IX-003 – AJUSTE DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES PARA CHUVAS DIÁRIAS EXTREMAS DE SAUDADES, SC

Álvaro José Back(1)
Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).
Juliano Possamai Della
Engenheiro Civil pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Mestre em Ciências Ambientais pela UNESC.
Ana Paula Nola Denski
Engenheira Ambiental pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Mestranda em Ciências Ambientais pela UNESC.
Sérgio Luciano Galatto
Engenheiro Ambiental pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Mestre em Ciências Ambientais pela UNESC. Professor de Climatologia dos Cursos de Engenharia Ambiental e Geografia da UNESC

Endereço(1): Rod. SC 446, km 16 – Bairro da Estação - Urussanga - SC - CEP: 88840-000 - Brasil - Tel: (48) 3651209 - e-mail: ajb@epagri.sc.gov.br

RESUMO

O estudo de precipitações extremas é de grande interesse nos trabalhos de hidrologia, por sua frequente aplicação na estimativa das vazões de projeto para dimensionamento de obras de engenharia, tais como vertedores de barragens, bueiros, bocas de lobo, terraços, canais de drenagem. O procedimento normalmente adotado na estimativa da chuva de projeto consiste em ajustar uma distribuição teórica aos dados observados e, com base nesta distribuição, extrapolar os valores de precipitação extrema, associada a uma dada probabilidade. O objetivo deste trabalho é verificar o ajuste das diferentes distribuições de probabilidade recomendadas na literatura especializada aos dados de precipitação máxima diária da estação de Saudades, SC. Foi determinada a série de máximas anuais dos dados diários de precipitação do período de 1955 a 2012, da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA), localizada no município de Saudades, SC. Foram ajustados os parâmetros das distribuições de Gumbel-Chow, distribuição de Extremos Tipo I, distribuição Log-Normal com 2 parâmetros, distribuição Log-Normal com 3 parâmetros, distribuição Pearson tipo III e distribuição Log-Pearson tipo III e distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV). Os parâmetros das diversas distribuições foram estimados pelo método dos momentos (MM) e pela máxima verossimilhança (MV). Para testar o ajustamento da distribuição, empregou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5 %. Para definir qual a melhor distribuição ajustada a uma série de máximas foi utilizado o critério do menor erro padrão de estimativa, e também foram elaborados os gráficos com as frequências teóricas de cada distribuição e as frequências observadas calculadas com as posições de plotagem dadas pelas fórmulas de Weibull e Cunnane.
Todas as distribuições ajustadas apresentaram valores de Dmax inferior ao valor crítico para o nível de significância de 5 % (D crítico = 0,1801) do teste de Kolmogorov-Smirnov. A distribuição Log-Pearson tipo III com parâmetros ajustado pelo método apresentou o menor valor de Dmax. No entanto, considerando o menor erro padrão conclui-se que a distribuição Pearson tipo III apresentou melhor ajuste. A distribuições de Gumbel-Chow apresentou estimativas de chuva máxima com diferenças inferior a 5 % das estimativas obtidas com a distribuição GEV, Log-Pearson MM, Pearson MM, e Gumbel MM.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação, Distribuição de probabilidade, Chuvas máximas diárias, Hidrologia.

INTRODUÇÃO

O estudo de precipitações extremas é de grande interesse nos trabalhos de hidrologia, por sua frequente aplicação na estimativa das vazões de projeto para dimensionamento de obras de engenharia, tais como vertedores de barragens, bueiros, bocas de lobo, terraços, canais de drenagem. O procedimento normalmente adotado na estimativa da chuva de projeto consiste em ajustar uma distribuição teórica aos dados observados e, com base nesta distribuição, extrapolar os valores de precipitação extrema, associada a uma dada probabilidade. Existem diversas teorias de probabilidade empregadas para análise de chuvas extremas, sendo as mais utilizadas a distribuição Log-Normal com dois parâmetros, distribuição Log-Normal com três parâmetros, distribuição Pearson tipo III, distribuição Log-Pearson tipo III, distribuição de extremos tipo I, também conhecida como distribuição de Gumbel e a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV – *Generalized Extreme Value*) (Kite, 1978).

Segundo Sevruk e Geiger (1981) não há uma teoria suficientemente firme para justificar o uso de uma ou outra distribuição. No entanto existem algumas justificativas teóricas para a aplicação da distribuição de Gumbel, distribuição Pearson e Log-Normal para a análise dos valores extremos. A distribuição de Gumbel tem tido grande aplicação para o estudo de eventos extremos, e é utilizada de forma generalizada nos trabalhos de chuvas intensas. Chow (1964) apresentou um método para estimativa dos parâmetros da distribuição de Gumbel que podem ser realizada facilmente com valores tabelados ou calculados em função do número de elementos na amostra. A distribuição assim ajustada é chamada de Gumbel-Chow.

Vários autores utilizam a distribuição de Gumbel em seus estudos assumindo a hipótese que os dados amostrais seguem a distribuição de Gumbel, sem testar esta hipótese ou procurar outra distribuição que poderia proporcionar um melhor ajuste. Jenkinson (1955) propôs que os três tipos de distribuições de valores extremos poderiam ser representados numa forma paramétrica única, designada por distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV).

A distribuição GEV tem sido utilizada com grande frequência em estudos de fenômenos ambientais principalmente para solucionar problemas relacionados à áreas de Engenharia, entre os quais, destaca-se estudos de precipitação pluvial máxima. Desde 1975, a *Natural Enviromental Research Council* (NERC) recomenda a distribuição GEV para a análise de frequências de enchentes no Reino Unido (MARTINS e STEDINGEr, 2000).

Coles e Dixon (1999) afirmam que inúmeras sugestões foram propostas para se obter as estimativas dos parâmetros da distribuição, entre elas, técnicas gráficas, estimadores baseados no método dos momentos; métodos de estatísticas de ordem; método dos momentos de probabilidade ponderada; método máxima verossimilhança; método máxima verossimilhança penalizada e métodos Bayesianos.

Hosking et al. (1985) e Chowdhury et al. (1991) utilizaram a distribuição GEV para estudar frequências regionais de vazões. Bautista (2002) a utilizou em estudos sobre velocidades máximas de vento. Coles et al. (2003) e Beijo et al. (2005) utilizaram a distribuição GEV para obter estimativas de precipitações máximas prováveis. Cox et al. (2002) discutiram alguns aspectos estatísticos e probabilísticos da teoria de valores extremos relacionados às chuvas torrenciais e inundações. A partira da revisão dos principais trabalhos apresentados em literatura verifica-se a necessidade de se obterem estimativas mais precisas e confiáveis destes eventos e concluíram que para isto são necessários modelos que levem em consideração o máximo de informação possível, como efeitos de tendência, dispersão e dependência temporal e espacial.

A definição da melhor distribuição de probabilidade pode ser feita com base empírica, usando técnicas visuais subjetivas ou testes estatísticos mais objetivos. O resultado dos testes estatísticos dependem em parte dos parâmetros do modelo e da posição de plotagem usada, sendo que há controvérsias na utilização destes dados (Sevruk & Geiger, 1981). Além disso, o teste pode mostrar que mais de uma distribuição é adequada.

A estimativa dos parâmetros a partir dos dados observados pode ser feita numericamente, sendo indicado o método dos momentos e o método da máxima verossimilhança. A estimativa dos parâmetros pelo método da máxima verossimilhança é aceito como sendo mais eficiente, embora numericamente difícil, comparado ao método dos momentos (Kite, 1978; Clarke, 1994).

