

Distribuição Generalizada de Pareto aplicada à análise de eventos extremos de chuva em Uruguaiana-RS

Gilberto Rodrigues Liska; Amanda Larissa Alves Martins; Luiz Alberto Beijo; Marcelo Ângelo Cirillo; Fortunato Silva Menezes
gilbertoliska@ufscar.br

UFSCar - CCA - DTAiSeR

V International Seminar on Statistics with R





Sumário

- 1 Introdução
- 2 Metodologia
- 3 Apresentação da Pesquisa e Análise dos Resultados
- 4 Considerações Finais
- 5 Referências



Introdução

- A chuva é vital para a vida na Terra;
- Sua elevada ocorrência com dias de chuva consecutivos e chuvas com grande intensidade;
- **Consequências negativas.**



Figura 1: Inundação na cidade de Uruguaiana



Análise de Eventos Extremos

- Distribuição Generalizada de Pareto (1975);
- Dado o uso de modelos probabilísticos, avaliar sua qualidade de ajuste é uma tarefa igualmente importante;
- O ajuste por meio de estimativas dos parâmetros das distribuições ajustadas pode levar à ocorrência de erro tipo II e para contornar esse fato, propõe-se um estudo de simulação.



Disponibilidade dos materiais

Material: Todos os materiais (apresentação, script em R, arquivo de dados) estarão disponíveis em pasta virtual ([V_SER_Gilberto](https://1drv.ms/u/s!AvxsaQZPoPWd4TquBa0e7zxRvNvv?e=Z9Qm38))

Link da pasta virtual: [https://1drv.ms/u/s!
AvxsaQZPoPWd4TquBa0e7zxRvNvv?e=Z9Qm38](https://1drv.ms/u/s!AvxsaQZPoPWd4TquBa0e7zxRvNvv?e=Z9Qm38)



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Metodologia**
- 3 Apresentação da Pesquisa e Análise dos Resultados
- 4 Considerações Finais
- 5 Referências



Metodologia: Dados

- Dados climatológicos fornecidos pelo Banco de Dados Meteorológicos de Ensino e Pesquisa (BDMEP) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de janeiro de 1961 a abril de 2019;
- Os dados foram agrupados em períodos mensais e em cada mês foi utilizado o método dos excedentes;
- Metodologia POT (*PeaksOverThreshold*).



Metodologia: Distribuição Generalizada de Pareto

- Foi adotada a GPD, cuja função de distribuição é:

$$F(x|\xi, \sigma, u) = \begin{cases} 1 - \left[1 + \xi \left(\frac{x-u}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\xi}}, & \xi \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{x-u}{\sigma}\right), & \xi \rightarrow 0 \end{cases} \quad (1)$$

onde u é o limiar, σ é o parâmetro de escala e ξ é o parâmetro de forma.

- Através da GPD, podemos obter três classes de distribuições padrões que são as: Tipo I: Exponencial ($\lim_{\xi \rightarrow 0} F(x|\xi, \sigma, u)$), Tipo II: Pareto ($\xi > 0$) e Tipo III: Beta ou Pareto comum ($\xi < 0$).



Metodologia: Escolha do limiar

- Para escolha de um limiar apropriado:

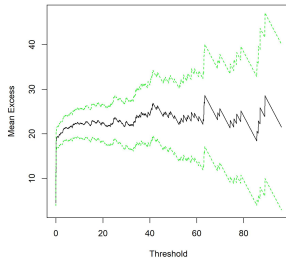


Figura 2: Gráfico de vida média residual para a escolha de um limiar

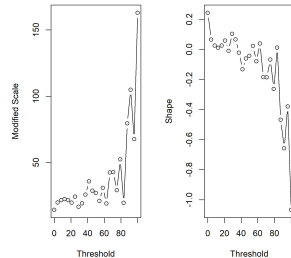


Figura 3: Gráfico de escolha de limiar para parâmetros estimados de escala e de forma

- Após a seleção do limiar, foram estimados os parâmetros da GPD pelo método da máxima verossimilhança.



