

AVALIAÇÃO DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADES PARA CHUVAS MÁXIMAS DE LEBON RÉGIS - SANTA CATARINA

Charles Seidel¹, Juliane Garcia Knapik Justen², Álvaro José Back³

RESUMO: O dimensionamento de obras hidráulicas relacionadas à drenagem urbana e rural requer a estimativa da chuva máxima com determinado período de retorno. Para obter essa estimativa deve-se utilizar uma distribuição de probabilidades adequada. Este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes distribuições de probabilidades para a estimativa da chuva máxima de Lebon Régis (SC). Com base nas séries de máximas anuais de 1977 a 2021 foram ajustadas as distribuições de probabilidades Gumbel, Frechet, GEV, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal com dois e três parâmetros. Os parâmetros foram ajustados pelo método dos momentos, método da máxima verossimilhança e método dos L-Momentos. A aderência foi avaliada com os testes de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. Para selecionar a melhor distribuição foram usados quatro índices de desempenho. Os resultados mostram que a distribuição GEV com parâmetros estimados com o método dos L-Momentos foi a que melhor se ajustou e dessa forma foi usada na estimativa a chuva máxima para períodos de retorno de 2 a 100 anos.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação, hidrologia, probabilidades.

EVALUATION OF PROBABILITY DISTRIBUTIONS FOR MAXIMUM RAINFALL IN LEBON RÉGIS - SANTA CATARINA

ABSTRACT: In the design of hydraulic works related to urban and rural drainage, it is necessary to estimate the maximum rainfall with a given return period. To obtain this estimate, an adequate probability distribution must be used. This work aimed to evaluate different probability distributions for estimating the maximum rainfall in Lebon Régis (SC). Based on

¹ Eng. Agrônomo, MSc. Eng. Agrícola, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, (Epagri), Escritório de Rio das Antas, SC, CEP 89550-000, Fone (49)35616458, email: seidel@epagri.sc.gov.br

² Eng^a. Florestal, MSc. Ciências Florestais, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, (Epagri), Gerência Regional de Rio do Sul

³ Eng. Agrônomo, MSc. Irrigação e Drenagem, Dr. em Engenharia, pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), Estação Experimental de Urussanga, Urussanga, Santa Catarina

the series of annual maximums from 1977 to 2021, the Gumbel, Frechet, GEV, Pearson Type III, Log-Pearson Type III, Log-Normal with two and three parameters probability distributions were adjusted. The parameters were adjusted by the method of moments, the maximum likelihood method and the L-Moments method. Adherence was evaluated with the Kolmogorov-Smirnov and Anderson-Darling tests. To select the best distribution, four performance indices were used. The results show that the GEV distribution with parameters estimated with the L-moments method was the best fit and thus was used to estimate the maximum rainfall for return periods from 2 to 100 years.

KEYWORDS: drainage, hydrology, probabilities.

INTRODUÇÃO

As chuvas intensas são responsáveis por problemas de alagamentos, inundações e podem causar deslizamento de terra. Conhecer o risco de ocorrência de eventos extremos é fundamental para o estabelecimento de medidas mitigadoras e principalmente para o dimensionamento de medidas estruturais como canais de drenagem, bueiros, reservatórios. Borges & Thabaldi (2016) destacam que em obras rurais, é necessário das chuvas máximas para o planejamento de sistemas de terraceamento agrícola, drenagem em estradas e a implantação de barragens para atenuação de cheias.

O dimensionamento dessas obras requer dados de chuvas máximas associadas à níveis de probabilidade, ou como normalmente usados, chuvas com um período de retorno definido para cada tipo de projeto. A metodologia usada é avaliar as frequências observadas nas séries históricas de precipitação e, com base em uma distribuição de probabilidades adequada, estimar a chuva máxima esperada com determinado período de retorno.

Existem várias distribuições de probabilidade que podem ser usadas na estimativa da chuva máxima, destacando-se as distribuições de Gumbel, Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV), Pearson tipo III e Log-Pearson Tipo III (USWRC, 1981; DAS & SIMONOVIC, 2011; ALCÂNTARA et al., 2019; BACK & BONFANTE, 2021). A distribuição de Gumbel é muito utilizada para o estudo de chuvas máximas, muitas vezes sem testar outras distribuições (BACK, 2013; BORGES & THABALDI, 2016; OTTERO et al., 2018). Existem estudos apontando a distribuição GEV como mais adequada (QUADROS et al., 2011; ALVES et al., 2013; BRANCO et al., 2022). A distribuição de Log-Pearson tipo III, é muito usada nos Estados Unidos (MILLINGTON et al., 2011). No entanto, não se pode definir

a priori qual é a melhor distribuição. Uma alternativa é testar várias distribuições e selecionar a que melhor se ajusta aos dados locais.

