

## Aplicabilidade de modelos de probabilidades a eventos diários das chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro

A ocorrência de eventos extremos de precipitação no Estado do Rio de Janeiro, reforçam a importância de estudos relacionados a estes acontecimentos, principalmente quando se pensa no dimensionamento de obras hidráulicas. Neste sentido, foram ajustadas as distribuições de probabilidades Normal (N), Log-Normal a 2 parâmetros (LN) e Gumbel para Máximos (GM), aos dados de precipitação máxima diária anual de 6 estações distribuídas ao longo do Estado do Rio de Janeiro, totalizando 28 anos de dados. Os dados foram obtidos junto à Rede Nacional de Observações Meteorológicas de Superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Após o ajuste, foram estimadas as precipitações máximas diárias para diferentes tempos de retorno. A aderência das distribuições foi avaliada pelo Teste de Qui-Quadrado. Os resultados mostraram que todas as distribuições foram adequadas. A distribuição GM foi a que melhor se ajustou em todas as estações, com exceção das estações Avelar e Itaperuna, onde a melhor distribuição foi a LN. Os maiores volumes de precipitação máxima diária estimados aconteceram nas estações de Avelar, Resende e Rio de Janeiro, cujos valores são superiores à 200 mm para um tempo de retorno de 500 anos, evidenciando a potencialidade de tragédias relacionadas a eventos extremos de precipitação nestas regiões. As menores precipitações máximas diárias ocorreram nas estações de Campos e Cordeiro, com valores entre 130,70 mm e 199,17 mm, para tempos de retorno de 25 e 500 anos, respectivamente, na estação de Itaperuna, para os mesmos tempos de retorno, a precipitação máxima diária variou entre 114 mm a 148 mm.

**Palavras-chave:** Distribuições de probabilidades; Teste de Qui-Quadrado; Precipitação máxima diária; Tempo de retorno; Estado do Rio de Janeiro.

## Applicability of probability models to daily heavy rain events in the state of Rio de Janeiro

The occurrence of extreme exclusion events in the State of Rio de Janeiro reinforces the importance of studies related to these events, especially when thinking about the dimensioning of hydraulic works. In this sense, Normal (N), Log-Normal 2-parameter (LN) and Gumbel for Maximum (GM) probability distributions were fitted to the maximum daily rate data from 6 stations distributed throughout the State of Rio de Janeiro, totaling 28 years of data. The data were captured from the National Network of Surface Meteorological Observations of the National Institute of Meteorology (INMET). After adjustment, they were estimated as maximum daily rainfall for different return times. The adherence of the distributions was evaluated by the Chi-Square Test. The results found that all distributions were found. The GM distribution was the best fit in all stations, with the exception of the Avelar and Itaperuna stations, where the best distribution was the LN. The highest volumes of maximum daily elimination estimated took place at the stations of Avelar, Resende and Rio de Janeiro, values are greater than 200 mm for a return time of 500 years, showing a potential for tragedies related to extreme events of connection before. The lowest daily maximum rainfall occurred at Campos and Cordeiro stations, with values between 130.70 mm and 199.17 mm, for return times of 25 and 500 years, respectively, at Itaperuna station, for the same return times, the Maximum daily calculation varies between 114 mm to 148 mm.

**Keywords:** Probability distributions; Chi-Square Test; Daily maximum precipitation; Return time; Rio de Janeiro state.

Topic: **Meteorologia, Climatologia e Mudanças Climáticas**

Received: **04/08/2021**

Approved: **26/08/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Fabiana Miranda Muniz**   
Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4141348272507747>  
<http://orcid.org/0000-0002-9602-8934>  
[prof.fabiana.muniz@unincor.edu.br](mailto:prof.fabiana.muniz@unincor.edu.br)

**Mayara Gabriela Lourenço Ferreira**   
Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4861166404458036>  
<http://orcid.org/0000-0002-6712-7896>  
[prof.mayara.lourenco@unincor.edu.br](mailto:prof.mayara.lourenco@unincor.edu.br)