Metodologia: Testes de hipóteses

- A adequidade do ajuste da GPD aos dados foi validada pelo teste de aderência Kolmogorov Smirnov(KS) e teste de independência de Ljung Box(LB);
- Foi aplicado o teste de Mann-Kendall;
- Teste de razão de verossimilhança (TRV), cuja estatística de teste é:

$$\Lambda = 2 \left[l(\hat{\sigma}, \hat{\xi}) - l(\hat{\sigma}) \right], \quad (2)$$

- Para todos os teste foi adotado 1% como nível de significância.



Metodologia: Probabilidades e Nível de retorno

Cálculo de Probabilidades e Níveis de Retorno

- A probabilidade de que um nível seja excedido é dado por

$$\Pr[X > x] = \lambda \left[1 + \xi \left(\frac{x - u}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \quad (3)$$

onde $\lambda = \Pr[X > u]$ e ξ e σ são as estimativas de máxima verossimilhança.

- O nível de retorno é o nível esperado para ser excedido uma vez a cada N anos.
- Além das estimativas do nível de retorno, foram construídos os intervalos de confiança associados aos períodos de retorno de 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anos.



Metodologia: Simulação computacional

Estudo de simulação para avaliar a qualidade do ajuste para distribuições de valores extremos

- Método de Monte Carlo;
- Série de treinamento (1961-1991);
- Série de teste (1992-2019);
- São considerados dois cenários: (1) gera amostras da distribuição Exponencial com os parâmetros estimados e; (2) gera amostras da GPD com os parâmetros estimados;

Cada cenário foi repetido 10.000 vezes. Depois disso, obteve-se a média de Monte Carlo do MAPE (erro percentual médio absoluto) e RMSE (raiz quadrada do erro quadrático médio).



Metodologia: Simulação computacional

Além disso, foram calculados os seguintes:

- Proporção da qual o TRV resultou em um p -valor superior ao nível de significância de 1% denotado de \hat{p}_{TRV} ;
- Proporção da qual o MAPE da GPD é maior do que o MAPE da distribuição Exponencial, denotado por \hat{p}_{MAPE} ;
- Proporção da qual a RMSE da GPD é maior do que a RMSE da distribuição Exponencial, denotada por \hat{p}_{RMSE} ;

Ressalta-se que os tempos de retorno adotados compreendem o tempo da série de testes.

Recursos Computacionais



- Para a realização dos testes de hipóteses, estimação dos parâmetros, cálculo das probabilidades, níveis de retorno e estudo de simulação, foi utilizado o Sistema Computacional Estatístico R, conforme *RCoreTeam* (2017) e pacote *evd* (2002).





Sumário

- 1 Introdução
- 2 Metodologia
- 3 Apresentação da Pesquisa e Análise dos Resultados**
- 4 Considerações Finais
- 5 Referências



Apresentação da Pesquisa e Análise dos Resultados

Tabela 1: Limiar (\hat{u}), estimativas dos parâmetros e teste de Hipóteses (p -valor) das distribuições Generalizada de Pareto (GPD) e Exponencial para dados de chuva máxima mensal em Uruguaiana, RS.