No ajuste de distribuições de probabilidade ao conjunto de dados hidrológicos deve-se inicialmente fazer a estimativa dos seus parâmetros, onde, dentre vários métodos, se destacam o Método dos Momentos (MM), o Método dos Momentos-L (ML) e o método da máxima Verossimilhança (MV) (ABREU et al., 2018). Como o método de ajuste dos parâmetros influencia nos resultados da chuva máxima é necessário averiguar qual o melhor método para estimar os parâmetros (VALVERDE et al., 2004; MARQUES et al., 2014). Este estudo teve como objetivo avaliar a distribuição de probabilidades para estimativa da chuva máxima de Lebon Régis, Santa Catarina.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados de precipitação estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), localizada no município de Lebon Régis (SC). A estação (código 02650019) está localizada nas coordenadas de latitude $-26,9017^\circ$, longitude $-50,6592^\circ$ e altitude de 1000 m (ANA, 2023). No estudo foram usados os dados diários do período de 1977 a 2021 e determinadas as séries de máximas anuais, excluindo os anos com falhas nas observações.

Foram empregadas as distribuições de Gumbel, distribuição de Frechet, Distribuição Generalizada de Valores Extremos, Distribuição Pearson Tipo III, distribuição Log-Pearson tipo III, distribuição Log-Normal com 2 parâmetros, distribuição Log-Normal com três parâmetros (KITE, 1977; NAGHETTINI & PINTO, 2007). Na Tabela 1 constam as funções densidade das respectivas distribuições.

Os parâmetros foram estimados pelo Método dos Momentos (MM), Método da Máxima Verossimilhança (MV), método L-Momentos (LM) (HOSKING 2005). Para a distribuição Gumbel ainda foi usado o método de Chow (Ch) por sua larga aplicação na hidrologia. Para avaliar a aderência dos dados foram utilizados os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS) e Anderson-Darling (AD), ao nível de significância de 5% (KITE, 1977; NAGHETTINI & PINTO, 2007).

Tabela 1. Função densidade de probabilidade e parâmetros das distribuições testadas.

Distribuição	Função densidade de probabilidade	Parâmetros da distribuição		
		Escala	Forma	Posição
Gumbel	$f(x) = \alpha e^{\{-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}\}}$	α	-	β
Frechet	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\beta}{x}\right)^{\alpha+1} \exp\left(-\left(\frac{\beta}{x}\right)^\alpha\right)$	α	-	β
GEV	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 + k \left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right]^{-\left(\frac{1+k}{k}\right)} \exp\left\{-\left[1 + k \left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right]^{-\left(\frac{1}{k}\right)}\right\}$	α	K	β
Pearson III	$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)}$	γ	-	β
Log-Pearson III	$f(x) = \frac{1}{\alpha X\Gamma(\beta)} \left\{\frac{\ln(X)-\gamma}{\alpha}\right\}^{\beta-1} e^{-\left\{\frac{\ln(X)-\gamma}{\alpha}\right\}}$	γ	α	β
Log-Normal 2p.	$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\ln x - \mu_y]^2}{2\sigma_y^2}}$	μ_y	σ_y	-
Log-Normal 3p.	e^{σ_y}	μ_y	σ_y	β

Para a seleção da melhor distribuição foram considerados os índices de desempenho dado pela Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), o Desvio Absoluto Médio Padronizado (SMAD), Erro Absoluto Médio (MAE) e o D-index, que é um critério que avalia a diferença entre as vazões observada e a estimada pela distribuição de probabilidade. As equações pra cálculo dos indices de desempenho são dadas por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{ei})^2}{n}} \quad (1)$$

$$SMAD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\hat{x}_{ei} - x_i}{\bar{x}} \right| \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_{ei} - x_i| \quad (3)$$

$$Dindex = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^6 |R_i - R_i^*| \quad (4)$$

em que:

RMSE= raiz do erro quadrático médio para uma dada distribuição de probabilidade;

X_i = a vazão observada de ordem i ;

X_{ei} = a vazão estimada pela distribuição teórica de probabilidade;

n = o número de elementos na série de mínimas anuais;

SMAD = Desvio Absoluto Médio Padronizado;

MAE = Erro Absoluto Médio;

R= o valor médio da série da precipitação registrada,

R's (i = 1 a 6) são os seis primeiros valores mais altos na série de precipitação registrada;

Ri* é a precipitação estimada por distribuição de probabilidade.