O objetivo deste trabalho é verificar o ajuste das diferentes distribuições de probabilidade recomendadas na literatura especializada aos dados de precipitação máxima diária da estação de Saudades, SC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi determinada a série de máximas anuais os dados diários de precipitação do período de 1955 a 2012, da estação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA), com código 02653007 e coordenadas latitude 26°55’36”S e longitude 53°00’28”W, altitude 835 metros, localizada no município de Saudades, SC.

A distribuição de Gumbel, também conhecida como distribuição de valores extremos, Dupla exponencial ou Fisher-Tippet do tipo I, tem como função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \alpha \, e^{\left\{-\alpha\left(X-\beta\right)-e^{-\alpha\left(X-\beta\right)}\right\}} \qquad \text{equação (1)}$$

onde: α = parâmetro de escala (desvio padrão da distribuição de Gumbel)
β = parâmetro de locação(Moda) da distribuição Gumbel.

A estimativa dos parâmetros da distribuição pelo método dos momentos:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}\,\sigma} \qquad \text{equação (2)}$$

$$\beta = \mu - \frac{0{,}5772}{\alpha} \qquad \text{equação (3)}$$

onde: μ = a média dos valores observados de X
σ = desvio padrão dos valores observados de X

Segundo Chow (1964) as estimativas pelo método dos momentos não são muito usados na prática por que forma obtidas baseadas na hipótese de que o número de eventos é infinito, que em realidade não ocorre. Por isso as estimativas de α e β são feitas conforme sugerido por Chow (1964).

$$\alpha = \frac{Sy}{\sigma} \qquad \text{equação (4)}$$

$$\beta = \mu - \frac{\mu_y}{\alpha} \qquad \text{equação (5)}$$

Em que Yn e Sn são tabelados em função do tamanho da amostra (Back, 2013).

A distribuição Log-Normal tem como função densidade de probabilidade

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[1nx-\mu\gamma]^2}{2\sigma^2\gamma}} \qquad 0 \le x \le \infty \qquad \text{equação (6)}$$

sendo μ_y e σ_y a média e os desvio-padrão dois logaritmos de x.

A estimativa dos parâmetros da distribuição Log-Normal com 2 parâmetros pelo método dos momentos é realizada por:

$$\mu_y = \ln\mu - \ln\left(\sqrt{1+\frac{\sigma^2}{\mu^2}}\right) \qquad \text{equação (7)}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\ln\left(1+\frac{\sigma^2}{\mu^2}\right)} \qquad \text{equação (8)}$$

onde: μ = média dos valores de X;
σ = desvio padrão dos valores de X

Pelo método da máxima-verossimilhança os parâmetros são estimados por:

$$\mu_y = \frac{\sum \ln(Xi)}{N}$$ equação (9)

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum \left[\ln(Xi) - \mu_y\right]^2}{N}$$ equação (10)

A distribuição Log-Normal com três parâmetros representa a distribuição norma dos logaritmos da variável reduzida (X-β), e apresenta a seguinte função densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{(x-\beta)\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left[1n(x-\beta)-\mu\gamma\right]^2}{2\sigma^2\gamma}}$$ equação (11)

sendo μ_y e σ_y a média e os desvio padrão dois logaritmos de x-β, onde β é um limite inferior.

Os parâmetros são estimados pelo método dos momentos como:

$$\mu_y = \ln(\frac{\sigma}{\omega 2}) - 0{,}5\ln(\omega_2{}^2 + 1)$$ equação (12)

$$\sigma_y = \sqrt{\ln(\omega_2^2 + 1)}$$ equação (13)

$$\beta = \mu\left(1 - \frac{\varpi 1}{\varpi 2}\right) = \mu - \frac{\sigma}{\varpi 2}$$ equação (14)

Em que: ω1 = coeficiente de variação da variável original;
ω2 = coeficiente de variação da variável transformada por Y = X-β
μ = média dos valores da serie observada;
σ = desvio padrão dos valores observados.

Para estimativa dos parâmetros pelo método da máxima verossimilhança deve-se resolver as expressões:

$$\mu_y = \frac{\sum \ln(xi - \beta)}{N}$$ equação (15)

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum \left[\ln(xi - \beta) - \mu_y\right]^2}{N}$$ equação (16)

$$\frac{\left(\mu_y - \sigma_y^2\right)}{\sum(xi - \beta)} = \sum\left[\left(\frac{1}{(xi-\beta)}\right)\ln(xi - \beta)\right]$$ equação (17)

A distribuição Pearson tipo III tem a função densidade de probabilidade da seguinte forma:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)}\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)}$$ equação (18)

Em que: α, β e γ são os parâmetros do modelo;
Γ(β) é a função gama.

Pelo método dos momentos os parâmetros são estimados como:

$$\beta = \left(\frac{2}{\gamma_1}\right)^2 \quad \text{equação (19)}$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}} \quad \text{equação (20)}$$

$$\gamma = \mu - \sigma\sqrt{\beta} \quad \text{equação (21)}$$

Em que: μ = média dos valores observados;
σ = desvio padrão dos valores observados;
γ_1 = coeficiente de assimetria da amostra.

Kite (1978) apresenta as expressões que devem ser resolvidas através de método numérico com o objetivo de obter as estimativas dos parâmetros da distribuição de Pearson tipo III pelo método da máxima verossimilhança.

A distribuição Log-Pearson tipo III tem como função de densidade e probabilidade.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)}\left\{\ln\frac{x-\gamma}{\alpha}\right\}^{\beta-1} e^{-\left\{\frac{\ln x-\gamma}{\alpha}\right\}} \quad \text{equação (22)}$$

onde α, β e γ são os parâmetros da escala, forma e localização.

Os parâmetros da distribuição podem ser estimados pelo método dos momentos como:

$$\beta = \left(\frac{2}{\gamma^1}\right)^2 \quad \text{equação(23)}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sigma^2{}_y}{\beta}} \quad \text{equação (24)}$$

$$\gamma = \mu_y - \sigma\sqrt{\beta} \quad \text{equação (25)}$$

Em que: μ_y = média dos logaritmos dos valores observados ;
σ_y = desvio padrão do logaritmos dos valores de x
γ_y = coeficiente de assimetria,

Pelo método dos momentos deve-se resolver numericamente expressões mais complexas, conforme detalhado em Kite (1978).

A função densidade de probabilidade da distribuição GEV é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma}\left[1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-\left(\frac{1=\xi}{\xi}\right)} \exp\left\{-\left[1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\xi}}\right\} \quad \text{equação (26)}$$

sendo μ, σ e ξ os parâmetros de posição, escala e de forma respectivamente, com $\sigma > 0$.

A estimativa dos parâmetros pelo método da máxima verossimilhança confirme descrito e m Smith (1985)

Foram ajustados os parâmetros das distribuições de acordo com a Tabela 1. Os parâmetros das diversas distribuições foram estimados pelo método dos momentos (MM) e pela máxima verossimilhança (MV) descrito por Kite (1978) e Lanna (1993).

Tabela 1: Distribuições de probabilidade ajustadas com respectivos parâmetros.

Distribuição	Parâmetros		
Gumbel – Chow	α	β	-
Gumbel ou Extremos Tipo I	α	β	-
Log-Normal com 2 parâmetros	μ	σ	-
Log-Normal com 3 parâmetros	μ	σ	β
Pearson tipo III	α	β	γ
Log-Pearson tipo III	α	β	γ
Distribuição Generalizada de Valores Extremos	α	β	κ

Para testar o ajustamento da distribuição, empregou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5 %. Para definir qual a melhor distribuição ajustada a cada uma dada séries de máximas foi utilizado o critério do menor erro padrão de estimativa, conforme sugerido por Kite (1978).

Também foram elaborados os gráficos com as frequências teórica de cada distribuição e as frequências observadas calculadas com as posições de plotagem dadas pelas fórmulas de Weibull e Cunnane (Kite, 1978).