| Mês | Distribuição de Probabilidade | \hat{u} | $\hat{\sigma}$ | $\hat{\xi}$ | TRV | KS | LB | Mann Kendall |
|-----------|-------------------------------|-----------|----------------|-------------|-------|-------|-------|--------------|
| Janeiro | Exponencial | 40 | 24,1319 | - | 0,883 | 0,774 | 0,242 | 0,7413 |
| | GPD | 40 | 24,6996 | -0,0239 | | 0,762 | | |
| Fevereiro | Exponencial | 40 | 27,875 | - | 0,773 | 0,772 | 0,821 | 0,4654 |
| | GPD | 40 | 29,2355 | -0,0486 | | 0,723 | | |
| Março | Exponencial | 35 | 27,7219 | - | 0,377 | 0,717 | 0,266 | 0,0555 |
| | GPD | 35 | 31,9006 | -0,1463 | | 0,459 | | |
| Abril | Exponencial | 50 | 29,7306 | - | 0,376 | 0,951 | 0,374 | 0,4456 |
| | GPD | 50 | 35,3042 | -0,1832 | | 0,9 | | |
| Maio | Exponencial | 45 | 30,9034 | - | 0,941 | 0,602 | 0,288 | 0,5735 |
| | GPD | 45 | 30,3336 | 0,019 | | 0,637 | | |
| Junho | Exponencial | 30 | 20,4484 | - | 0,051 | 0,113 | 0,222 | 0,1738 |
| | GPD | 30 | 14,1875 | 0,3039 | | 0,527 | | |
| Julho | Exponencial | 35 | 13,3269 | - | 0,788 | 0,848 | 0,099 | 0,0291 |
| | GPD | 35 | 12,2025 | 0,087 | | 0,889 | | |
| Agosto | Exponencial | 35 | 16,8577 | - | 0,179 | 0,083 | 0,021 | 0,7407 |
| | GPD | 35 | 12,977 | 0,227 | | 0,039 | | |
| Setembro | Exponencial | 23 | 20,0213 | - | 0,216 | 0,378 | 0,675 | 0,2254 |
| | GPD | 23 | 24,3738 | -0,2069 | | 0,181 | | |
| Outubro | Exponencial | 40 | 21,7176 | - | 0,482 | 0,478 | 0,27 | 0,6963 |
| | GPD | 40 | 19,4466 | 0,1053 | | 0,752 | | |
| Novembro | Exponencial | 40 | 20,4262 | - | 0,578 | 0,526 | 0,758 | 0,0415 |
| | GPD | 40 | 21,9398 | -0,0755 | | 0,684 | | |
| Dezembro | Exponencial | 40 | 21,1594 | - | 0,973 | 0,665 | 0,763 | 0,6555 |
| | GPD | 40 | 21,0502 | 0,0052 | | 0,677 | | |

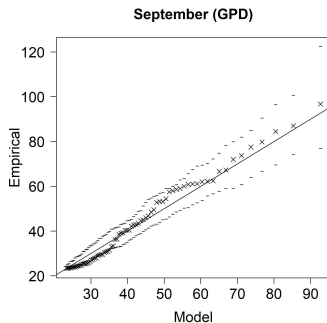
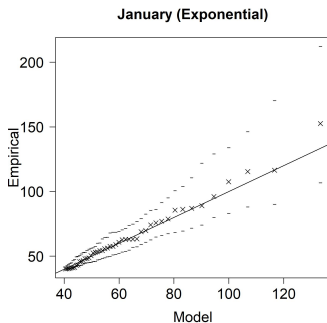


Figura 4: Gráficos de ajuste da melhor distribuição mostrada pela comparação das tabelas 4 e 5 para os dados de precipitação máxima mensal da cidade de Uruguaiana-RS.

Tabela 2: Probabilidades (%) de ocorrência de chuvas pelas distribuições de probabilidade dos dados mensais de precipitação máxima do município de Uruguaiana, RS.

