

---

## **ADEQUAÇÃO DO MODELO DE GUMBEL PARA SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÕES MÍNIMAS DO RIO PIRAPÓ**

GUMBEL MODEL ADJUSTMENT FOR HISTORICAL SERIES OF MINIMUM FLOWS OF PIRAPÓ RIVER

Rayane Vendrame da Silva<sup>1</sup>

Gislaine Silva Pereira<sup>1</sup>

Rafael Soriani<sup>2</sup>

Escárlatti Onara Dorne<sup>1</sup>

Vitor Prampero<sup>1</sup>

### **RESUMO**

O conhecimento sobre a disponibilidade de água, é a informação fundamental para tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos, pois devem ser usados de forma racional, e sendo os processos hidrológicos aleatórios, os dados estatísticos devem ser tratados de forma probabilística. O objetivo deste trabalho foi verificar a adequação da distribuição de Gumbel no ajuste de vazões mínimas da sub-bacia do Rio Pirapó, em Paranacity, Paraná. Para estabelecer os indicadores de vazões mínimas foram utilizadas estações fluviométricas em operação, onde a série histórica em questão possuía 32 anos de dados mensais coletados. Para adequação dos dados de vazões mínimas e da probabilidade ocorrência das mesmas, foi utilizado o modelo estatístico de Gumbel. Em busca da verificação de aderência da distribuição de Gumbel aos dados de vazão mínima foram realizados testes através do coeficiente de ajuste (CA), coeficiente de massa residual (CRM) e o coeficiente de determinação (r). Os resultados demonstraram que a distribuição não se ajustou adequadamente as vazões mínimas da sub-bacia do Rio Pirapó, o que é possível observar através dos valores estimados. Conclui-se que a distribuição de Gumbel não foi adequada para o ajuste de dados de vazões mínimas, o que impossibilitou respostas em busca de melhor gestão do controle de uso da água.

11

**Palavras-chave:** Recursos hídricos. Estações fluviométricas. Testes de aderência

### **ABSTRACT**

Knowledge about water availability is the key information for decision-making in water resource management, because it is should be used rationally, as hydrological processes are random, statistical data should be treated probabilistically. The objective of this study was to verify the adequacy of the Gumbel distribution in the adjustment of minimum flows of the sub-basin of the Pirapó River, in Paranacity, Paraná. To establish the minimum flow indicators, fluviometric stations were used in operation, where the historical series in question had 32 years of monthly data collected. The Gumbel statistical model was used to fit the minimum flow data and probability of occurrence.

---

<sup>1</sup>Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Maringá, UEM

<sup>2</sup>Graduação em Agronomia, Centro Universitário Filadélfia, UNIFIL. E-mail: rafaelSORIANI@hotmail.com

In order to verify Gumbel distribution adherence of the minimum flows data, the coefficient of adjustment (CA), residual mass coefficient (CMR) and determination coefficient (r) were used. The results showed that the distribution did not adequately adjust for the minimum flows of the sub-basin of Pirapó River, which can be observed through the estimated and observed values. It is concluded that the distribution of Gumbel was not adequate for the adjustment of data of minimum flows, not allowing answers in search of better management of water use control.

**Keywords:** Hydric resources. Fluviometric station. Statistical tests.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que possui múltiplas utilidades tanto para os seres humanos quanto para a agricultura. As atividades humanas podem influenciar diretamente em sua disponibilidade, pois suas ações interferem nas mudanças climáticas (MELLO et al., 2008; LOPES et al., 2016).

Com o passar do século, se tem uma intensificação da ocorrência de eventos extremos de temperatura, precipitação, seca e enchentes, que conseqüentemente aumentam os riscos de erosões, deslizamentos de terras, incêndios florestais, riscos à saúde humana, redução do potencial agrícola e a diminuição da disponibilidade de água (MELO et al., 2008).

Assim, o entendimento sobre a distribuição de água no planeta, permite que os recursos hídricos sejam usados de forma racional, além de otimizar sua disponibilidade através de análises hidrológicas de vazões dos rios e reservatórios, onde a falta de informação sobre a gestão dos recursos hídricos influencia na tomada de decisão sobre a forma de gerir estes recursos (SILVA et al., 2015).

Além disso, o conhecimento sobre a quantidade de água disponível é essencial para o dimensionamento de projetos agrícolas, irrigação, navegação, geração de energia, engenharia hidráulica, construção de diques, pontes, vertedouros e estudos de qualidade da água. Portanto a estimativa de vazões máximas e mínimas possui caráter decisivo para estimar custos e a segurança desses projetos (SILVINO et al., 2007).

