

PROBABILIDADES DAS VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO PELOTAS COM DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE PARÂMETROS

EMANUELE BAIFUS MANKE¹; ROBERTA MACHADO KARSBURG²;
MARGARETH ANDRADE DOS REIS TAVARES²; ELIANA APARECIDA
CADONÁ²; RITA DE CÁSSIA FRAGA DAMÉ³; CLAUDIA FERNANDA ALMEIDA
TEIXEIRA-GANDRA³

¹PPG Manejo e Conservação do Solo e da Água – UFPel – manumanke@gmail.com

²PPG Manejo e Conservação do Solo e da Água - UFPel - robertakarsburg@gmail.com,
margatav@yahoo.com.br, cadona.eliana@gmail.com

³Centro de Engenharias - UFPel – ritah2o@hotmail.com; cfeixei@ig.com.br

1. INTRODUÇÃO

A análise de distribuições de frequências de vazões máximas, vazões mínimas e de precipitações máximas demandam o uso de distribuições estatísticas. No entanto, esta análise é dificultada, em muitos casos, pela baixa densidade de estações de monitoramento e também pelo curto período de tempo dos registros disponíveis. Nessa situação, o hidrólogo deve procurar estimadores menos sujeitos às variações amostrais (VALVERDE et al., 2004).

O método de estimativa mais indicado para cada distribuição de probabilidade tem sido objeto de estudo de alguns pesquisadores, com o intuito de obter o mais indicado, de acordo com a região de estudo. Neste contexto, JUNQUEIRA JÚNIOR et al. (2015) verificaram o ajuste de probabilidade de precipitação diária máxima anual de doze séries de dados, para três sub-regiões do alto Uruguai, sendo utilizadas as distribuições Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Gumbel, com os parâmetros ajustados por meio dos Métodos dos Momentos (MOM), dos Momentos-L (MML) e Máxima Verossimilhança (MVM). De acordo com os autores, a metodologia dos MML mostrou ser a melhor opção para estudos relacionados a precipitação diária máxima anual, nas sub-regiões analisadas.

Franco et al. (2014) ajustaram as distribuições de Gumbel, Gama II e GEV às séries históricas de precipitação máxima diária anual, na bacia hidrográfica do rio Verde, no sul do estado de Minas Gerais. Os parâmetros de cada distribuição foram estimados pelos MOM, MVM e MML. Os autores verificaram um melhor ajuste da distribuição de probabilidades GEV, utilizando o método dos MML e a distribuição Gumbel pelo método MVM, para estimativa dos parâmetros.

Assim, objetivou-se avaliar o ajuste das distribuições Normal, log-Normal II, Gumbel e Gama II aos valores de vazões máximas anuais da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas, aplicando-se os métodos da Máxima Verossimilhança, Método dos Momentos e Método dos Momentos-L para a estimativa dos parâmetros, visando verificar qual destes é o mais indicado para as condições da bacia hidrográfica em estudo.

2. METODOLOGIA

O trabalho foi realizado na bacia hidrográfica do Arroio Pelotas, localizada no município de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul. Os dados diários de vazão foram obtidos por meio da base de dados Hidroweb, a qual é de responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA, 2017). No Arroio Pelotas há instalada uma estação de monitoramento fluviométrica, denominada Ponte Cordeiro de Farias (88850000), compreendendo uma área de drenagem de aproximadamente 386 km².

A série de vazão máxima anual foi constituída com base na análise do ano hidrológico da localidade de Pelotas/RS, o qual foi determinado por meio de dados de precipitação da mesma estação de monitoramento, com início em maio e término em abril, corroborando com o encontrado por Tucci (2004), para o estado do Rio Grande do Sul.

As vazões máximas anuais obtidas são provenientes do período base de anos de 1965 a 1981, o qual corresponde a um período histórico sem falhas. A série foi ajustada às distribuições Normal, log-Normal II, Gumbel e Gama II para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 10 e 100 anos. No ajuste de cada uma das distribuições foram utilizadas três formas de estimativa dos parâmetros: o Método dos Momentos (MOM), Método dos Momentos L (MML) e Máxima Verossimilhança (MVM).