Pela fórmula de Weibull (1939) a frequência esperada é dada por:

$$Fes = 1 - \frac{m}{N+1} \qquad \text{equação (27)}$$

Em que: Fes = frequência esperada;
m = número de ordem dos valores em ordem decrescente;
N = número de dados na série observada.

Pela fórmula de Cunnane (1978) a frequência esperada é calculada como:

$$Fes = 1 - \frac{m-0,4}{N+0,2} \qquad \text{equação (28)}$$

RESULTADOS

Observa-se que todas as distribuições ajustadas (Tabela 2) apresentaram valores de Dmax inferior ao valor crítico para o nível de significância de 5 % (D crítico = 0,1801). Alguns autores selecionam a melhor distribuição adotando aquela que fornece o menor Dmax dado pelo teste Kolmogorov-Smirnov. Por esse critério a distribuição Log-Pearson tipo III com parâmetros ajustado pelo método dos momentos seria a selecionada. No entanto, o critério de adotar a distribuição com menor erro padrão parece ser mais adequado, pois considera todos os valores no cálculo e não apenas um único com o teste Kolmogorov-Smirnov.

Kite (1978) afirma que, apesar do cálculo do erro padrão também ter como desvantagem a dependência da posição de plotagem, e de que esta dependência possa afetar o valor absoluto da soma dos quadrados dos desvios para cada distribuição, ela não afeta a posição relativa de cada distribuição. Pelo critério de menor valor de Se a distribuição Pearson tipo III seria a selecionada.

Comparando as alturas de chuva estimadas com as diversas distribuições (Tabela 3) observa-se que adotando a distribuição de Gumbel-Chow como referência, são observados diferenças inferiores a 5% nas estimativas obtidas com as distribuições de Gumbel MM, Log-Normal 3 parâmetros MM, Pearson tipo III MM, Log-Pearson tipo III MM e distribuição GEV. Com relação às estimativas obtidas com as distribuições LogNormal 2 parâmetros, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III com parâmetros estimados com o métodos da MV as estimativas de chuva se mostraram de 5 a 10 % inferiores as estimadas distribuição de Gumbel-Chow. Diferença superiores a 10 % foram obtidas com as distribuições Gumbel MV e Log-Normal 2 parâmetros MV e Log-Normal com 3 parâmetros MV que apresentaram as menores estimativas de chuva com período de retorno de 50 e 100 anos.

Tabela 2: Parâmetros das distribuições ajustadas com as estatísticas do desvio máximo (Dmax) do teste de Kolmogorov- Smirnov e erro padrão de estimativa (Se) calculadas a partir da frequências de Weibull e Cunnane.

		Parâmetros			Weibull		Cunnane	
Distribuição		α	β	-	Dmax	Se	Dmax	Se
Gumbel	Chow	0,0400	86,3303	-	0,1214	7,74	0,1275	8,78
Gumbel	MM	0,0438	86,9278	-	0,0986	7,74	0,1046	8,94
Gumbel	MV	0,0526	88,1294	-	0,0709	9,72	0,0692	11,96
		μ	σ	-				
Log-Normal 2parâmetros	MM	4,5652	0,2865	-	0,1083	8,60	0,1142	11,17
Log-Normal 2 parâmetros	MV	4,5713	0,2538	-	0,0842	9,79	0,0871	13,55
		μ	σ	β				
Log-Normal 3 parâmetros	MM	3,9158	0,4875	43,5796	0,0782	6,64	0,0840	9,14
Log-Normal 3 parâmetros	MV	4,5713	0,2538	0,9330	0,0975	9,79	0,1004	13,48
		α	β	γ				
Pearson tipo III	MM	24,773	1,3962	65,5128	0,0725	6,22	0,0785	8,41
Pearson tipo III	MV	14,382	3,3931	51,3022	0,0713	8,53	0,0763	7,64
Log-Pearson tipo III	MM	0,1181	4,6218	4,0257	0,0523	6,36	0,0581	8,79
Log-Pearson tipo III	MV	0,0778	10,1425	3,782	0,0564	7,61	0,0624	10,70
		k	α	β				
Distribuição GEV	MM	-0,0769	20,396	86,65	0,0776	6,92	0,0834	9,49

Os diagramas com as posições de plotagem (Figura 1 a 12) resumo são importantes na seleção da melhor distribuição, pois permitem visualizar o ajuste da distribuição para os eventos mais extremos, que geralmente é o interesse do estudo.

Tabela 3: Chuvas máximas (mm) estimadas com as diferentes distribuições ajustadas.

Distribuição – Método de ajuste dos parâmetros		Período de Retorno (anos)					
		T = 2	T = 5	T = 10	T =25	T =50	T =100
Gumbel	Chow	95,5	123,8	142,6	166,2	183,8	201,2
Gumbel	MM	95,3	121,2	138,3	159,9	176,0	191,9
Gumbel	MV	95,1	116,7	130,9	149,0	162,4	175,7
Log-Normal 2parâmetros	MM	96,1	122,3	138,7	158,6	173,0	187,1
Log-Normal 2 parâmetros	MV	96,7	119,7	133,8	150,8	162,8	174,5
Log-Normal 3 parâmetros	MM	93,8	119,2	133,7	161,4	180,2	199,6
Log-Normal 3 parâmetros	MV	96,7	119,7	133,8	150,8	162,8	174,5
Pearson Tipo III	MM	92,5	119,2	138,4	163,4	182,2	201,1
Pearson Tipo III	MV	95,5	119,8	135,5	154,6	168,4	181,9
Log-Pearson Tipo III	MM	93,0	117,3	135,6	161,5	182,9	206,2
Log-Pearson Tipo III	MV	94,0	117,7	134,3	156,6	174,1	192,4
Distribuição GEV	MM	94,2	119,1	136,8	160,6	179,5	199,2