**Pablo Christian de Moro Silva**   
Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8954112889309575>  
<http://orcid.org/0000-0002-6090-5106>  
[prof.pablo.silva@unincor.edu.br](mailto:prof.pablo.silva@unincor.edu.br)

**Alisson Souza de Oliveira**   
Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6716188774645620>  
<http://orcid.org/0000-0001-7885-9542>  
[alissonso@hotmail.com](mailto:alissonso@hotmail.com)

**Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques**   
Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6991929220004023>  
<http://orcid.org/0000-0001-6646-0809>  
[rosangela.marques@unincor.edu.br](mailto:rosangela.marques@unincor.edu.br)

**Aurivan Soares de Freitas**   
Universidade Vale do Rio Verde de Três Corações, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9664774309831812>  
<http://orcid.org/0000-0002-5322-3676>  
[aurivan.soares@hotmail.com](mailto:aurivan.soares@hotmail.com)

**Claudiomir da Silva Santos**   
Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7460335760795185>  
<http://orcid.org/0000-0002-0007-7273>  
[claudiomirsilvasantos@gmail.com](mailto:claudiomirsilvasantos@gmail.com)

**Ronei Aparecido Barbosa**   
Universidade José do Rosário Vellano, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4964015135722519>  
<http://orcid.org/0000-0002-4850-7244>  
[roneibarbosa50@gmail.com](mailto:roneibarbosa50@gmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0016

### Referencing this:

MUNIZ, F. M.; LOURENÇO, M. G.; SILVA, P. C. M.; OLIVEIRA, A. S.; MARQUES, R. F. P. V.; FREITAS, A. S.; SANTOS, C. S.; BARBOSA, R. A.. Aplicabilidade de modelos de probabilidades a eventos diários das chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.8, p.165-173, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0016>

## INTRODUÇÃO

No Estado do Rio de Janeiro, principalmente na região serrana, observa-se a ocorrência de chuvas intensas nos últimos anos, que ocasionam enchentes, inundações, deslizamentos e escorregamentos nas áreas urbanas. Neste sentido, o conhecimento dos padrões espaço-temporal dos eventos de precipitações extremas é de extrema importância para a elaboração de um plano adequado para o ordenamento e planejamento das áreas para redução de riscos de desastres (BRAGA et al., 2018).

Segundo estudos de Carmo et al. (2014), o Estado do Rio de Janeiro tem se destacado no cenário nacional quando se trata de eventos extremos de precipitação. Destaca-se o evento relacionado ao “mega-desastre” ocorrido na Região Serrana, no ano de 2011, culminando em um expressivo número de mortes naquela região. Nessa região, devido ao relevo montanhoso e alinhamentos serranos, torna-se um ambiente propício à entrada de massas de ar e a formação de tempestades Ottero et al. (2018). Neste sentido, eventos extremos de chuvas intensas seguidas de movimentos de massa e inundações são recorrentes (WALDHERR et al., 2014).

Dados disponibilizados pelo Banco Mundial (2012) enfatizam que entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, devido à entrada de massas de ar provenientes da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na Região Serrana, proporcionaram eventos extremos de precipitação que culminou um dos maiores desastres naturais ocorridos no território brasileiro, causando a morte de 905 pessoas e afetando mais de 300 mil pessoas, totalizando em torno de 42% da população da região atingida. Foi noticiado que no município de Teresópolis o evento extremo de precipitação ocorrido foi o pior desde janeiro de 1961, quando ocorreu uma chuva de 161,6 mm em 24 horas. No município de Nova Friburgo, no ano de 1964, aconteceu uma precipitação máxima de 113 mm em 24 h. Em Petrópolis, o evento superou o volume de chuvas de 24 h (154,4 mm) observado em 25 de janeiro de 1947. Todas estas informações reforçam a necessidade de estudos que visem compreender a ocorrência destes eventos extremos na região.

