

ESTIMATIVAS DOS MÁXIMOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM 24 HORAS DE JUIZ DE FORA PELO MODELO DE DISTRIBUIÇÃO GUMBEL.

GIVANILDO DE GOIS ¹, JOSÉ FRANCISCO DE OLIVEIRA JÚNIOR ², JORGE SILVESTRE DA SILVA ³, JOSÉ LUIZ CABRAL DA SILVA JÚNIOR ⁴, PATRICIA DA SILVA MONTEIRO ⁵

1 – Meteorologista, Prof. Mestre, Instituto de Ensino Superior de Alagoas – IESA, Maceió – AL, (0xx82) 3371-8012, givanildogois@hotmail.com.

2 – Meteorologista, Doutorando em Engenharia Civil, NCQAr-LAMCE -COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.

3 – Eng. Civil, Prof. Especialista, Instituto de Ensino Superior de Alagoas – IESA, Maceió – AL.

4 – Meteorologista, Doutorando, Depto. de Engenharia Agrícola – DEA/UFV, Viçosa – MG.

5 – Assistente Social, Mestranda. Faculdade de Serviço Social - UFAL, Maceió-AL.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

RESUMO: Dados de precipitação de Juiz de Fora (MG) foram utilizados por quatro métodos estatísticos para a estimativa dos seus valores extremos de precipitação máximos em 24 horas, através da distribuição Gumbel. Os resultados mostram que a probabilidade de 95 % para a distribuição apresentou valores abaixo do registrado. Os métodos de Lieblein e Verossimilhança apresentaram valores semelhantes. O teste de aderência para 5 % mostrou que os métodos de Regressão e Lieblein apresentaram valores do $\chi^2_{\text{cal.}} < \chi^2_{\text{tab}}$ existe concordância entre as precipitações e o nível de probabilidade. Para os métodos de Momento e Verossimilhança verificou-se que $\chi^2_{\text{cal.}} > \chi^2_{\text{tab}}$. Mostra-se que as precipitações estimadas com base na distribuição Gumbel diferem das observadas, ao nível de 5 %. Para a probabilidade de 99 %, o de Regressão, seguido dos demais mostram um bom desempenho nas estimativas de precipitações máximas em comparação a registrada. Esses resultados podem ser verificados pelo teste de aderência para o 1 %, onde todos os métodos apresentam $\chi^2_{\text{cal.}} < \chi^2_{\text{tab}}$. Havendo concordância entre as precipitações e o nível de probabilidade especificado.

Palavras-chave: precipitação máxima, distribuição Gumbel, métodos estatísticos.

ABSTRACT: Data of precipitation of Juiz of Fora (MG), they were used by four statistical methods for the estimate of the values extreme maxima of precipitation in 24 hours, through the distribution Gumbel. The results showed that the probability of 95 % for the distribution Gumbel presented precipitation values below registered him. While the methods of Lieblein and Verisimilitude present precipitation values practically the same. The test of adherence for 5% showed that the methods of Regression and Lieblein present values of the χ^2_{cal} below the χ^2_{tab} . Existing therefore agreement between the precipitations and the level of probability. For the methods of Moment and Verisimilitude was verified that $\chi^2_{\text{cal.}} > \chi^2_{\text{tab}}$. Showing that the precipitations esteemed with base in the distribution Gumbel, differ of the observed precipitations, at the level of 5%. Para the probability of 99 %, the method of Regression, followed by the others show a good acting in the estimates of maximum precipitations in comparison to the registered maximum precipitation. Those results can be verified by the test of adherence for the 1 %, where all the methods present $\chi^2_{\text{cal.}} > \chi^2_{\text{tab}}$. Evidencing an agreement

between the precipitations and the specified level of probability, and that the sample follows the distribution Gumbel.

Word-key: maximum precipitation, distribution Gumbel, statistical methods.