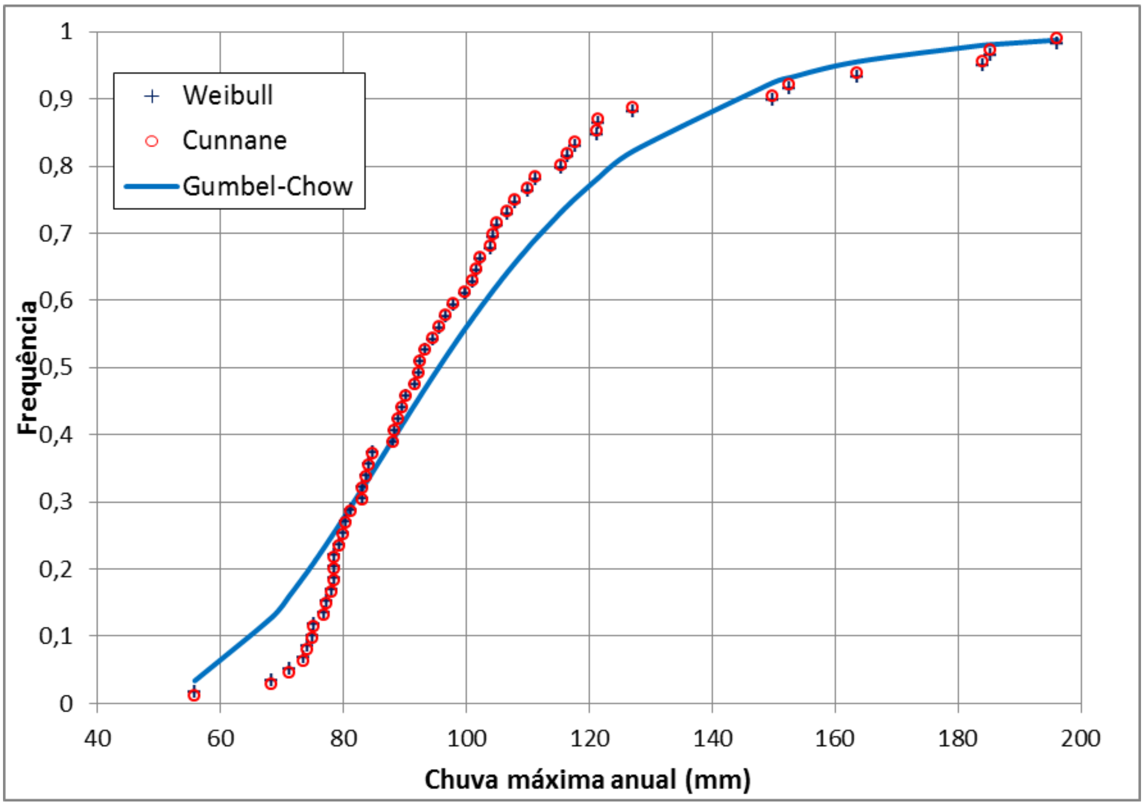

Figura 1: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Gumbel – Chow.

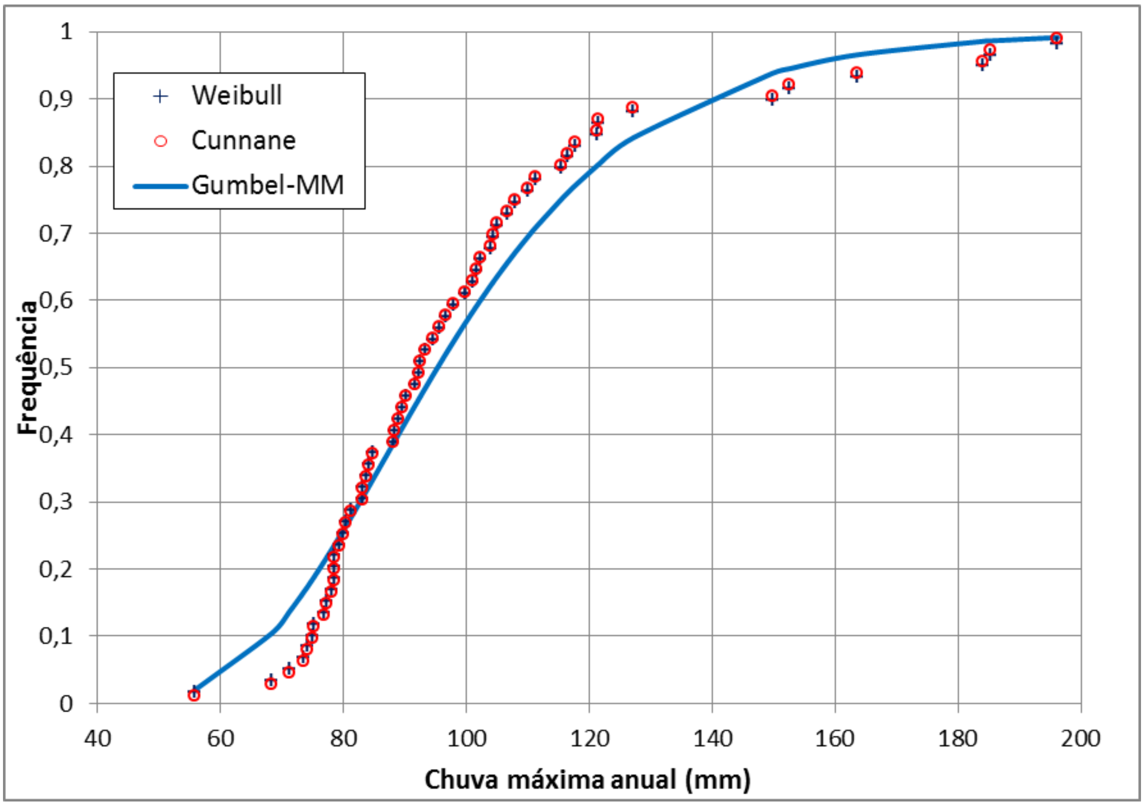

Figura 2: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Gumbel com parametros ajustados pelo método dos momentos.

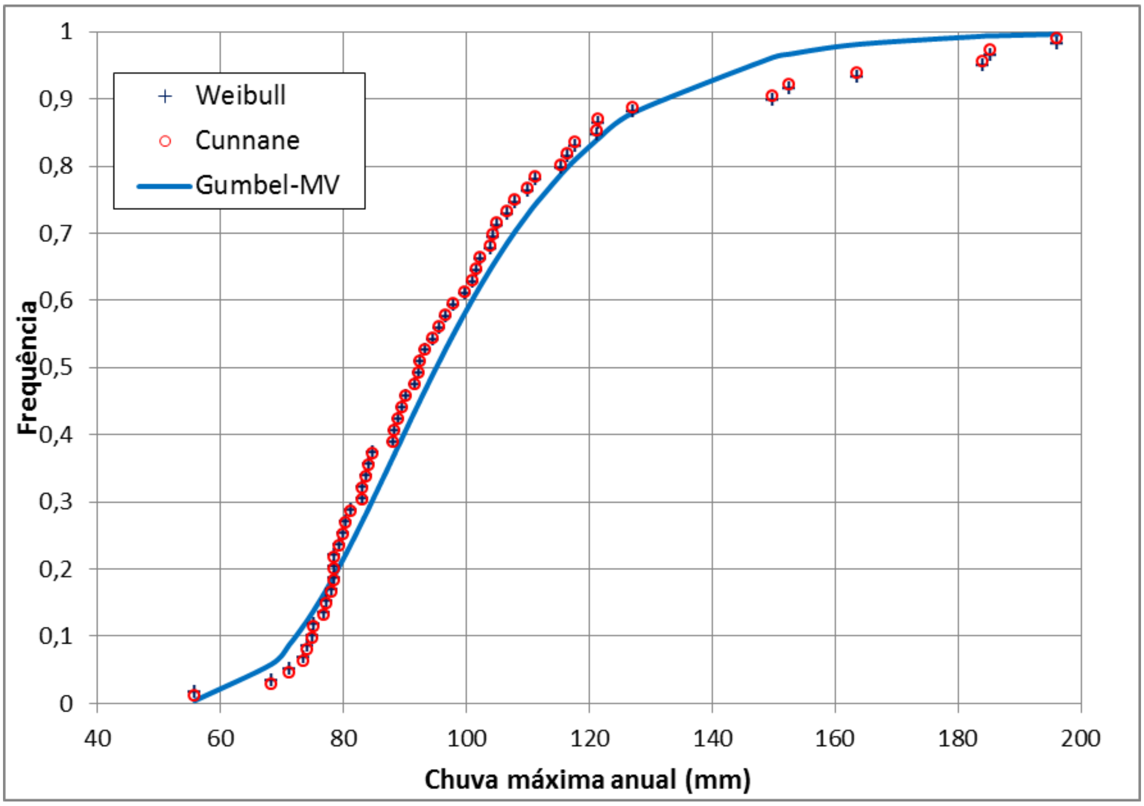

Figura 3: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Gumbel com parametros ajustados pelo método da máxima verossimilhança.