Para tanto, para o conhecimento da ocorrência de eventos extremos de precipitação em determinada região, é extremamente importante o emprego de distribuições de probabilidades ajustadas aos dados de precipitação observados e a partir disso, realizar a estimativa de eventos extremos associados a diferentes tempos de retorno. Esta informação é de extrema relevância para os órgãos responsáveis pelo bem-estar da população, visto proporcionarem informações importantes como quais as áreas de maior probabilidade de ocorrência desses eventos, que podem proporcionar perdas materiais e até mesmo vidas humanas. Além disso, gera informações necessárias ao dimensionamento de obras hidráulicas que são responsáveis pela drenagem das precipitações ocorridas na região, que quando bem dimensionadas, podem reduzir o risco a inundações.

Frente ao descrito acima, existem diversas distribuições de probabilidade aplicadas ao estudo de eventos extremos de precipitação. A Distribuição Normal é considerada a distribuição de probabilidade mais importante, pois permite modelar uma infinidade de fenômenos naturais e, além disso, possibilita realizar aproximações para calcular probabilidades de muitas variáveis aleatórias que têm outras distribuições,

porém essa possui limitações frente aos valores extremos (BARBETTA et al., 2009). A Distribuição Log-Normal é caracterizada pela propriedade que os logaritmos dos valores seguem uma distribuição normal (KOCH et al., 1970). Já a Distribuição de Gumbel para máximos ou Assintótica de Valores Máximos Extremos do tipo I é amplamente utilizada em diversas áreas do conhecimento para modelar os valores máximos de ocorrência de um determinado fenômeno de interesse. O desafio na utilização dessa distribuição consiste em estimar seus parâmetros por meio de alguma metodologia estatística (COTTA et al., 2016).

Desta maneira, objetivou-se neste trabalho, verificar a aplicabilidade das distribuições de probabilidade Normal, Log-Normal a 2 parâmetros e Gumbel para Máximos, ao estudo da precipitação máxima diária anual, no Estado do Rio de Janeiro.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Base de dados e localização das estações pluviométricas no Estado do Rio de Janeiro

O trabalho foi desenvolvido a partir de séries históricas de precipitação máxima diária anual, obtidas junto ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), totalizando 28 anos de dados para todas as estações, com exceção das estações de Cordeiro (25 anos) e Rio de Janeiro (16 anos) devido a falha nas séries. Foram consideradas as estações cujas séries possuíssem ao menos 350 dias com dados. O código, a localização, a altitude e o período analisado de cada estação estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Estações pluviométricas, localização geográfica, altitude e série histórica utilizadas neste estudo.

Estações	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período
Avelar/RJ	83049	-22° 35' 00	-43° 41' 00	507,00	1992 - 2019
Campos/RJ	83698	-21° 75' 00	-41° 33' 00	11,20	1992 - 2019
Cordeiro/RJ	83718	-22° 01' 00	-42° 35' 00	505,92	1995 - 2019
Itaperuna/RJ	83695	-21° 20' 00	-41° 90' 00	123,59	1992 - 2019
Resende/RJ	83738	-22° 45' 00	-44° 43' 00	439,89	1992 - 2019
Rio de Janeiro/RJ	83743	-22° 89' 00	-44° 18' 00	11,10	2002 - 2017

Na Figura 1, pode-se visualizar a distribuição espacial das estações utilizadas no estudo ao longo do estado do Rio de Janeiro.



**Figura 1:** Distribuição espacial das estações pluviométricas aplicadas ao estudo no estado do Rio de Janeiro.

## Distribuição de probabilidades e metodologias de estimativa de seus parâmetros

### Distribuição Normal

Segundo Morettin et al. (2010), a distribuição Normal é uma das mais importantes para variáveis aleatórias contínuas. Tem como parâmetros a média e o desvio padrão, representadas respectivamente por  $\mu$  e  $\sigma$ . A distribuição é simétrica em relação à média. A função densidade de probabilidade (FDP) é caracterizada da seguinte maneira:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

Em que:  $f(x)$  – função densidade de probabilidade da variável;  $x$  – valor da variável aleatória;  $\mu$  - média;  $\sigma$  - desvio padrão.