INTRODUÇÃO: As estimativas dos valores máximos de precipitação, podem ser feitas pela aplicação de modelos probabilísticos ajustados aos diversos tipos de distribuições de probabilidades, como por exemplo: a distribuição Gumbel do tipo I de Fisher – Tippet (ASSIS et al., 1996). Em que as estimativas máximas em 24 horas, por esses modelos probabilísticos são imprescindíveis ao planejamento das atividades hidrológicas e agrícolas de uma região (NECHET et al., 2005). O conhecimento dessas estimativas máximas em 24 horas, apresenta interesse tanto de caráter técnico como turístico, numa região, devido a suas freqüentes aplicações nessas atividades sujeitas aos efeitos do clima (SILVA et al., 2002). A ausência de organização dos espaços urbanos na maioria dos municípios brasileiros, onde as populações residem em favelas ou áreas de risco, mostra a real necessidade de se combater a falta de condições estruturais desses locais, através do dimensionamento de obras civis sujeitas a eventos climáticos extremos (RODRIGUES et al., 2005). Neste cenário, encontra-se Juiz de Fora, que nos últimos anos sofreu um forte processo de urbanização caracterizado principalmente, pela inserção de grandes projetos industriais, que propiciou um crescimento populacional e habitacional. Onde a questão ambiental é primordial para a formulação de um projeto de urbanização bem sucedido e que atenda a necessidade de se considerar os impactos ambientais causados pela ocupação desordenada CYMBALISTA (2002). Desta forma, tem-se como principal objetivo à análise das estimativas dos valores extremos máximos de precipitação em 24 horas, pela distribuição de Gumbel para a probabilidade de 95 e 99 % de ocorrência em Juiz de Fora, utilizando os métodos de Momento, Regressão, Lieblein e Máxima Verossimilhança.

MATERIAL E MÉTODOS: Neste trabalho foi utilizada uma série climatológica de (24 anos) 1918 a 1942 do INMET de dados diários máximos de precipitação de Juiz de Fora - MG, localizada entre 21°46'12"S e 43°21'00"W e a 939,96 m. Foram selecionadas as precipitações máximas ocorridas em 24 horas observadas em cada um dos anos, desprezando-se as demais. A partir desse procedimento procurou-se determinar os parâmetros α e β através dos métodos iterativos de Momento, Regressão, Lieblein e Máxima Verossimilhança utilizados como dados de entrada na Distribuição Gumbel para a determinação dos valores extremos de precipitação máxima em 24 horas.

O Método dos Momentos baseia-se nos dois primeiros momentos da amostra, média \bar{x} e o desvio padrão s da precipitação, em que se determinam as estimativas dos parâmetros α e β ,

pelos equações (1) e (2) a seguir: $\alpha = \bar{x} - 0,5772\beta$ (1) e $\beta = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s$ (2)

A aplicação do **Método de Regressão**, consiste na ordenação dos valores das precipitações, de forma crescente, fazendo-se a seguir a regressão de $\frac{n}{N+1}$ e igualando-se a equação cumulativa de probabilidade (3), onde N o tamanho da amostra, n o número de ordem e x a precipitação, conforme a equação (3):

$F(x) = EXP\left\{-EXP\left[\pm\left(\frac{X-\alpha}{\beta}\right)\right]\right\} = \frac{n}{N+1}$ (3), Aplicando-se o logaritmo neperiano (\ln), duas vezes na

equação (3), resulta na equação (4) a seguir: $\ln\left[-\ln\left(\frac{n}{N+1}\right)\right] = \frac{\alpha}{\beta} + \frac{x}{\beta}$ (4), Igualando a Eq

(4), a y , temos a equação (5). $y = \ln\left[-\ln\left(\frac{n}{N+1}\right)\right] = \frac{\alpha}{\beta} + \frac{x}{\beta}$ Com $a = \frac{\alpha}{\beta}$ e $b = \frac{1}{\beta}$ (4), A equação

(4), torna-se uma equação do 1º grau, conforme a equação (5) a seguir: $y = a + bx$ (5), Onde os parâmetros a e b foram obtidos pela equação (6) a seguir: $a = \bar{y} - b\bar{x}$ (6), Em que \bar{y} é a média de y e b , obtido pela equação (7) a seguir:

$$b = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}} \quad (7)$$

O Método de Lieblein consiste na organização dos dados em ordem cronológica e subdivididos em grupos, com no máximo seis observações para cada Grupo. Dentro de cada grupo devem ser ordenados em ordem crescente e ponderados de acordo com os respectivos pesos estatísticos e estabelecidos na Tabela – 1. Neste estudo usaram-se os dados de precipitação da série, sendo organizados, em ordem cronológica e subdivididos em 5 grupos com 5 observações para cada grupo totalizando 25 observações. Os parâmetros α e β foram determinados, a partir do somatório total dos produtos entre os valores diários máximos de precipitação e os respectivos pesos estatísticos estabelecidos Tabela -1.

TABELA 1 - Pesos estatísticos para estimativa dos parâmetros α e β , segundo Lieblein.

GRUPO		X1	X2	X3	X4	X5	X6
G5	a ₅	0,4189	0,2463	0,1676	0,1088	0,0584	
	b ₅	-0,5031	0,0065	0,1321	0,1817	0,1845	

Fonte: Thom, 1966.

As estimativas de α e β são obtidas pelas equações (8) e (9): $\alpha = \frac{\alpha_j \sum x_j}{K}$ (8) e $\beta = \frac{\beta_j \sum x_j}{K}$ (9),

Onde K, é o número de grupos formados e x_j = Precipitação pluvial (mm).