| Mês | Distribuição de Probabilidade | Quantidade de chuva (mm) | | | | |
|-----------|-------------------------------|--------------------------|-------|-------|------|------|
| | | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 |
| Janeiro | Exponencial | 66,07 | 23,45 | 8,32 | 2,95 | 1,05 |
| | GPD | 66,58 | 23,65 | 8,19 | 2,76 | 0,9 |
| Fevereiro | Exponencial | 69,86 | 28,49 | 11,62 | 4,74 | 1,93 |
| | GPD | 70,83 | 29,13 | 11,51 | 4,35 | 1,57 |
| Março | Exponencial | 58,21 | 23,62 | 9,59 | 3,89 | 1,58 |
| | GPD | 61,44 | 25,03 | 8,9 | 2,63 | 0,6 |
| Abril | Exponencial | 100 | 43,13 | 18,6 | 8,02 | 3,46 |
| | GPD | 100 | 46,84 | 19,4 | 6,78 | 1,84 |
| Maio | Exponencial | 85,06 | 37,88 | 16,87 | 7,51 | 3,35 |
| | GPD | 84,83 | 37,54 | 16,82 | 7,63 | 3,5 |
| Junho | Exponencial | 37,6 | 11,07 | 3,26 | 0,96 | 0,28 |
| | GPD | 30,93 | 10,85 | 4,91 | 2,59 | 1,52 |
| Julho | Exponencial | 32,45 | 4,97 | 0,76 | 0,12 | 0,02 |
| | GPD | 31,1 | 5,59 | 1,26 | 0,34 | 0,1 |
| Agosto | Exponencial | 41,07 | 9,32 | 2,12 | 0,48 | 0,11 |
| | GPD | 35,83 | 9,66 | 3,52 | 1,55 | 0,78 |
| Setembro | Exponencial | 25,96 | 7,45 | 2,14 | 0,61 | 0,18 |
| | GPD | 28,42 | 5,99 | 0,6 | 0,01 | 0 |
| Outubro | Exponencial | 63,1 | 19,96 | 6,31 | 2 | 0,63 |
| | GPD | 60,61 | 19,24 | 6,91 | 2,74 | 1,18 |
| Novembro | Exponencial | 61,29 | 18,02 | 5,3 | 1,56 | 0,46 |
| | GPD | 62,89 | 18,27 | 4,67 | 1,02 | 0,18 |
| Dezembro | Exponencial | 62,34 | 19,13 | 5,87 | 1,8 | 0,55 |
| | GPD | 62,22 | 19,1 | 5,9 | 1,84 | 0,58 |

Tabela 3: Estimativas dos níveis de retorno (mm) pelas distribuições de probabilidade dos dados mensais de precipitação máxima do município de Uruguaiana, RS.

| Mês | Distribuição de Probabilidade | Tempo de Retorno (anos) | | | | | |
|-----------|-------------------------------|-------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2 | 5 | 10 | 30 | 50 | 100 |
| Janeiro | Exponencial | 56,01 | 78,12 | 94,85 | 121,36 | 133,69 | 150,41 |
| | GPD | 56,27 | 78,28 | 94,73 | 120,24 | 132,01 | 148,07 |
| Fevereiro | Exponencial | 67,97 | 93,51 | 112,83 | 143,46 | 157,69 | 177,02 |
| | GPD | 68,65 | 93,58 | 111,76 | 139,79 | 152,49 | 171,05 |
| Março | Exponencial | 64,78 | 90,18 | 109,39 | 139,85 | 154,01 | 173,23 |
| | GPD | 66,73 | 90,18 | 105,82 | 127,88 | 136,67 | 149,79 |
| Abril | Exponencial | 61,26 | 88,5 | 109,11 | 141,77 | 156,96 | 177,57 |
| | GPD | 62,94 | 90,69 | 109,09 | 133,4 | 143,2 | 155,29 |
| Maio | Exponencial | 49,55 | 77,86 | 99,28 | 133,23 | 149,02 | 170,44 |
| | GPD | 49,46 | 77,58 | 99,22 | 133,71 | 149,47 | 173,03 |
| Junho | Exponencial | 34,11 | 52,85 | 67,02 | 89,49 | 99,94 | 114,11 |
| | GPD | 32,94 | 48,88 | 64,2 | 96,2 | 114,48 | 131,16 |
| Julho | Exponencial | 35,63 | 47,84 | 57,08 | 71,72 | 78,52 | 87,76 |
| | GPD | 35,57 | 47,25 | 56,73 | 72,96 | 80,89 | 92,18 |
| Agosto | Exponencial | 35,88 | 51,33 | 63,01 | 81,53 | 90,14 | 101,83 |
| | GPD | 35,68 | 49,05 | 61,19 | 84,6 | 97,89 | 117,3 |
| Setembro | Exponencial | 45,29 | 63,64 | 77,51 | 99,51 | 109,74 | 123,62 |
| | GPD | 47,24 | 63,4 | 73,73 | 87,43 | 92,8 | 99,41 |
| Outubro | Exponencial | 56,28 | 76,18 | 91,24 | 115,1 | 126,19 | 141,24 |
| | GPD | 55,18 | 75,43 | 92,09 | 120,66 | 134,59 | 152,27 |
| Novembro | Exponencial | 51,14 | 69,85 | 84,01 | 106,45 | 116,88 | 131,04 |
| | GPD | 51,72 | 70,37 | 83,64 | 103,28 | 112,03 | 123,35 |
| Dezembro | Exponencial | 60,54 | 79,93 | 94,6 | 117,84 | 128,65 | 143,32 |
| | GPD | 60,49 | 79,93 | 94,6 | 117,85 | 128,65 | 143,32 |