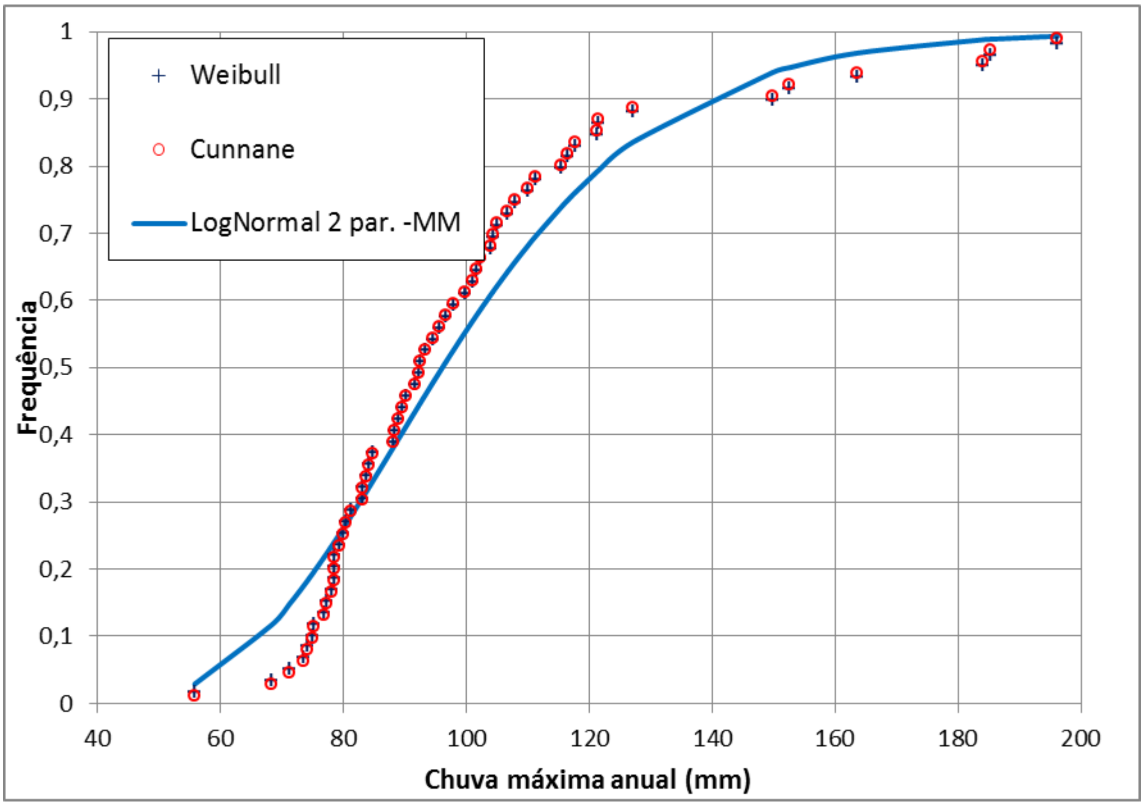

Figura 4: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Log-Normal com 2 parâmetros ajustados pelo método dos momentos.

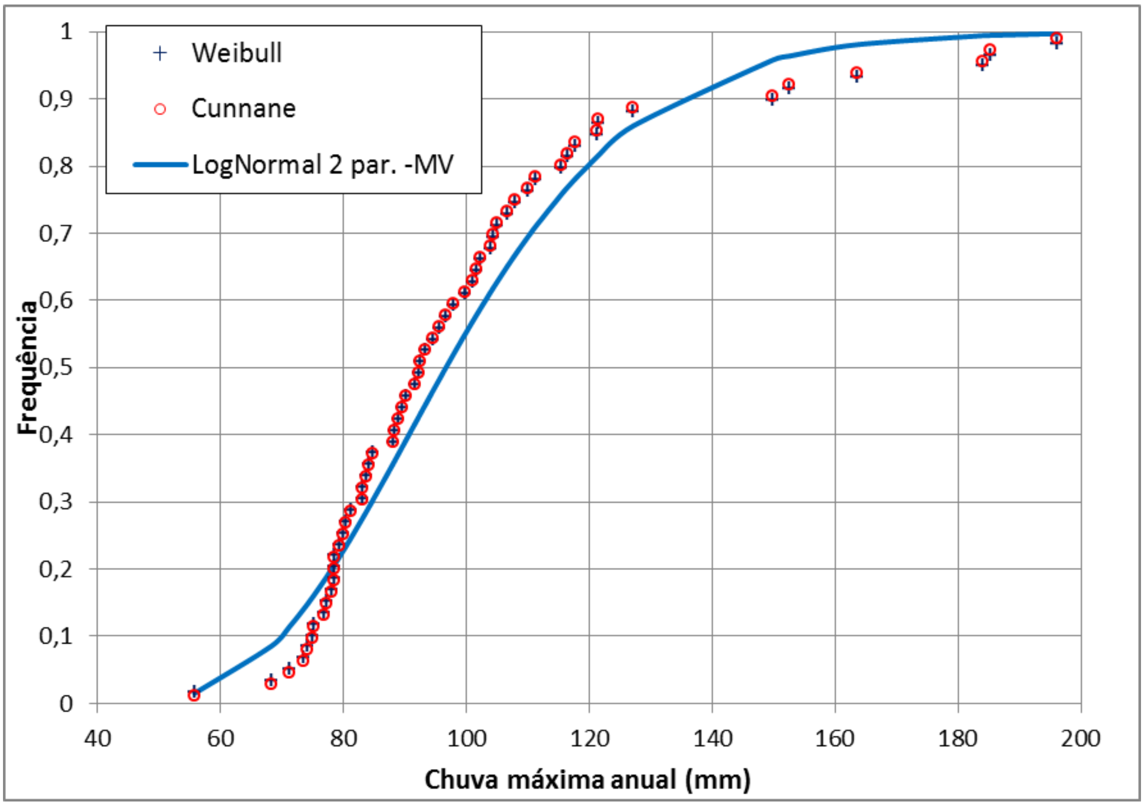

Figura 5: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Log-Normal com 2 parâmetros ajustados pelo método da máxima verossimilhança.

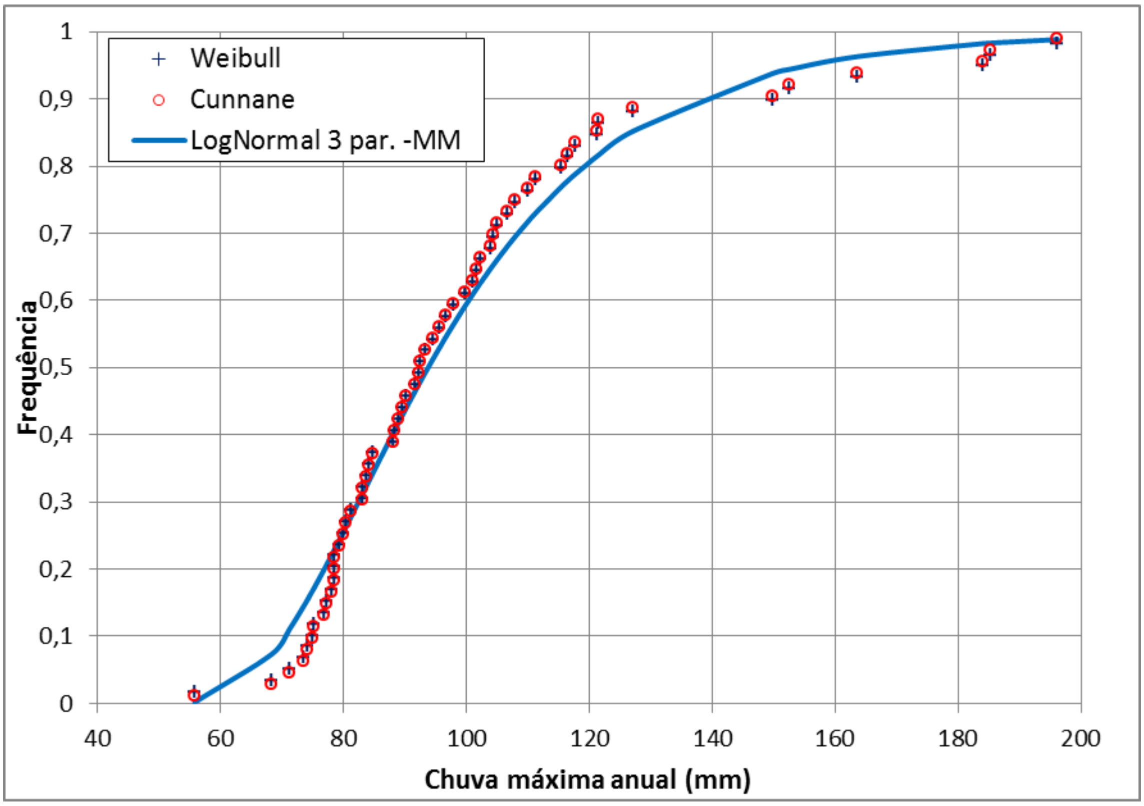

Figura 6: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Log-Normal com 3 parâmetros ajustados pelo método dos momentos.