O Método de Máxima Verossimilhança é um método iterativo nos quais as estimativas de α e β são obtidas pela solução das seguintes equações (10) e (11):

$$\alpha = -\beta \ln \left[\frac{\sum \exp \left(-\frac{x}{\beta} \right)}{N} \right] \quad (10) \quad \text{e} \quad \beta = \bar{x} - \frac{\sum x \cdot \exp \left(-\frac{x}{\beta} \right)}{\sum \exp \left(-\frac{x}{\beta} \right)} \quad (11)$$

O valor inicial de β para iniciar a interação é obtido pela equação (1) apresentada anteriormente. A partir dos resultados obtidos pelos respectivos métodos estatísticos calcularam-se os valores em 24 horas para Juiz de Fora, para 95 % e 99 % de probabilidade, conforme CHAGAS et al., 2005 e SANSIGOLO et al., 2005. A teoria desses valores extremos é fundamental nestes casos, para a modelagem destes eventos extremos obedecendo aos níveis de confiabilidade de 95 e 99 %. Onde as funções de densidade e cumulativa de probabilidade, calculadas pelas seguintes equações 12 e 13.

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \text{EXP} \left\{ \left(\frac{-x-\alpha}{\beta} \right) \text{EXP} \left(-\text{EXP} \left(\frac{-x-\alpha}{\beta} \right) \right) \right\} \quad (12) \quad \text{e} \quad F(x) = \text{EXP} \left\{ -\text{EXP} \left[\pm \left(\frac{X-\alpha}{\beta} \right) \right] \right\} \quad (13)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A análise da probabilidade de 95 % de ocorrência de precipitação máxima em 24 horas Tabela – 2, mostram valores de precipitação máxima abaixo do registrado na região (111,20 mm). Embora, possa-se observar que o método de Regressão é único a apresentar valores de precipitação bem próximos à máxima registrada na região. Enquanto, os métodos de Lieblein e Verossimilhança apresentam valores extremos da ordem de 104,59 e 104,86 mm, respectivamente. Na Tabela – 3 encontram-se os resultados dos testes de aderência para os respectivos métodos nos intervalos de confianças de 1 e 5 %. Onde os métodos de Regressão e Lieblein foram os que apresentaram valores de $\chi^2_{\text{cal}} < \chi^2_{\text{tab}}$ indicando

que o valor crítico calculado foi abaixo do tabelado. Isso mostra que as precipitações estimadas com base na distribuição Gumbel, não diferem das observadas ao nível de 5 %, havendo assim uma concordância entre as séries de frequências e o nível de probabilidade. Aceitou-se portanto, a hipótese de nulidade (H_0), e que a amostra de dados provém de uma população que segue a distribuição padrão. Para os métodos de Momento e Verossimilhança verifica-se que $\chi^2_{cal} > \chi^2_{tab}$. Ou seja, valores críticos para o χ^2_{cal} acima dos valores de χ^2_{tab} . Isso mostra que as precipitações estimadas com base na distribuição Gumbel são diferentes das observadas, ao nível de 5 %. Não existindo, portanto concordância entre o nível de probabilidade especificado e as precipitações estimadas pela distribuição em que se rejeitou H_0 .

TABELA – 2 Valores dos parâmetros α e β para as estimativas das precipitações máximas em 24 horas ao nível de probabilidades de 95 e 99 % de ocorrências em Juiz de Fora.

Métodos Estatísticos	Parâmetros		Precipitação Máxima (mm), para a Probabilidade de 95%
	α	β	
Regressão	71,23	12,93	109,65
Lieblein	71,71	11,07	104,59
Momentos	71,60	11,59	106,02
Verossimilhança	71,70	11,17	104,86
Métodos Estatísticos	Parâmetros		Precipitação Máxima (mm), para a Probabilidade de 99%
	α	β	
Regressão	71,23	12,93	130,72
Lieblein	71,71	11,07	122,64
Momentos	71,60	11,59	124,91
Verossimilhança	71,70	11,17	123,06

Para a probabilidade de 99 %. Observou-se que todos os métodos apresentaram um ótimo desempenho nas estimativas dos valores máximos de precipitação em 24 horas, em comparação com a máxima registrada em Juiz de Fora (111,20 mm). Os resultados do teste de aderência para o intervalo de confiança de 1 % mostra que $\chi^2_{cal} < \chi^2_{tab}$. Isso mostra que as precipitações estimadas com base na distribuição Gumbel, não diferem das observadas, ao nível de 1 %. Verifica-se a existência de concordância entre as precipitações e o nível de probabilidade especificado, aceitou-se H_0 .