A aderência das distribuições aos dados observados de vazão foi avaliada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), o qual permite calcular o erro máximo absoluto entre a frequência observada e a probabilidade estimada. O valor do ΔF tabelado é obtido em função do número de dados da série histórica e da sua significância, que neste trabalho foi adotado 5% de probabilidade. Para os valores calculados menores do que o tabelado, aceita-se a hipótese H_0 , indicando que a distribuição ajustou-se adequadamente aos dados (Equação 1).

$$|\Delta F|_{\text{calculado}} = |\Delta F|_{\text{tabelado}(n,\alpha)} \quad (1)$$

O teste de Anderson-Darling (AD^2) também foi aplicado aos dados ajustados pelas distribuições, visando-se verificar a aderência, de acordo com cada método de estimativa de parâmetros. O teste de aderência AD^2 baseia-se na diferença entre as funções de probabilidade empírica e teórica das variáveis atribuindo mais peso às caudas das distribuições. A estatística do teste é descrita pela Equação 2:

$$AD^2 = -N - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N [(2 \cdot i - 1)(\ln(P_1(X < x_i)) + (\ln(P_2(X > x_i))))] \quad (2)$$

Em que, i é a ordem dos dados da série histórica, $P_1(X < x_i)$ é probabilidade de não excedência, $P_2(X > x_i)$ é probabilidade de excedência e N é número de dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão os resultados dos parâmetros ajustados por meio dos métodos MVM, MOM e MML, para as distribuições teóricas de probabilidade Normal, Gumbel, Gama II e log-Normal II. Verifica-se que para as distribuições Normal e log-Normal II, os resultados dos parâmetros foram idênticos, quando estimados pelos métodos da MVM e MOM, porém diferiram na aplicação do método do MML. Nas distribuições de probabilidade de Gumbel e Gama II, os resultados dos parâmetros foram diferentes entre todos os métodos de estimativa analisados.

Na Figura 1, observam-se os valores das vazões máximas anuais associados aos períodos de retorno, as quais foram estimados por meio das distribuições de probabilidades e para cada um dos métodos de estimativa de parâmetros analisados.

Verifica-se que os valores das vazões estimados diferem, quando utilizados diferentes métodos de estimativa de parâmetros e também entre as distribuições de probabilidade aplicadas, sendo maior a variação nos resultados obtidos para maiores períodos de retornos. Além disso, observa-se que as vazões máximas anuais foram superestimadas pela distribuição log-Normal II, quando utilizados os métodos dos MOM e da MVM.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros ajustados às distribuições de probabilidade pelo Método da Máxima Verossimilhança (MVM), Método dos Momentos (MOM) e Método dos Momentos-L (MML).

Mét.	Distribuição de probabilidades							
	Normal		Gumbel		Gama II		log-Normal II	
	μ	σ	μ	α	β	λ	μ	σ
MVM	220,469	85,057	177,690	0,012	5,025	43,874	5,293	0,528
MOM	220,469	85,057	182,194	0,015	6,719	32,815	5,293	0,528
MML	220,469	89,245	178,541	0,014	6,094	36,180	5,315	0,402

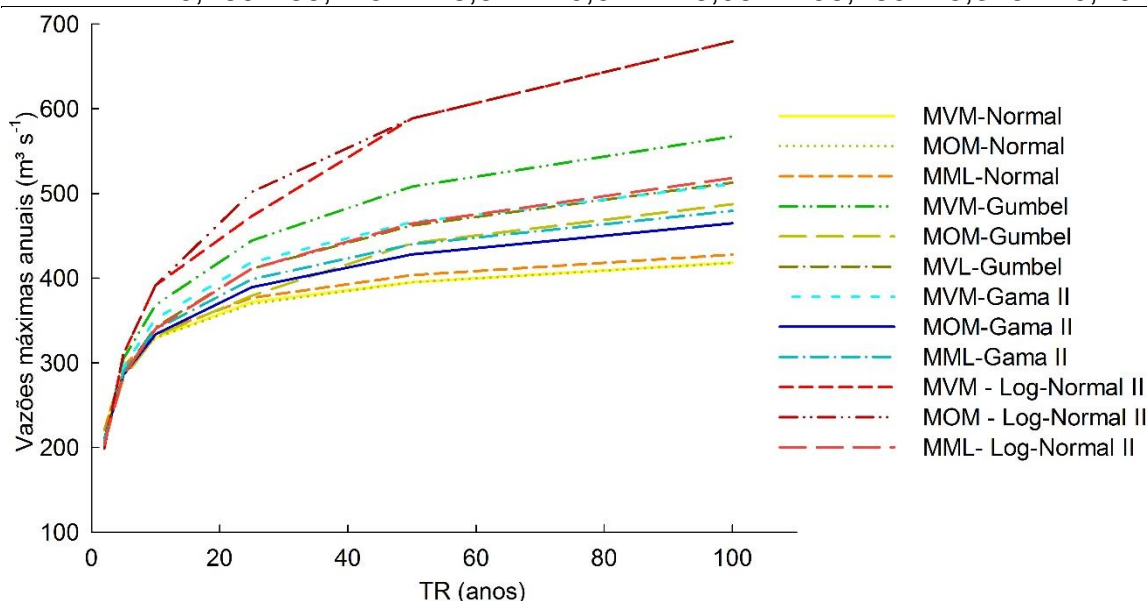


Figura 1 – Vazões máximas anuais associadas a um período de retorno obtidas por meio das distribuições de probabilidades e pelos métodos de estimativa analisados.