O cálculo das probabilidades, geralmente é realizado por meio da transformação de  $Z = \frac{(x-\mu)}{\sigma}$ , a variável  $Z$  tem distribuição Normal com média zero e variância um, denotada por  $N(0,1)$ , tal variação é chamada de função distribuição acumulada Normal padronizada e pode ser escrita na seguinte forma:

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \text{ para } -\infty < Z < \infty \quad (2)$$

### Distribuição Log-Normal

Segundo Forbes (2011), a utilização de uma transformação logarítmica aos dados permitiu uma aproximação pela distribuição normal simétrica, embora a ausência de valores negativos possa limitar a validade deste procedimento.

A função de densidade de probabilidade (FDP) está caracterizada por ter dois parâmetros, média populacional  $\mu$ , e o desvio padrão populacional  $\sigma$ , descrita por Naghettini et al. (2007), é dada:

$$f(X) = \frac{1}{X\sigma_{\ln(X)}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(X)-\mu_{\ln(X)}}{\sigma_{\ln(X)}}\right]^2\right] \quad (3)$$

em que:  $x$  - variável aleatória contínua que, nesta aplicação, corresponde à precipitação máxima diária anual;  $\mu_{\ln(X)}$  - parâmetro relacionado ao 1º momento amostral, estimado pela média dos dados logaritimizados;  $\sigma_{\ln(X)}$  - parâmetro relacionado ao 2º momento amostral, estimado pelo desvio padrão dos dados logaritimizados. Para calcular a probabilidade onde a variável aleatória  $X$  assumia valores entre  $a$  e  $b$  ( $a \leq X \leq b$ ), tem-se:

$$F(a \leq X \leq b) = \int_a^b \frac{1}{(x\sigma\sqrt{2\pi})} \exp\left[-\frac{[\ln(x-a)-\mu]^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (4)$$

### Distribuição Gumbel para Máximos ou Distribuição Assintótica de Valores Máximos Extremos do tipo I.

A função densidade da distribuição Gumbel, apresentada por Mello et al. (2013), é dada por:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\mu)} - e^{-\alpha(x-\mu)} \quad (5)$$

Em que:  $X$  - precipitação máxima diária anual;  $\alpha$  - parâmetro de escala da distribuição;  $\mu$  - parâmetro de localização da distribuição.

De acordo com Haan (1977), os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  são estimados conforme apresentado abaixo:

$$\hat{\alpha} = \frac{1,283}{S} \quad (6)$$

$$\hat{\mu} = \bar{X} - 0,45.S \quad (7)$$

Em que:  $S$  - desvio padrão da série histórica e  $X$  - média da série histórica.

Os parâmetros das distribuições estudadas foram ajustados pelo Método dos Momentos. O método

dos momentos é caracterizado pela suposição de que os momentos da distribuição populacional coincidem com os da amostra, podendo-se assim, ao igualar-se os momentos de menor ordem, obter-se um sistema de equações que forneça as estimativas desejadas (ANDERSEN et al., 1999). A função geratriz de momentos de uma função densidade de probabilidades é dada por:

$$M_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{tx} f(x) dx \quad 08$$

Em que,  $f(x)$  é a função densidade de probabilidade.

### Teste de Qui-Quadrado

Teste de Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) agrupa os dados da série em classes de frequência e acumula os erros entre as frequências observadas e estimadas de cada classe. A estatística do teste é obtida por meio da tabela de  $\chi^2$ , adotando-se o valor tabelado em função do nível de significância de 0,05 e do grau de liberdade ( $\chi^2_{\text{tab}}$ ). O somatório das diferenças quadráticas resulta no valor de  $\chi^2$  calculado, para valores menores que o  $\chi^2$  tabelado (em função do grau de significância e do grau de liberdade) o modelo foi classificado adequado. Trata-se de um teste quantitativo e considerado mais rigoroso, além de possibilitar a comparação entre as distribuições, permitindo a determinação daquela que melhor se ajusta aos dados de precipitação (Franco et al., 2014; CALDEIRA et al., 2015). O cálculo do  $\chi^2$  é dado pela equação:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(f_{oi} - f_{ti})^2}{f_{ti}} \quad 09$$

Em que,  $\chi^2$  é a estatística do teste;  $f_{oi}$  é a frequência observada na  $i$ -ésima classe;  $f_{ti}$  é a frequência estimada na  $i$ -ésima classe. Para o teste de  $\chi^2$  rejeita-se a hipótese nula de que existe aderência da distribuição de probabilidades ao conjunto de dados, quando  $\chi^2 < \chi^2_{\text{tab}}$ .