As vazões mínimas são atributos favoráveis a mudanças por decorrência da ação do homem, fazendo com que o risco de ocorrência deste tipo de vazão deva ser estimado, possibilitando o melhor controle de possíveis catástrofes ambientais

(PRUSKI et al., 2011). O estudo dessa variável hidrológica é essencial para determinação de valores adequados de referência, para a disponibilidade hídrica em diferentes regiões, pois descrevem a quantidade água que deve permanecer no leito de rio após múltiplos usos (MELLO et al., 2010; VICTORINO et al., 2014).

Segundo Pinto et al. (2010) a análise no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é feito através de análises de séries históricas de vazões. Estas análises permitem detectar variações significativas no regime hidrológico por um longo período de tempo.

Como os processos hidrológicos são aleatórios, os dados estatísticos devem ser tratados de forma probabilística, formando variáveis contínuas, onde a análise dessas variáveis é feita através do conhecimento de modelos probabilísticos teóricos e sua aplicação à distribuição amostral de frequência (LEME, 2002).

Os modelos probabilísticos permitem compreender o comportamento hidrológico da série em questão, além da prevenção de eventos extremos como, cheia e escassez hídrica. Como resultados das frequentes ocorrências desses eventos extremos, considera-se a diminuição de vazões mínimas em muitas regiões no futuro, o que resultará em disputas por ofertas e demandas de água doce a nível mundial (OLIVEIRA; FIOREZE, 2011; QUEIROZ; OLIVEIRA, 2013).

Portanto, o conhecimento sobre a disponibilidade de água, é a informação fundamental para tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos, a fim de garantir que esse bem esteja disponível para todos em qualidade e quantidade adequada, assegurando sua segurança ambiental (VICTORINO et al., 2014). Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a adequação da distribuição de Gumbel no ajuste de vazões mínimas da sub-bacia do Rio Pirapó, no município de Paranacity, Paraná.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A sub-bacia utilizada para o estudo está localizada no município de Paranacity/PR (22° 55' 48" S; 52° 09' 03" O), onde o rio em questão é o Rio Pirapó, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, que possui uma área de drenagem de 4490 km<sup>2</sup> com altitude de 250 m. Segundo Köppen a classificação climática da região é do tipo Cfa, de clima temperado com verões quentes.

A estação fluviométrica leva o nome de Vila Souza Jardim, onde as informações fluviométricas da sub-bacia foram obtidas com base nos dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Para estabelecer os indicadores de vazões mínimas foram utilizadas estações fluviométricas em operação, onde a série histórica em questão possuía 32 anos de dados mensais coletados, durante o período de 1968 a 2001. Foram retirados alguns anos da série histórica, por apresentarem falhas, deixando a série incompleta e inconsistente.

Para adequação dos dados de vazões mínimas e da probabilidade ocorrência das mesmas, foi utilizado o modelo estatístico de Gumbel (Watanabe, 2013). Segundo o autor, a distribuição de Gumbel, quando utilizada para valores mínimos, representa a parte inferior da distribuição dos dados. A distribuição é dada através da relação  $P(X \geq x) = e^{-e\alpha(x-\beta)}$ , onde  $\alpha_{est} = 1,2826/\alpha$  e  $\beta_{est} = \bar{x} + 0,451\sigma$ , onde  $\sigma$  é o desvio padrão da série histórica;  $\bar{x}$  é a média aritmética dos dados;  $\beta$  e  $\alpha$  são constantes de ajustes estimadas (WATANABE, 2013).

Para determinar os valores de vazões mínimas em função do tempo de retorno, foi utilizada a função  $x = \beta_{est} + \left\{ \left( \frac{1}{\alpha_{est}} \right) * \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{TR} \right) \right] \right\}$ , onde  $x$  corresponde a vazão mínima e o TR ao tempo de retorno em anos.

14

Em busca da verificação de aderência da distribuição de Gumbel aos dados de vazão mínima foi utilizado o coeficiente de ajuste (CA), coeficiente de massa residual (CRM) e o coeficiente de determinação ( $r$ ).

O coeficiente de ajuste é determinado através da relação entre os valores observados e os calculados teoricamente, e deverá tender a um. A função de que determina o coeficiente é dada pela relação  $CA = \frac{\sum(Mi+Mx)^2}{\sum(Ti-Mx)^2}$ , onde  $Mx$  é a média dos valores calculados pelo método;  $Mi$  é o valor calculado pelo modelo e  $Ti$  são os valores observados da série histórica (ARAGÃO et al., 2012).