Na seleção da melhor distribuição foi elaborado um ranqueamento com os quatro índices de desempenho usado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série de máximas anuais adotada apresentou 42 dados, com média de 82,4 mm, mediana de 79,6 mm, menor valor de 39,7 e maior valor de 200,3 mm, apresentando coeficiente de assimetria de 2,28 e coeficiente de variação de 31,5% (Figura 1). Esses valores estão de acordo com as constatações de Back & Bonfante (2021) para as séries de chuvas máximas anuais de Santa Catarina. Observa-se na série a presença de dois valores extremos (Figura 1), que embora possam ser caracterizados como outliers, no entanto foram mantidos na série por se tratar de valores já registrados em outras estações pluviométricas do estado de Santa Catarina (BACK, 2022).

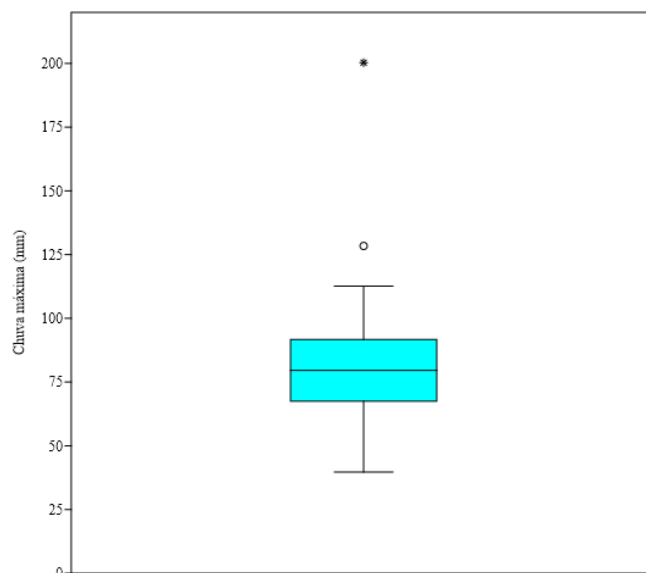


Figura 1. Box-plot da série de máximas anuais de chuva de Lebon Régis, Santa Catarina.

Na Tabela 2 constam os parâmetros das distribuições de probabilidades ajustadas e as estatísticas dos testes de aderência. Observa-se que o teste KS não rejeitou nenhuma das distribuições testadas. Já teste de AD rejeitou sete das dezenove distribuições testadas. Vários

trabalhos mostram que o teste KS é pouco rigoroso na rejeição de distribuições de probabilidades (BESKOW et al., 2015; BACK & BONFANTE, 2021).

Tabela 2. Parâmetros das distribuições e valores dos testes de aderência.

Distribuição de probabilidades	Parâmetros da distribuição			Teste de aderência	
	Forma	Escala	Posição	KS	AD
Gumbel-MM	20,274	70,738	-	0,1323	0,78
Gumbel-MV	18,948	71,762	-	0,1136	0,59
Gumbe-LM	18,364	71,835	-	0,1120	0,55
Gumbel-Chow	22,694	70,078	-	0,1414	1,18*
Log-Normal 2p-MM	4,372	0,281	-	0,1092	0,59
Log-Normal 2p -MV	4,372	0,278	-	0,1076	0,56
Log-Normal 2p -LM	4,374	0,275	-	0,1029	0,55
Log-Normal 3p -MM	3,488	0,603	43,190	0,1562	1,78*
Log-Normal 3p -MV	4,253	0,316	8,484	0,1151	0,61
Log-Normal 3p -LM	4,043	0,374	21,338	0,1172	0,62
Pearson Tipo III-MM	29,618	0,771	59,613	0,1974	4,36*
Pearson Tipo III -MV	10,045	5,585	26,336	0,1125	0,65
Pearson Tipo III -LM	12,867	3,315	39,792	0,1212	1,05*
Log-Pearson Tipo III-MV	0,021	169,651	0,759	0,1156	0,58
Log-Pearson Tipo III LM	0,108	6,466	3,675	0,1480	1,39*
GEV-MM	-0,132	16,438	70,504	0,1411	0,92
GEV-LM	-0,018	18,064	71,695	0,1148	0,57
Frechet- MM	5,014	70,849	-	0,1461	1,84*
Frechet-LM	4,827	70,321	-	0,1522	1,65*

Na Tabela 3 constam os valores dos índices de desempenho e o ranqueamento com cada índice e como escore total. Observa-se que o menor erro padrão de estimativa é obtido com a distribuição Frechet com parâmetros estimados pelo método dos L-Momentos. O menor D-index foi obtido com a distribuição Frechet-MM, no entanto, essas distribuições apresentam maiores valores de SMAD e MAE. A distribuição Gumbel com parâmetros ajustados pelo método e Chow apresentou os piores índices de desempenho, sendo rejeitada pelo teste de AD. A distribuição GEV-LM apresentou o menor valor para MAE e considerando os quatro índices de desempenho teve o melhor desempenho e dessa forma foi a distribuição selecionada para a estimativa das vazões máximas.