### Estimativa da precipitação máxima diária

Após ajustadas as distribuições de probabilidade Normal, Log-Normal e Gumbel para Máximos e verificada aderência das mesmas às séries de precipitação, foram estimadas as precipitações máximas diárias para os tempos de retorno de 25, 50, 100 e 500 anos.

Posteriormente foi realizada a estatística descritiva para os valores observados e estimados segundo os diferentes tempos de retorno por meio de médias, coeficiente de assimetria, curtose e coeficiente de variação, afim de verificar a dispersão e se os dados apresentam distribuição normal.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Precipitação máxima diária anual observada nas estações pluviométricas

Analisando as séries estudadas foram observados valores elevados de precipitação em todas as estações. As precipitações máximas diárias variaram entre 116,8 mm (estação Itaperuna) a 178,5 mm (estação Rio de Janeiro). Na região serrana representada pela estação Cordeiro, apresentou o terceiro maior volume precipitado em vinte e quatro horas, cujo valor é da ordem de 157,7 mm. Nas demais estações, apresentaram os valores de 140,8 mm (Avelar), 146,6 mm (Campos) e 141,2 mm (Resende).

Merecem destaque as estações Avelar, Resende e Rio de Janeiro, visto que além de apresentarem

valores elevados de precipitação máxima diária, também apresentam as maiores frequências de ocorrência, sendo respectivamente de 29,63%, 29,41% e 38,46% dos anos observados, cujos valores foram todos acima de 100 mm. Segundo Vicente et al. (2004), precipitações diárias acima de 100 mm são considerados eventos extremos, cujas consequências podem ser desastrosas, conforme as já ocorridas no Estado do Rio de Janeiro.

Os menores totais diários precipitados aconteceram nas estações Rio de Janeiro com 43,8 mm no ano de 2014, Resende com 53,8 mm em 2005, Itaperuna com 48,8 mm no ano de 2015, Cordeiro, 44 mm em 2003, Campos, 46,1 mm em 2004 e Avelar com 43,1 mm no ano de 2006.

### Comparação entre as distribuições de probabilidades ajustadas

Na Tabela 2, são apresentadas a estatística do Teste Qui-Quadrado, onde é possível verificar que todas as distribuições analisadas apresentaram boa aderência às séries históricas de precipitação, ou seja, estão aptas a serem utilizadas na estimativa das precipitações máximas diárias anuais. Todos os valores de  $\lambda^2_{\text{calculado}}$  foram menores que os valores de  $\lambda^2_{\text{tabelado}}$ . Dentre as distribuições avaliadas, as distribuições Log-Normal e Gumbel para Máximos foram as que apresentaram os melhores resultados segundo o teste Qui-Quadrado.

**Tabela 2:** Valores do Teste Qui-quadrado gerados pelas distribuições de probabilidades Normal, Log-Normal com 2 parâmetros e de Gumbel para Máximos, ao nível de 0,05 de probabilidade.