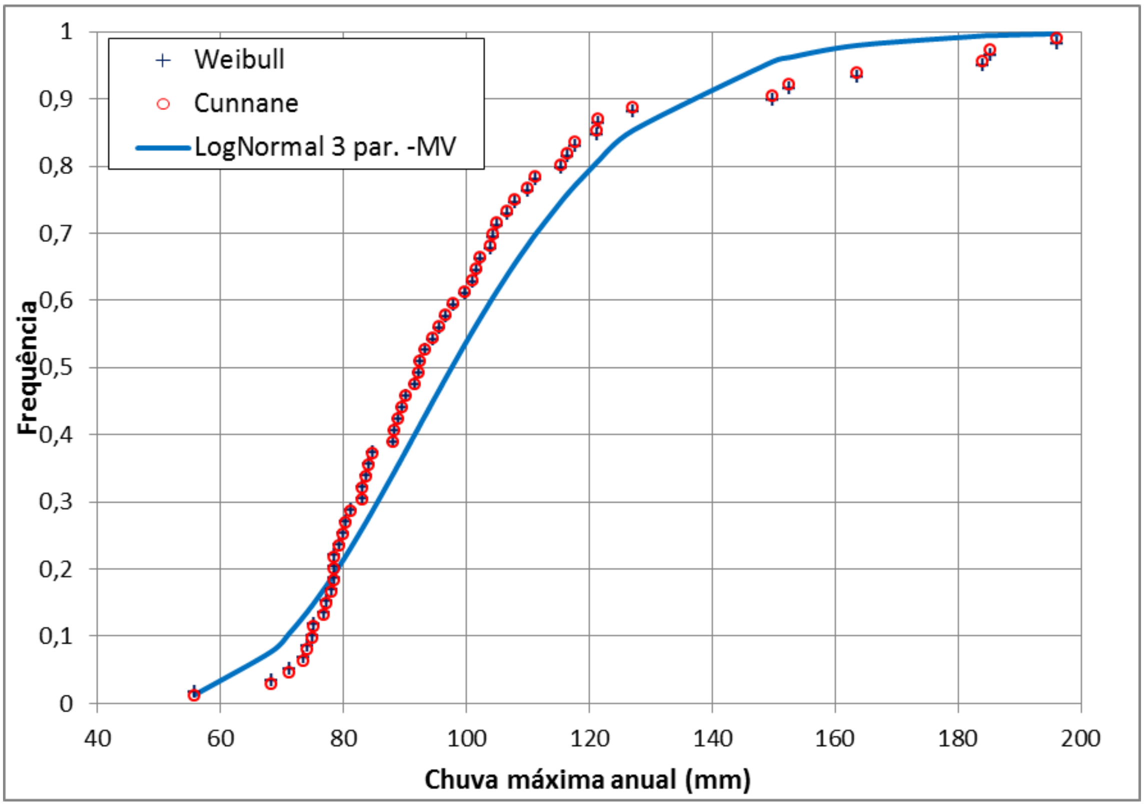

Figura 7: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Log-Normal com 3 parâmetros ajustados pelo método da máxima verossimilhança.

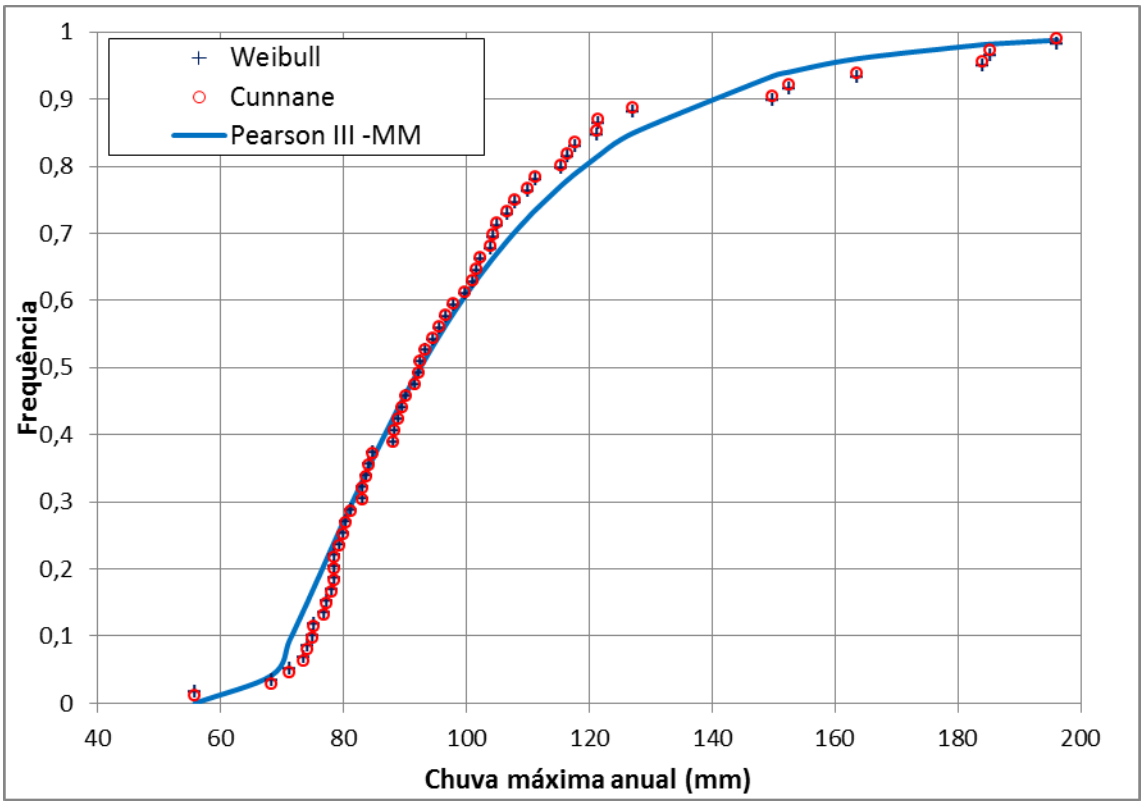

Figura 8: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Pearson Tipo III parâmetros ajustados pelo método dos momentos.

