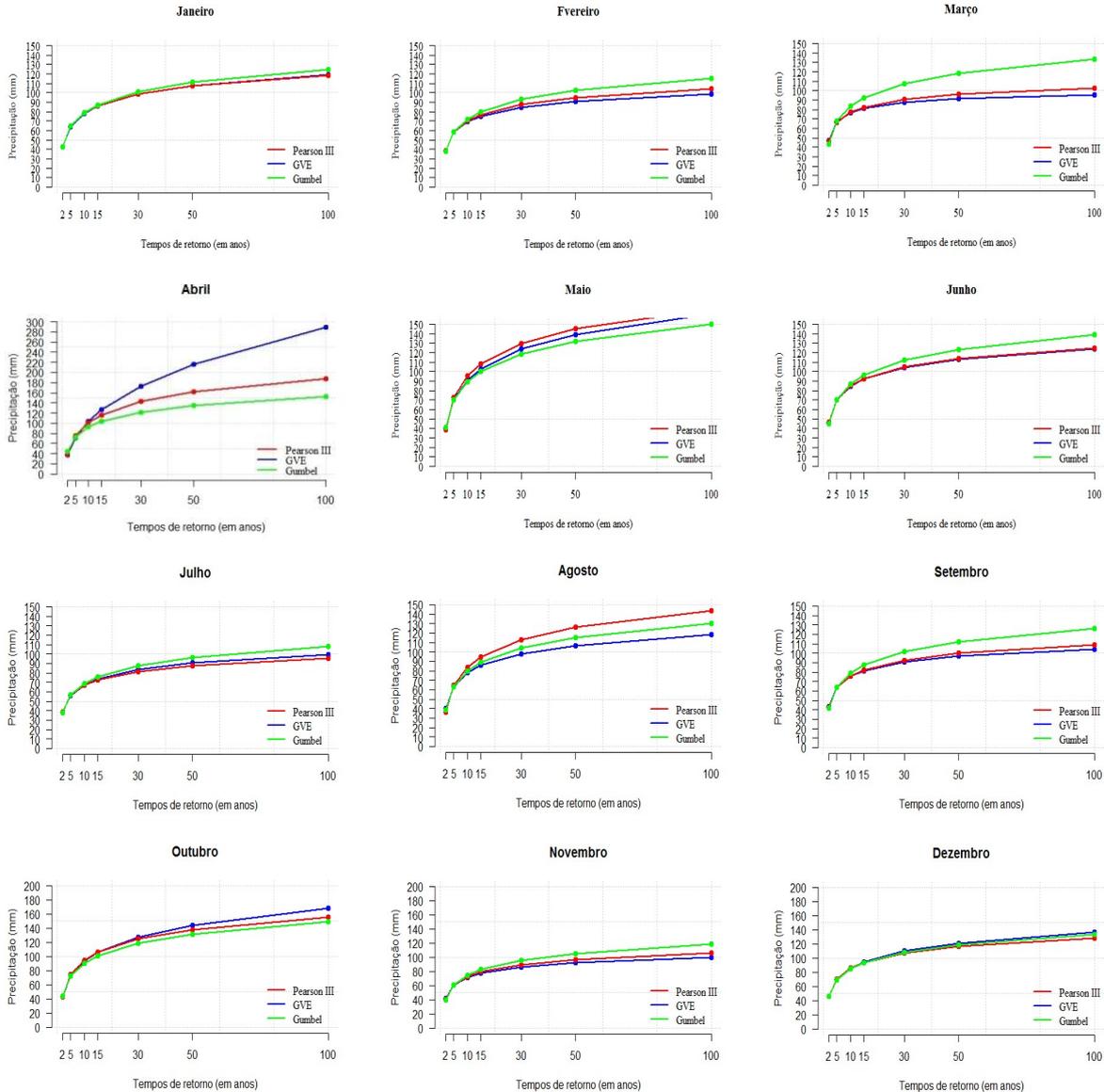


Figura 2. Níveis de retorno estimados de precipitações pluviárias máximas em diversos períodos de retorno do período de 1961 a 2002 do município de Santa Maria, RS

Figure 2. Estimated return levels of maximum rainfall in different return periods from 1961 to 2002 in the municipality of Santa Maria, RS.

Agradecimentos: Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo, ao BDMEP pela série de dados e à UFSCar pelo apoio financeiro.

Contribuição dos autores: G.R.L. - conceituação, metodologia, análise estatística, pesquisa e administração, redação e revisão; O.M.T. - pesquisa, redação, revisão e formatação; P.A.M. - metodologia, análise estatística, pesquisa, validação, redação. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Não se aplica.

Revisão por comitê institucional: Não se aplica.

Comitê de Ética: Não se aplica.

Disponibilização de dados: **Contribuição dos autores:** Os dados podem ser solicitados no site do BDMEP, no link <https://bdmep.inmet.gov.br/>

Conflito de Interesse: Os autores declaram que não existem conflitos de interesse com outros pesquisadores ou instituições.