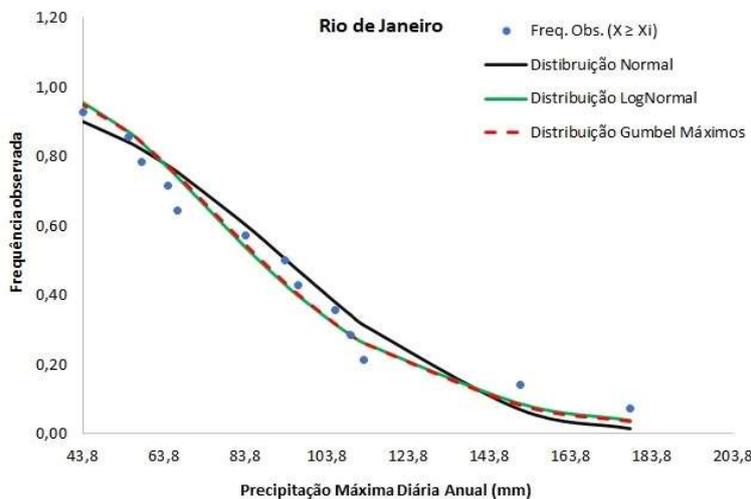
Estações	Distribuições de Probabilidades			$\chi^2_{\text{tabelado}}$
	Normal	Log-Normal	Gumbel para Máximos	
	$\chi^2_{\text{calculado}}$			
Avelar	2,337 <sup>A</sup>	<b>1,649<sup>A</sup></b>	1,826 <sup>A</sup>	7,815
Campos	2,218 <sup>A</sup>	0,398 <sup>A</sup>	<b>0,293<sup>A</sup></b>	7,815
Cordeiro	0,633 <sup>A</sup>	<b>0,097<sup>A</sup></b>	0,108 <sup>A</sup>	5,991
Itaperuna	2,762 <sup>A</sup>	<b>2,222<sup>A</sup></b>	2,934 <sup>A</sup>	7,815
Resende	0,717 <sup>A</sup>	0,079 <sup>A</sup>	<b>0,041<sup>A</sup></b>	5,991
Rio de Janeiro	0,212 <sup>A</sup>	0,007 <sup>A</sup>	<b>0,002<sup>A</sup></b>	3,841

A: valor de  $\chi^2_{\text{calculado}}$  menor que a  $\chi^2_{\text{tabelado}}$  – distribuição Adequada.

É possível, portanto, verificar que todas as distribuições se mostraram adequadas. Todavia, no que se refere as estações de Avelar, Cordeiro e Itaperuna a distribuição que melhor se adequou foi a Distribuição Log-Normal, nas demais a Distribuição de Gumbel para máximos que se mostrou mais adequada. Os resultados são corroborados pelos trabalhos de Hartmann et al. (2011); Caldeira et al. (2015) e Borges et al. (2016), onde os melhores ajustes às frequências observadas das séries históricas foram alcançados pela distribuição Gumbel para Máximos.

Entre os valores de  $\lambda^2_{\text{calculado}}$  apurados nas Distribuições Log-Normal e Gumbel para máximos existe pequena diferença, oscilando entre 0,005 e 0,177, exceto no que se refere a estação de Itaperuna na qual a diferença foi de 0,712 e, excepcionalmente, a Distribuição Normal ficou como a segunda distribuição que melhor se adequou.

A título de exemplo, pode-se verificar a precisão do ajuste das distribuições de probabilidades Normal, Log-Normal com 2 parâmetros e Gumbel para máximos às frequências observadas da série de precipitação máxima diária anual da estação Rio de Janeiro na Figura 2.



**Figura 2:** Aderência das distribuições de probabilidades Normal, Log-Normal com 2 parâmetros e Gumbel para Máximos às frequências observadas da série de precipitação máxima diária anual para a estação Rio de Janeiro.

Na Tabela 3 observam-se os parâmetros de ajuste das distribuições de probabilidades Normal, Log-Normal com 2 parâmetros e Gumbel para máximo, para cada série histórica de cada estação.

**Tabela 3:** Parâmetros de ajuste das distribuições de probabilidades Normal, Log-Normal com 2 parâmetros e de Gumbel para Máximos.

Estações	Normal		Log-Normal		Gumbel para Máximos	
	Média	S	$\mu$	$\sigma$	$\alpha$	$\mu$
Avelar	83,20	27,71	4,37	0,3333	0,0463	70,68
Campos	76,90	26,11	4,29	0,3159	0,0491	65,19
Cordeiro	83,20	28,79	4,37	0,3211	0,0445	70,22
Itaperuna	78,40	17,87	4,34	0,2298	0,0718	70,37
Resende	89,50	26,81	4,45	0,2858	0,0478	77,39
Rio de Janeiro	94,00	38,91	4,47	0,4079	0,0330	76,48

### Estimativa da precipitação máxima diária anual associada a diferentes tempos de retorno (TR)

Na Tabela 4 são apresentados os valores de precipitação máxima diária anual estimadas pela distribuição que melhor se adequou a cada série histórica, para os diferentes tempos de retorno. Verifica-se que a estação Rio de Janeiro foi a que apresentou as maiores precipitações máximas diárias estimadas para todos os tempos de retorno, com valores entre 173,40 mm (tempo de retorno igual a 25 anos) até 264,80 mm (tempo de retorno igual a 500 anos).