Quadros et al. (2011) destacaram que a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) tem facilitado muitas aplicações e tem crescente aceitação para descrição dos eventos máximos naturais, principalmente dados de cheias máximas anuais. Vários trabalhos realizados no Brasil destacam o uso da distribuição GEV (BLAIN & MORAES, 2011; FRANCO et al, 2014; FERREIRA et al., 2021). Esta distribuição tem sido aplicada para estudos de chuvas

máxima em vários países como Israel (BEN-ZVI, 2009) e vários países da Europa (SALINAS et al., 2014; OVEREEM et al., 2008; NAMITHA & VINOTHKUMAR, 2019).

Tabela 3. Valores do dos índices de desempenho com respectivo ranqueamento.

Distribuição de probabilidades	Índice de desempenho				Ranqueamento				
	RMSE	SMAD	MAE	Dindex	RMSE	SMAD	MAE	Dindex	Ranque
GB-MM	8,532	5,421	5,097	1,219	8	13	17	18	17
GB-MV	8,584	4,773	4,483	1,135	9	8	9	16	11
GB-LM	8,709	4,508	4,205	1,080	11	3	2	8	2
Gb-Chow	9,200	7,502	6,703	1,430	15	18	19	20	19
LN2-MM	9,202	4,605	4,457	1,118	16	5	8	14	13
LN2-MV	9,274	4,483	4,338	1,097	17	2	5	11	8
LN2-LM	9,318	4,435	4,296	1,094	18	1	3	10	7
LN3-MM	7,526	6,013	4,940	1,038	5	17	16	4	11
LN3-MV	8,942	4,775	4,531	1,127	13	9	11	15	14
LN3-LM	8,683	4,727	4,321	1,084	10	7	4	9	5
PE3-MM	8,497	8,057	6,191	1,079	6	19	18	7	15
PE3-MV	9,338	4,903	4,699	1,151	19	10	14	17	18
PE3-LM	9,012	5,060	4,581	1,117	14	11	13	13	16
LP3-MV	8,827	4,643	4,368	1,097	12	6	6	12	9
LP3 LM	7,466	5,628	4,732	1,042	4	15	15	5	10
GEV-MM	7,303	5,285	4,492	1,016	3	12	10	3	4
GEV-LM	8,523	4,548	4,188	1,071	7	4	1	6	1
Fr MM	6,942	5,514	4,378	0,850	2	14	7	1	2
Fr-LM	6,670	5,692	4,557	0,885	1	16	12	2	6

Os valores estimados de chuva máxima (Tabela 4) podem ser usados nos projetos de drenagem urbana e drenagem rural para a região de Lebon-Regis, Santa Catarina.

Tabela 4. Chuvas máximas estimadas para Lebon Regis SC.

T – Período de Retorno (anos)	Chuva máxima (mm)
2	78,3
5	99,1
10	113,2
20	126,8
25	131,1
50	144,7
100	157,2

CONCLUSÕES

A série de máxima anual de Lebon Régis (SC) apresentou média de apresentou média de 82,4 mm com coeficiente de variação de 31,5%, coeficiente de assimetria de 2,28 e presença de valor extremo de 200,3 mm. O teste KS não rejeitou nenhuma distribuição enquanto o teste

AD rejeitou sete das dezenove distribuições testadas. Adotando o escore pelos quatro índices de desempenho a distribuição GEV com parâmetros estimados pelo método L-Momentos foi selecionada para a estimativa dos valores de chuvas máximas anuais. Os valores de chuva máxima estimada com período de retorno de 2 a 100 anos podem ser usados nos projetos de drenagem para as áreas urbanas e rurais de região de Lebon Régis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. C.; CECÍLIOM R. A.; PRUSKI, F. F.; SANTOS, G. R.; ALMEIDA, L. T.; ZANETTIM S. S. Critérios para escolha de distribuições de probabilidades em estudos de eventos extremos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 4, p. 601-613, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Hidroweb: Sistemas de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <[http:// hidroweb.ana.gov.br](http://hidroweb.ana.gov.br)>. Acesso em: jan. 2023.