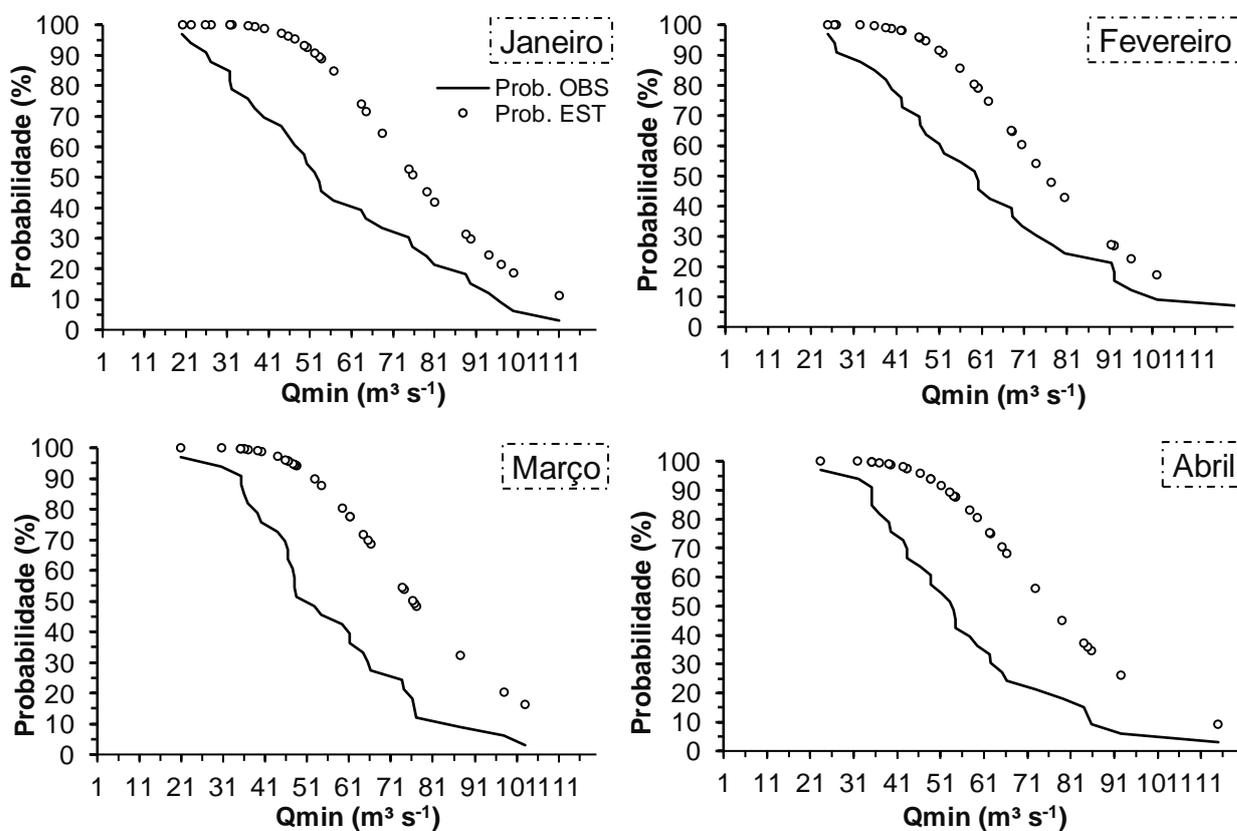
O coeficiente residual de massa tende a zero na ausência de desvios sistemáticos entre os valores estimados e os calculados, onde o mesmo é determinado  $CRM = \left[ \frac{\sum Mi - \sum Ti}{\sum Mi} \right]$ , sendo os valores  $CRM > 0$  indicam superestimação, e os valores de  $CRM < 0$  indicam subestimação dos valores estimados (ARAGÃO et al., 2012).