A estação de Itaperuna foi a que apresentou as menores estimativas para a precipitação máxima diária anual, cujos valores variaram entre 114,69 mm e 148,62 mm, respectivamente para os tempos de retorno de 25 e 500 anos.

**Tabela 4:** Precipitação máxima diária anual (mm.dia<sup>-1</sup>) estimada pela distribuição de probabilidade Log-Normal e Gumbell, para os tempos de retorno 25, 50, 100 e 500 anos.

Estações	Distribuição	Tempo de Retorno			
		25 anos	50 anos	100 anos	500 anos
Avelar	Log-Normal	141,70	156,70	171,60	206,30
Campos	Gumbel	130,30	144,70	158,90	191,70
Cordeiro	Log-Normal	138,67	152,85	166,83	199,17
Itaperuna	Log-Normal	114,69	122,97	130,92	148,62
Resende	Gumbel	144,30	159,00	173,60	207,40
Rio de Janeiro	Gumbel	173,40	194,70	215,90	264,80

Na Tabela 5 é apresentada a estatística descritiva para os valores observados e estimados segundo

os diferentes tempos de retorno. Em termo médios, a precipitação máxima diária anual observada para o Estado do Rio de Janeiro foi da ordem de 146,93 mm. Os valores mínimos e máximos variaram entre 116,80 mm, ocorrido na estação Itaperuna, no ano de 1994 a 178,50 mm, na estação Rio de Janeiro no ano de 2010, correspondendo a uma variação percentual de 52,83%. Já os valores médios da precipitação máxima diária anual estimada, variaram entre 140,51 mm e 203,00 mm, representando 44,47% de variação percentual. A maior diferença percentual entre os valores mínimo e máximo estimados para a precipitação máxima diária anual foi de 130,88%. Os valores de coeficientes de assimetria (embora positiva) e curtose, distantes de zero, indicam que os dados não possuem distribuição normal. Segundo Santos et al. (2018), os valores de assimetria positiva e curtose menores que 3 (valor padrão para a distribuição normal), indica o ajuste de distribuições comuns com assimetria positiva, como as distribuições Gumbel e Lognormal.

Resultados semelhantes foram encontrados por Machado et al. (2010), trabalhando com séries de precipitação máxima diária anual para o estado do Rio de Janeiro utilizando a distribuição Gumbel. O coeficiente de variação apresentou uma amplitude de 13,77% a 18,36%, sendo considerada uma variação de média dispersão, segundo Pimentel (1985).

**Tabela 5:** Estatísticas da precipitação média diária máxima anual (mm.dia<sup>-1</sup>) e em diferentes períodos de retorno no Estado do Rio de Janeiro

Precipitação máxima anual/ tempos de retorno	Média ± erro padrão	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose	C.V. (%)
Máxima anual	146,93 ± 3,41	116,80	178,50	0,173	1,09	13,92
25 anos	140,51 ± 3,22	114,69	173,40	0,719	1,87	13,77
50 anos	155,15 ± 3,90	122,97	194,70	0,644	2,03	15,06
100 anos	169,63 ± 4,58	130,92	215,90	0,576	2,12	16,21
500 anos	202,99 ± 6,21	148,62	264,80	0,428	2,21	18,36

C.V. – coeficiente de variação.

## CONCLUSÕES

As distribuições de probabilidades Log-Normal com 2 parâmetros e de Gumbel para Máximos melhor se ajustaram às séries históricas de precipitação máxima diária anual segundo o Teste Qui-Quadrado. A Distribuição Log-Normal melhor se adequou a série histórica das estações de Avelar, Cordeiro e Itaperuna e a distribuição de Gumbel para máximo às estações de Campos, Resende e Rio de Janeiro.