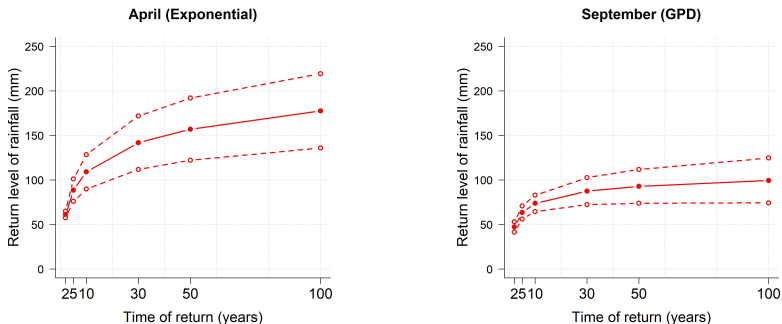


Figura 5: Gráficos de níveis de retorno (em anos) e intervalos de confiança para os dados de precipitação máxima mensal do município de Uruguaiana-RS. As linhas tracejadas representam o intervalo de confiança de 95% e as linhas sólidas representam o nível de retorno estimado pela melhor distribuição mostrada pela comparação das tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Resultados de cenário 1 para a simulação de Monte Carlo em 10000 repetições para cada mês do ano para as distribuições Exponencial e GPD dos dados mensais de precipitação máxima em Uruguaiana-RS.

| Mês | Distribuição de Probabilidade* | MAPE | RMSE | $\hat{p}_{MAPE}(\%)$ | $\hat{p}_{RMSE}(\%)$ | $\hat{p}_{TRV}(\%)$ |
|-----------|--------------------------------|-------|--------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Janeiro | <i>Exponencial</i> | 23,99 | 37,11 | 54,31 | 54,31 | 94,42 |
| | <u>GPD</u> | 24,05 | 37,23 | | | |
| Fevereiro | <i>Exponencial</i> | 33,18 | 20,69 | 51,04 | 49,32 | 94,80 |
| | <u>GPD</u> | 33,19 | 20,72 | | | |
| Março | <i>Exponencial</i> | 20,92 | 27,70 | 54,70 | 54,76 | 94,58 |
| | <u>GPD</u> | 21,01 | 27,79 | | | |
| Abril | <i>Exponencial</i> | 22,59 | 44,44 | 54,17 | 56,19 | 94,70 |
| | <u>GPD</u> | 22,68 | 44,50 | | | |
| Maio | <i>Exponencial</i> | 15,14 | 19,57 | 44,69 | 44,69 | 94,55 |
| | <u>GPD</u> | 15,00 | 19,38 | | | |
| Junho | <i>Exponencial</i> | 56,70 | 105,47 | 54,57 | 54,57 | 94,86 |
| | <u>GPD</u> | 56,74 | 105,54 | | | |
| Julho | <i>Exponencial</i> | 53,30 | 25,42 | 45,96 | 45,97 | 94,94 |
| | <u>GPD</u> | 53,19 | 25,36 | | | |
| Agosto | <i>Exponencial</i> | 89,39 | 25,72 | 50,06 | 48,36 | 94,80 |
| | <u>GPD</u> | 89,38 | 25,73 | | | |
| Setembro | <i>Exponencial</i> | 25,32 | 15,25 | 45,91 | 45,91 | 94,79 |
| | <u>GPD</u> | 25,20 | 15,16 | | | |
| Outubro | <i>Exponencial</i> | 31,36 | 52,15 | 53,28 | 53,28 | 94,64 |
| | <u>GPD</u> | 31,41 | 52,26 | | | |
| Novembro | <i>Exponencial</i> | 13,19 | 12,65 | 46,00 | 45,92 | 94,72 |
| | <u>GPD</u> | 13,15 | 12,61 | | | |
| Dezembro | <i>Exponencial</i> | 20,77 | 18,48 | 54,47 | 54,47 | 94,56 |
| | <u>GPD</u> | 20,86 | 18,59 | | | |