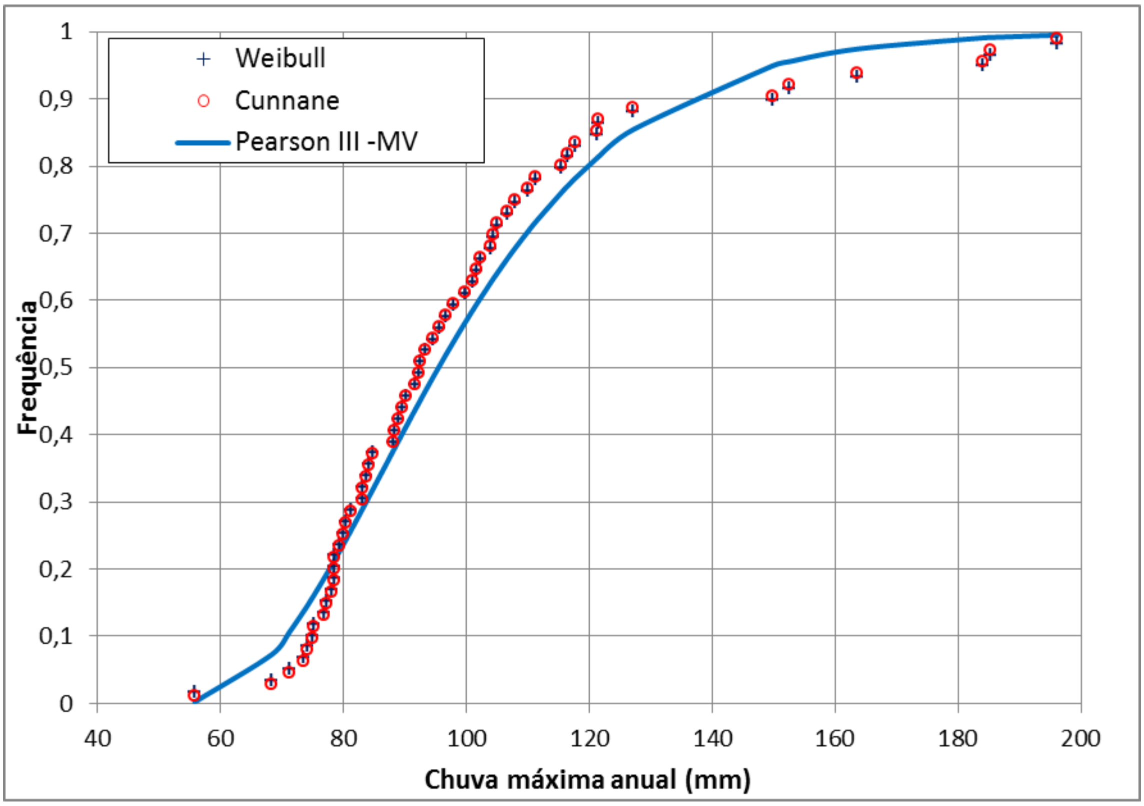

Figura 9: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Pearson Tipo III com parâmetros ajustados pelo método da máxima verossimilhança.

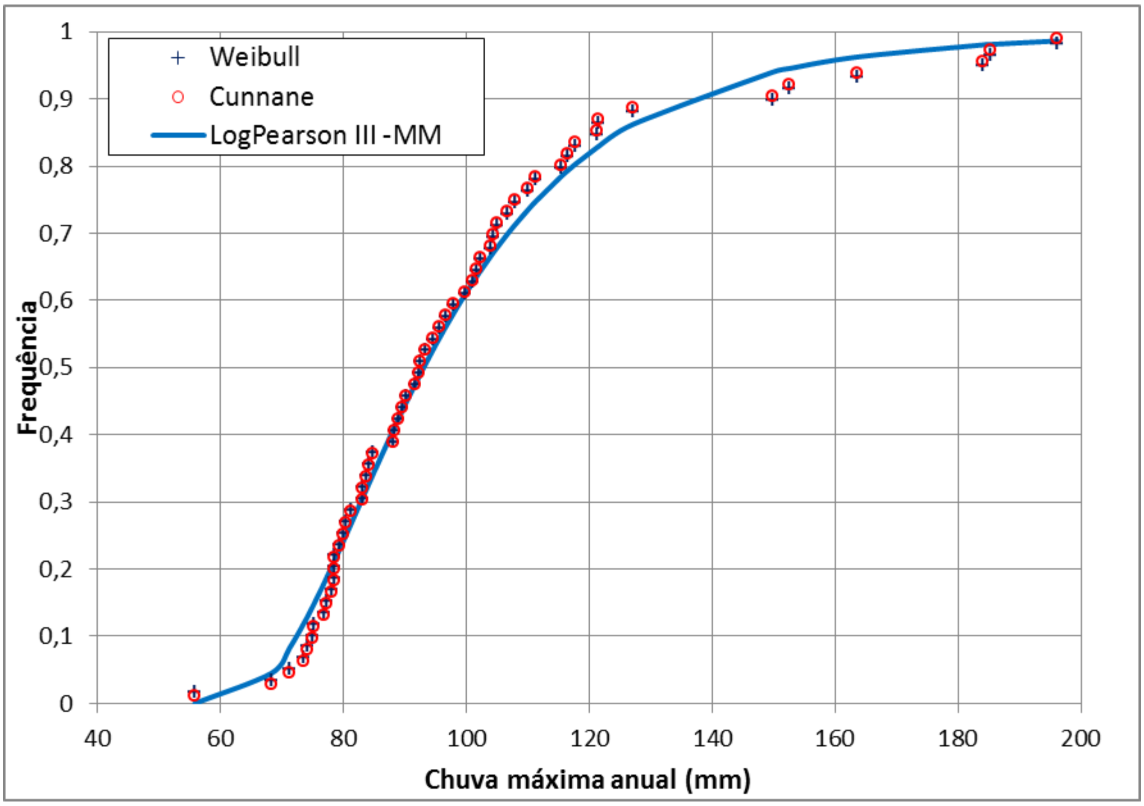

Figura 10: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Log-Pearson Tipo III parâmetros ajustados pelo método dos momentos.

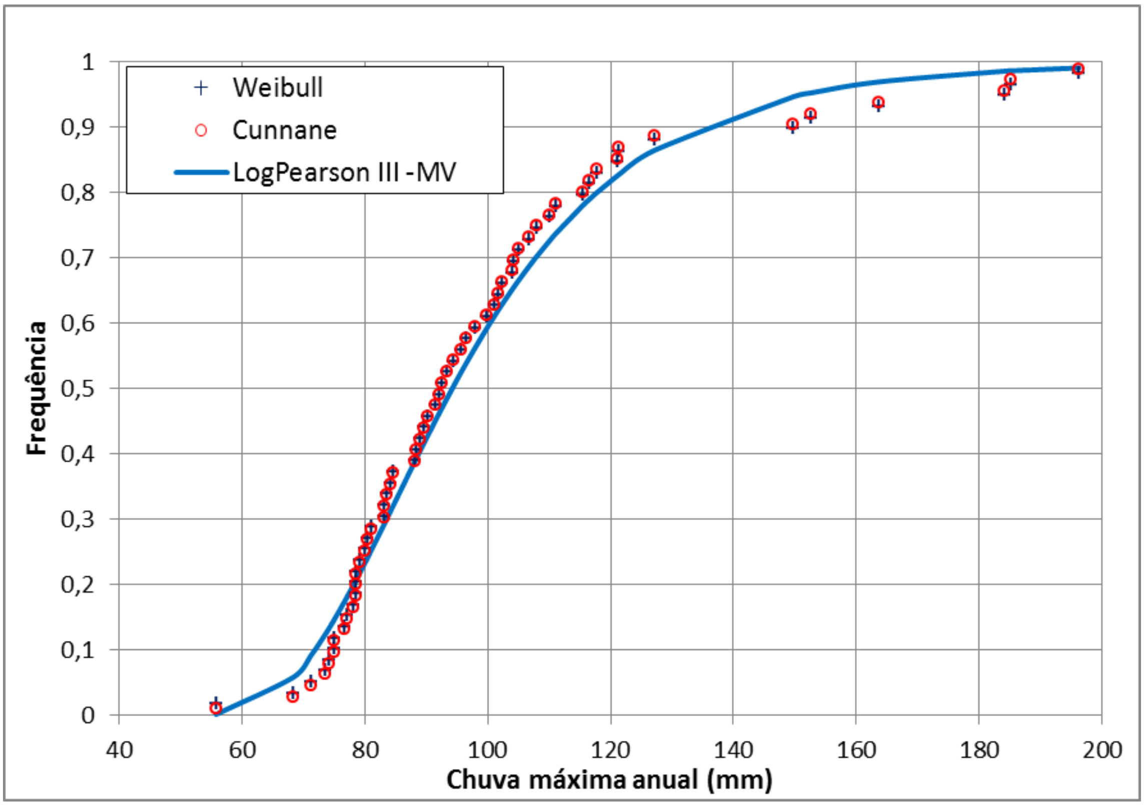

Figura 11: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Log-Pearson Tipo III parâmetros ajustados pelo método da máxima verossimilhança.