Os maiores valores máximos diários anuais estimados ocorreram nas estações Avelar, Resende e Rio de Janeiro, ultrapassando os 200 mm para o tempo de retorno de quinhentos anos, demonstrando a potencialidade de tragédias relacionadas a eventos extremos de precipitação nestas regiões.

Sendo assim, de maneira geral, as distribuições Log-Normal e Gumbel para máximo apresentam-se como melhores opções para a estimativa da precipitação máxima diária anual para diferentes tempos de retorno, já a Distribuição Normal se apresentou como a menos adequada em comparação com as outras distribuições aplicadas ao presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

ANDERSEN, T. G., CHUNG, H. J.; SORENSEN, B. E.. Efficient

method of moments estimation of a stochastic volatility

model: A Monte Carlo study, **Journal of Econometrics**, v.91. p.61-87, 1999.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos: inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro em janeiro de 2011**. Relatório Técnico Brasília. Brasília: Banco Mundial, 2012.

BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C.. **Estatística para Cursos de Engenharia e Informática**. 2 ed. Atlas, São Paulo, 2009.

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. **Ambiente e Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v.11, n.4, p.891, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1823>

BRAGA, R. N. S.; HORA, M. A. G. M.; LYRA, G. B.; NASCENTES, A. L.. Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do Rio de Janeiro. **Ambiente e Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Campina Grande, v.13, n.1, p.1, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2076>

CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; SOUZA, M. R.; GUEDES, H. A. S.. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.3, p.197-203, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p197-203>

CARMO, R. L.; ANAZAWA, T. M.. Mortalidade por desastres no Brasil: o que mostram os dados. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.19, n.9, p.3669-3681, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232014199.07432014>

COTTA, H. H. A.; CORREA, W. S. C.; ALBUQUERQUE, T. T. A.. Aplicação da Distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no Município de Vitória-ES. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.19, n.12, p.203-217, 2016.

FORBES, C.; EVANS, M.; HASTINGS, N.; PEACOCK, B.. **Statistical Distributions**. 4 ed. United States of America, 2011.

HAAN, C. T.. **Statistical Methods in Hidrology**. Ames: The Iowa State University Prees, 1977.

HARTMANN, M.; MOALA, F. A.; MENDONÇA, M. A.. Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.26, n.4, p.561-568, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862011000400006>

KOCH, G. S.; LINK, R. F.. **Statistical analysis of geological data**. New York: Dover Publications Inc., 1970.

MACHADO, R. L.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; FRANCELINO, M. R.. Spatial variability of maximum annual daily rain under different return periods at the Rio de Janeiro state, Brazil. **Bragantia**, Campinas, v.69, p.77-84, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052010000500009>

MELLO, C. R.; SILVA, A. M.. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O.. **Estatística Básica**. 6 ed. Saraiva, 2010.

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

OTTERO, C. R.; CHARGEL, L. T.; HORA, M. A. G. M.. Análise de Frequência dos Dados Pluviométricos Observados em 2011 e 2013 na Região Serrana, Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.33, n.1, p.131-139, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331007>

PIMENTEL, G.. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba: ESAL/USP, 1985.

SANTOS, R. S.; VIEIRA, P. D.; EVANGELISTA, D. H. R.; OLIVEIRA, L. J. C.; NONATO, D.. Caracterização de extremos mensais de precipitação em Cacoal (RO). **Rev. Bras. Climatol.**, v.22, p.267-280, 2018.

VICENTE, A. K.; NUNES, L. H.. Extreme precipitation events in Campinas, Brazil. **Terrae**, v.1, p.60-62, 2004.

WALDHERR, F.; TUPINAMBÁ, M. A.. Dinâmica dos Depósitos Pretéritos na Deflagração de Corridas de Detritos em Eventos Catastróficos: A Bacia de Drenagem do Córrego do Príncipe, Teresópolis – RJ. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 8; SIMPÓSIO IBEROAMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 4. **Anais**. Santiago, 2014. p.1185-1192.