TABELA – 3 Teste de aderência (Qui-Quadrado χ^2) aplicado a precipitação máxima em 24 horas para Juiz de Fora, MG (1918-1942) ao nível de probabilidades de 1 e 5 %.

MÉTODOS	1%		Hipótese	5%		Hipótese
	χ^2_{cal}	χ^2_{tab}		χ^2_{cal}	χ^2_{tab}	
Regressão	1,17	6,64	ACEITA-SE H_0	1,65	3,84	ACEITA-SE H_0
Momentos	4,14	6,64	ACEITA-SE H_0	4,14	3,84	REJEITAR H_0
Lieblein	3,18	6,64	ACEITA-SE H_0	3,18	3,84	ACEITA-SE H_0
Verossimilhança	3,95	6,64	ACEITA-SE H_0	3,95	3,84	REJEITAR H_0

CONCLUSÕES: Foi demonstrado que a probabilidade de 95 % de ocorrência de precipitação máxima apresentou valores abaixo do registrado (111,20 mm) na região. Observou-se que o método de Regressão foi o único a apresentar valores extremos próximos ao registrado (109,65 mm) em 1924. O teste de aderência para os respectivos métodos no intervalo de confiança de 5 % mostram que Regressão e Lieblein foram os métodos que apresentaram valores do χ^2_{cal}

abaixo do χ^2_{tab} . Verificou-se que os métodos de Momento e Verossimilhança para o χ^2_{cal} apresentou valores acima do χ^2_{tab} , mostrando que as precipitações estimadas com base na distribuição diferem das observadas, ao nível de 5 % de probabilidade. A probabilidade ao nível de 99 % mostraram que o método de Regressão, seguido respectivamente, pelos de Lieblein, Momento e Verossimilhança apresentaram um bom desempenho nas estimativas de precipitações máximas em comparação com o registrada na região (111,20 mm). Entretanto, pode-se verificar pelo teste de aderência que os métodos de Regressão, Lieblein, Momento e Verossimilhança, para o intervalo de confiança de 1 % apresentaram valores de $\chi^2_{cal} < \chi^2_{tab}$, mostrando que as precipitações estimadas pela distribuição Gumbel, não são diferentes das observadas, ao nível de 1 % de probabilidade. Deste modo pode-se concluir que a distribuição Gumbel foi capaz de determinar a ocorrência de valores extremos de precipitação máxima em 24 horas, notadamente para a probabilidade de 99%, onde todos os métodos apresentaram valores de superiores ao registrado na região, e foram confirmados pelo teste de aderência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, F. N; ARRUDA H. V. & PEREIRA A.R. **Aplicações de Estatística à Climatologia**. Pelotas: Ed. Universitária / UFPEL, Rio Grande do Sul - RS. p 61-69, 1996.
- CHAGAS, G. F. B.; PORTELA, B. T. T.; SOUZA, D. C.; ROCHA, E. J. P.; COSTA. M. C.; MARTINS, A. C. S. Identificação das probabilidades de eventos extremos máximos na precipitação pluvial de Belém. In XII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA METEOROLOGIA, Anal..., Campinas, São Paulo, 2005. 1 CD-ROOM.
- CYMBALISTA, R. **Estudo de Impacto de Vizinhança. Idéias para a Ação Municipal**. São Paulo: Instituto Polis, p. 3, 2001.
- 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. 159-171, 1995.
- SILVA, M. M; GONÇALVES, A, R; MAKINO, M. Distribuição de probabilidade de valores extremos da precipitação máxima de 24 Horas de Belém do Pará. In XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Anal..., Foz do Iguaçu, Paraná, 2002. 1 CD-ROOM.
- NECHET, D. SOUZA., D. C., SILVA, R. A. Variação diurna de eventos de precipitação em Santarém, PA. In XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Anal..., Campinas, São Paulo, 2005. 1 CD-ROOM.
- SANSIGOLO, C. A. Distribuição de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP. In XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Anal..., Campinas, São Paulo, 2005. 1 CD-ROOM.
- THOM, H. C. S. **Some methods of climatolgical analysis**. Roma, FAO, 1966. 50p. (FAO. Technical Notes 81).
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no Excel**, Ed. UFV. Viçosa, MG, 2004, 251p.
- RODRIGUES, N. J., ASSIS, R. M., MATOS, T. C. **Análise dos impactos ambientais oriundos do processo de urbanização de São Luiz a partir de recursos oferecidos pelo sensoriamento remoto**. In: II JORNADA INTERNACIONAL DE POLITICAS PÚBLICAS MUNDIALIZAÇÃO E ESTADOS NACIONAIS: a questão da emancipação e da soberania. **Anal...**, São Luiz, Maranhão, 2005. 1 CD-ROOM.