Na Tabela 2, estão os resultados dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov (KS) e Anderson-Darling (AD^2), os quais foram aplicados ao nível de 5% de probabilidade. O teste de KS indicou que todas as distribuições de probabilidade e métodos de estimativas de parâmetros foram adequados para a obtenção das vazões máximas anuais do Arroio Pelotas.

No entanto, observa-se que o teste de AD^2 foi mais rigoroso na análise das distribuições de probabilidades, comparativamente ao teste de KS, pois demonstrou que os dados não aderiram adequadamente, às distribuições log-Normal II e Gumbel, quando aplicado o método de estimativa dos parâmetros dos MML. Franco et al. (2014) também obtiveram restrições maiores quando utilizado o teste de AD^2 . De acordo com os autores, há uma fragilidade maior do teste de KS na análise de séries históricas assintóticas, e o uso deste deve ser evitado, visando reduzir erros do tipo I, ou seja, aceitar a hipótese H_0 , de que a distribuição é adequada, sendo que a mesma pode não representar adequadamente a população de dados.

Os resultados, de modo geral, demonstram que as distribuições que se ajustaram aos dados de vazões máximas anuais foram a Normal e Gama II, independente do método de estimativa de parâmetro. A análise estatística, por meio do teste de AD^2 , permitiu constatar também que os MVM e o MML estimaram adequadamente as vazões máximas para as distribuições Normal, Gumbel e Gama II, sendo que, somente para a distribuição log-Normal II, não ocorreu um bom ajuste estatístico. Estes resultados corroboram com os observados na Figura 1, em que verifica-se a superestimativa dos valores das vazões máximas anuais pela

distribuição log-Normal II. Além disso, o MOM apresentou um ajuste inadequado para as distribuições log-Normal e Gumbel.

Tabela 2 – Testes estatísticos aplicados na avaliação do ajuste das distribuições de probabilidades às vazões máximas anuais a cada método de estimativa de parâmetro.

Distribuição	Kolmogorov-Smirnov			Anderson-Darling		
	MVM	MOM	MML	MVM	MOM	MML
Normal	0,102	0,102	0,09	0,374	0,374	0,353
Gumbel	0,134	0,158	0,161	0,626	1,048***	0,816
Gama II	0,144	0,141	0,141	0,683	0,790	0,790
log-Normal II	0,157	0,157	0,168	0,934**	0,934**	1,057**

*Rejeita-se hipótese H_0 ao nível de 5% de probabilidade: $|\Delta F_{\text{calculado}}| > 0,33$

**Rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de 5% de probabilidade para as distribuições Normal e log-Normal: $AD^2 > 0,873$

***Rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de 5% de probabilidade para as distribuições Gumbel e Gama II: $AD^2 > 0,877$

Franco et al. (2014) em um estudo semelhante, também obtiveram um melhor ajuste estatístico da distribuição Gumbel, para estimativa da precipitação máxima diária da bacia hidrográfica do Rio Verde/MG, por meio do MVM. Da mesma forma, Junqueira Júnior et al. (2015) verificaram que o MML mostrou-se como melhor opção para estudos da precipitação máxima anual, nas sub-regiões do Alto Rio Grande. No entanto, é possível destacar a importância da análise probabilística, constatando-se, por meio da comparação destas pesquisas, que a distribuição e o método de estimativa de parâmetro mais adequado, variam de acordo com as características de cada região.

4. CONCLUSÕES

O teste estatístico de Anderson-Darling demonstrou-se mais restritivo do que o teste de Kolmogorov-Smirnov.

As distribuições que melhor ajustaram-se aos dados de vazões máximas anuais foram a Normal e a Gama II, independente do método de estimativa de parâmetro utilizado.

A distribuição log-Normal não ajustou-se adequadamente aos dados observados de vazões máximas anuais.

O Método dos Momentos apresentou um ajuste inadequado às distribuições log-Normal e Gumbel.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 05 março 2017.

JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.; MELLO, C. R. de; ALVES, G. J. Eventos extremos de precipitação no Alto Rio Grande, MG: Análise probabilística. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.301-308, 2015.

FRANCO, C. S.; MARQUES, R. F. P.; OLIVEIRA, A. S.; OLIVEIRA, de L. F. C. de. 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.

VALVERDE, A. E. L.; LEITE, H. G.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. Momentos-L: Teoria e aplicação em hidrologia. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.927-933, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 2014.