* A distribuição de probabilidade em *itálico* indica que a distribuição exponencial é melhor em relação ao mês. A distribuição de probabilidade em sublinhado indica que a GPD é melhor em relação ao mês. MAPE: Erro percentual médio absoluto. RMSE: Raiz quadrada do erro quadrático médio. \hat{p}_{TRV} : proporção da qual o TRV resultou em um p -valor maior que o nível de significância de 1%. \hat{p}_{MAPE} : proporção da qual o MAPE da GPD é maior do que o MAPE da distribuição Exponencial. \hat{p}_{RMSE} : proporção em que o RMSE da GPD é maior que RMSE da distribuição Exponencial.

Tabela 5: Resultados do cenário 2 para simulação de Monte Carlo em 10000 repetições para cada mês do ano para as distribuições Exponencial e GPD dos dados mensais de precipitação máxima em Uruguaiana-RS.

| Mês | Distribuição de Probabilidade* | MAPE | RMSE | $\hat{p}_{MAPE}(\%)$ | $\hat{p}_{RMSE}(\%)$ | $\hat{p}_{TRV}(\%)$ |
|-----------|--------------------------------|-------|--------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Janeiro | <i>Exponencial</i> | 24,03 | 37,19 | 77,86 | 77,87 | 89,19 |
| | <u>GPD</u> | 24,46 | 37,88 | | | |
| Fevereiro | <i>Exponencial</i> | 33,17 | 20,68 | 22,36 | 16,95 | 76,05 |
| | <u>GPD</u> | 32,90 | 20,41 | | | |
| Março | <i>Exponencial</i> | 20,15 | 26,97 | 100,00 | 100,00 | 1,26 |
| | <u>GPD</u> | 22,88 | 28,96 | | | |
| Abril | <i>Exponencial</i> | 22,45 | 44,30 | 100,00 | 100,00 | 0,06 |
| | <u>GPD</u> | 25,64 | 45,86 | | | |
| Maio | <i>Exponencial</i> | 15,16 | 19,61 | 65,69 | 65,68 | 92,11 |
| | <u>GPD</u> | 15,61 | 20,23 | | | |
| Junho | <i>Exponencial</i> | 63,92 | 117,87 | 11,86 | 11,86 | 73,48 |
| | <u>GPD</u> | 63,58 | 117,32 | | | |
| Julho | <i>Exponencial</i> | 53,59 | 25,56 | 97,94 | 97,95 | 39,20 |
| | <u>GPD</u> | 55,74 | 26,91 | | | |
| Agosto | <i>Exponencial</i> | 89,19 | 25,66 | 70,84 | 91,60 | 0,20 |
| | <u>GPD</u> | 89,49 | 26,25 | | | |
| Setembro | <i>Exponencial</i> | 25,85 | 15,63 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| | <u>GPD</u> | 20,31 | 10,93 | | | |
| Outubro | <i>Exponencial</i> | 31,34 | 42,09 | 1,09 | 1,09 | 26,54 |
| | <u>GPD</u> | 30,03 | 49,72 | | | |
| Novembro | <i>Exponencial</i> | 13,14 | 12,61 | 1,69 | 1,34 | 48,83 |
| | <u>GPD</u> | 11,72 | 11,54 | | | |
| Dezembro | <i>Exponencial</i> | 20,77 | 18,48 | 48,16 | 48,16 | 94,71 |
| | <u>GPD</u> | 20,74 | 18,45 | | | |