ALCÂNTARA, L. R. P. DE; MARTINS, L. A.; COSTA, I. R. A.; BARROS, V. H. O. A; SANTOS NETO, S. M.; COUTINHO, A. P.; ANTONINO, A. C. D. Evaluation of probabilistic models for heavy rains in the mesoregions of the state of Pernambuco. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n. 1, p. 90-103, 2019.

ALVES, A. V. P.; SANTOS, G. B. S. S.; MENEZES-FILHO, F. C. M.; SANCHES, L. Análise dos métodos de estimativa para os parâmetros das distribuições de Gumbel e GEV em eventos de precipitações máximas na cidade de Cuiabá MT. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 6, n. 1, p. 32 43, 2013.

BACK, Á. J. **Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem para o Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2013 p.193.

BACK, Á. J. BONFANTE, F. M. Evaluation of generalized extreme value and Gumbel distributions for estimating maximum daily rainfall. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais, RBCIAMB**, v. 56, n. 4, p. 654-664, 2021.

BEN-ZVI, A. Rainfall intensity-duration-frequency relationships derived from large partial duration series. **Journal of Hydrology**, v. 367, p. 104-114, 2009.

BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; MELLO, C. R.; FARIA L.C.; GUEDES, H. A. S., Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, n. 4, (part B), p. 123-133, 2015.

BLAIN, C. G.; MORAES, O. S. Caracterização estatística de oito séries de precipitação pluvial máxima diária da secretaria de agricultura e abastecimento do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 255-234, 2011.

BORGES, G. M. R.; THEBALDI, M. S. Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 4, p. 891-902, 2016.

BRANCO, K. P.; OLIVEIRA, A. C.; BEIJO, L. A. Predição da precipitação máxima de Manhuaçu-MG via abordagem Bayesiana. **Pensar Acadêmico**, v. 20, n. 2, p. 452-469, 2022.

DAS, N. M. S.; SIMONOVIC, S. P. The comparison of GEV, Log-Pearson type 3 and Gumbel distributions in the Upper Thames River Watershed under global climate models. **Water Resources Research Report**, n. 54, pp, 2011.

FERREIRA, T. R.; BEIJO, L. A.; AVELAR, F. G. Avaliação de distribuições de probabilidades no estudo de precipitação pluvial máxima de três cidades de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 526-544, 2021.

FRANCO, C. S.; MARQUES, R. F. P. V.; OLIVEIRA, A. S.; OLIVEIRA, L. F. C. Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 735,741, 2014.

HOSKING, J. R. M. **FORTTRAN routines for use with the method of L-moments. Version 3.04, Rep. No. RC 20525 (90933)**. IBM Research Division, T. J. Watson Research Center, Yorktown Heights, NY. 2005.

KITE, G. W. Frequency and risk analyses in hydrology. **Water Resources Publications**, n. 224, p. 1-21, 2012.

MARQUES, R. F. P. V.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; FRANCO, C. S.; OLIVEIRA, A. S. Performance of the probability distributions models applied to heavy rainfall daily events. **Ciênc. agrotec.**, v. 38, n. 4, p. 335-342, 2014.

MILLINGTON, N.; DAS, S.; SIMONOVIC, S. P. **The Comparison of GEV, Log-Pearson Type 3 and Gumbel Distributions in the Upper Thames River Watershed under Global**

Climate Models. Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario – Canada, report n.77, 2011. 52p.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística.** CPRM, Belo Horizonte 2007.

NAMITHA, M. R.; VINOTHKUMAR, V. Development of empirical models from rainfall-intensity-duration-frequency curves for consecutive Days maximum rainfall using GEV distribution. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 1, p. 2705-2709, 2019

OTTERO, C. L. R.; CHARGEL, L. T.; HORA, M. A. G. DA. Análise de Frequência dos Dados Pluviométricos Observados em 2011 e 2013 na Região Serrana, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 131-139, 2018.

QUADROS, L. E.; QUEIROZ, M. M. F.; BOAS M. A. V. Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas. **Acta. Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 401-410, 2011.

SALINAS, J. L.; CASTELLARIN, A.; KOHNOVÁ, S.; KJELDSEN, T. R. Regional parent flood frequency distributions in Europe-Part 2: Climate and scale controls. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 11, p. 4391-4401. 2014.

VALVERDE, A. E.; LEITE, H. G.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Momentos-L: teoria e aplicação em hidrologia. **Rev. árvore**, v. 28, n. 6, p. 927- 933, 2004.