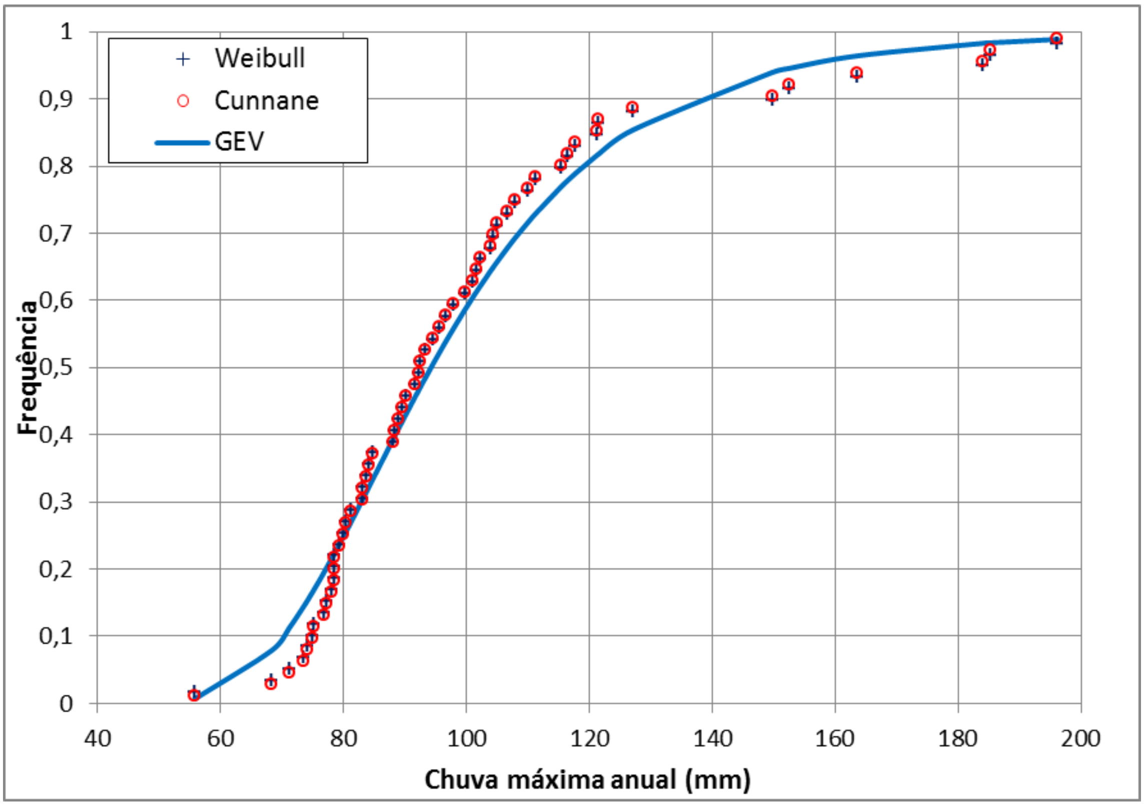

Figura 12: Aderência dos dados de precipitação máxima diária de Saudades, SC à distribuição Generalizada de Valores Extremos.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Todas as distribuições estatísticas ajustadas apresentaram desvios máximos inferiores ao desvio crítico do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5%;

A distribuição Log-Pearson tipo III com parâmetros ajustados pelo método dos momentos apresentou o menor valor de Dmax;

Considerando o critério de menor erro padrão de estimativa, a distribuição Pearson tipo III foi a que apresentou melhor ajuste à série observada;

A distribuições de Gumbel-Chow apresentou estimativas de chuva máxima com diferenças inferior a 5 % das estimativas obtidas com a distribuição GEV, Log-Pearson MM, Pearson MM, e Gumbel MM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BACK, A.J. Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem superficial para o Estado de Santa Catarina. Epagri, Florianópolis. 2013. 197p.
2. BAUTISTA, E.A.L. A Distribuição Generalizada de Valores Extremos no Estudo da Velocidade Máxima do Vento em Piracicaba, SP. Piracicaba -SP: ESALQ, 2002, 47p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.
3. BEIJO, L.A.; MUNIZ, J.A.; CASTRO NETO, P. Estudo do Tempo de Retorno das Precipitações Máximas em Lavras (MG) pela Distribuição de Valores Extremos do Tipo I. Ciência e Agrotecnologia. Lavras, v. 29, n. 3, p. 657-667, maio/jun., 2005.

4. CHOW, V. Handbook of applied hydrology. New York: McGraw-Hill, 1964. 1418p. METEOROLOGICAL ORGANIZATION REPORT, 15. 1981, Geneva, 65p.
5. CHOWDHURY, J.U; STENDINGER, J.R.; LU, L.H. Goodness of - Fit Test for Regional Generalized Extreme Value Flood Distributions. Water Resources Research, AGU, v.27, n.7, p. 1765-1776, 1991..
6. CLARKE, R.T. Statistical modelling in Hydrology. Chichester: John Wiley & Sons. 1994. 412 p.
7. COLES, S.G.; DIXON, J. Likelihood-based inference for extreme value models. Extremes 2:5–23. 1999
8. COX, D.R.; ISHAM, V.S.; NORTHROP, P.J. *Floods: some probabilistic and statistical approaches*. Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. A v. 360, p. 1389-1408, 2002
9. HOSKING, J.R.M.; WALLIS, J.R.; WOOD, E.F. An appraisal of the regional flood frequency procedure in the UK flood studies report, Hydrological Science Journal, 30(1), 85-109. 1985 a.
10. JENKINSON, A.F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 81, p.158-171, Apr. 1955.
11. CUNNANE, C. Unbiased ploting positions –A review. Journal of Hydrology, v.37, p.205-222, 1978.
12. KITE, G.H. Frequency and risk analyses in hydrology. Fort Collins, Water Resources Publications, 1978. 224 p.
13. LANNA, A.E.L. Elementos de Hidrologia. Elementos de Estatística e probabilidades. In: TUCCI, C. E. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993. p.79-176.
14. MARTINS, E.S.; STEDINGER, J.R. Generalized maximum-likelihood generalized extreme-value quantile estimators for hydrologic data. Water Resour. Res.,v. 36 , n. 3 , p 737. 2000.
15. SEVRUK, B.; GEIGER, H. Selection of distribution types for extremes of precipitation. World Meteorological Organization Report nº 15. Geneva. 1981. 65p.
16. SMITH, R.L., Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases. Biometrika 72, 67-90.1985.
17. WEIBULL, W. A statistical theory of strength of material. Ing. Vet. Ak. Handl.(Stockolm), 151. 1939.