* A distribuição de probabilidade em itálico indica que a distribuição exponencial é melhor em relação ao mês. A distribuição de probabilidade em sublinhado indica que a GPD é melhor em relação ao mês. MAPE: Erro percentual médio absoluto. RMSE: Raiz quadrada do erro quadrático médio. \hat{p}_{TRV} : proporção da qual o TRV resultou em um p -valor maior que o nível de significância de 1%. \hat{p}_{MAPE} : proporção da qual o MAPE da GPD é maior do que o MAPE da distribuição Exponencial. \hat{p}_{RMSE} : proporção em que o RMSE da GPD é maior que RMSE da distribuição Exponencial.



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Metodologia
- 3 Apresentação da Pesquisa e Análise dos Resultados
- 4 Considerações Finais**
- 5 Referências



Considerações Finais

- A distribuição generalizada de Pareto foi ajustada satisfatoriamente em todos os meses e pode ser usada para fornecer níveis extremos de precipitação máxima;
- Foram calculadas as estimativas de precipitação dos meses de janeiro a dezembro para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anos. A maior estimativa foi observada em abril e o menor nível de retorno foi em julho;
- Não foi encontrada tendência dos máximos mensais de precipitação pluviométrica pelo teste de Mann-Kendall;
- As estimativas intervalares fornecem valores mais seguros de precipitações máximas prováveis, e podem ser usadas para auxiliar no planejamento urbano e rural na cidade de Uruguaiana-RS;
- Ao comparar as distribuições por simulação computacional, foi possível identificar a verdadeira distribuição de probabilidade dos valores extremos do excesso de um limiar;



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Metodologia
- 3 Apresentação da Pesquisa e Análise dos Resultados
- 4 Considerações Finais
- 5 Referências**



Referências

- 1 Beijo, L. A.; Muniz, J. A. & Castro Neto, P. Maximum rainfall return period by extreme values type I distribution in Lavras, Minas Gerais state, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, 2005, 29, 657-667
- 2 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*, 2014, 34, 992-1000
- 3 da Pereira Britto, F. D. R.; Barletta, R. & Mendonça, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, 2006, 2, 35-52
- 4 Coles, S. An introduction to statistical modeling of extreme values. Great Britain: Springer (2001)
- 5 G1. Deslizamentos de terra em Rolante atingiram 230 hectares. Available in: <http://glo.bo/2kvctLE>. Accessed in 20 may 2020
- 6 Herrmann, M. L. P. Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, IOESC, 2006, 1, 146
- 7 Mendes, B. V. DE M. Introdução à análise de eventos extremos. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda (2004)
- 8 R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.



Referências

- 1 Rizzo, M. L. Statistical Computing with R Chapman and Hall/CRC, 2007, 416
- 2 Sá, E. A. S.; de Moura, C. N.; Padilha, V. L. & Campos, C. G. C. Trends in daily precipitation in highlands region of Santa Catarina, southern Brazil. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 2018, 13, 1-13
- 3 Salviano, M. F.; Groppo, J. D. & Pellegrino, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2016, 31, 64-73
- 4 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 Recursos Hídricos*, 2013, 34, 5-12
- 5 Silva, D. D. da; Gomes Filho, R. R.; Pruski, F. F.; Pereira, S. B. & de Novaes, L. F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2002, 6, 362-367
- 6 Stephenson, A. G. evd: Extreme Value Distributions. *R News*, 2002, 2, 31-32
- 7 Thomas, M. et al. Applications of extreme value theory in public health. *PLoS ONE*, p. 1-7 (2016)
- 8 Wishcmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, p. 67, (1978)

Obrigado pela atenção!

artigo original em <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03199-8>