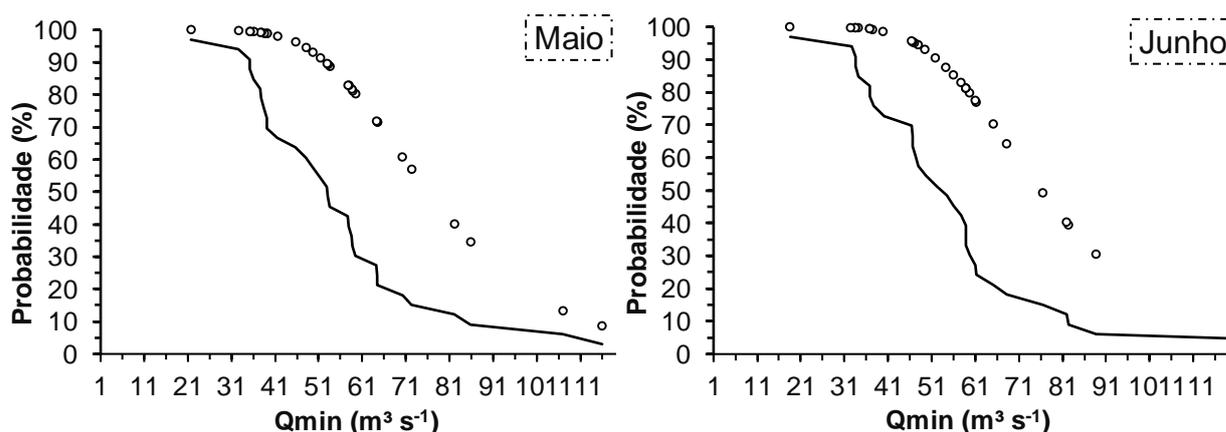
O teste  $r$  é considerado uma medida descritiva de qualidade de ajuste obtido, podendo variar entre 0 a 1, em que a proximidade de 1 representa melhor ajuste. Para obtenção do coeficiente utilizou-se o ambiente R, na plataforma R Studio (R Core Team, 2013).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As séries históricas de vazões ajustadas à distribuição de Gumbel podem ser observadas na Figura 1. É possível verificar que a distribuição em questão não se ajustou adequadamente as vazões mínimas da sub-bacia do Rio Pirapó, o que é possível observar através dos valores estimados e observados.

**Figura 1** - Tendência da adequação de vazões mínimas da sub-bacia do Rio Pirapó em Paranacity-PR, do mês (A) janeiro, (B) fevereiro, (C) março, (D) abril, (E) maio, (F) junho, para o período entre 1969 a 2001.





Pereira e Caldeira (2018) ao verificar a adequabilidade da distribuição de Gumbel para séries históricas de vazões mínimas anuais, para a sub-bacia do Rio Negro, observaram que o comportamento da curva em todos os meses não se adequou totalmente a série histórica, corroborando com a série histórica do presente estudo.

Souza et al. (2012) também obtiveram os mesmos resultados ao caracterizar uma microbacia do córrego Capetinga, localizado no Sudeste do Distrito Federal, observando que o modelo de Gumbel não foi o mais adequado, quando comparado a outros métodos tanto para séries históricas de vazões máximas e mínimas.

Correa e Mello 2014 verificaram a adequabilidade da distribuição de Gumbel ao analisarem as vazões mínimas de 7 dias para a sub-bacia Paraopeba, Rio Ribeirão da Ajuda, o que não ocorreu no presente estudo.

A tabela 1 apresenta os valores obtidos através da realização dos testes de aderência para verificar a adequabilidade dos dados da série estudada ao modelo de probabilidade de Gumbel.

**Tabela 1** - Coeficientes de adequação para o modelo probabilístico utilizado na adequação de vazões mínimas.

Meses	Testes de aderência		
	r	CA	C. Massa Residual
Janeiro	0,85	0,575	-0,738
Fevereiro	0,89	0,689	-0,451
Março	0,83	0,379	-1,638
Abril	0,79	0,407	-1,457
Maio	0,73	0,382	-1,619
Junho	0,73	0,359	-1,785

O coeficiente de determinação  $r$  comprovou a não adequabilidade dos dados, pois as séries históricas em questão apresentaram variações, onde o maior ajuste encontrado foi de 89% para o mês de fevereiro. Resultados diferentes foram encontrados por Aragão et al. (2012) que obteve um coeficiente elevado ( $R^2$ : 0,99), identificando a adequação do modelo de Gumbel para sua série histórica, em análises de chuvas diárias.

Outro teste que comprovou a não adequação do modelo probabilístico foi o coeficiente de ajuste (CA), onde seus valores não tenderam a unidade, corroborando com os resultados de Pereira e Caldeira (2018). Lopes et al. (2016) verificou a adequabilidade do modelo de Gumbel através do teste em questão, ao realizar a regionalização de vazões máximas e mínimas de sete dias para a bacia hidrográfica do Rio Ivaí.

O coeficiente residual de massa (CRM) apresentou a tendência do modelo em subestimar os valores, apresentando um coeficiente residual de massa menor que zero, para todos os meses da série histórica corroborando com os valores encontrados por Pereira e Caldeira (2018). Lopes et al. (2016) através do coeficiente residual de massa, comprovou a adequação do modelo de Gumbel, apresentando CRM tendendo a zero.

Finkler et al. 2015 ao analisar modelos de distribuição de probabilidades para estimar vazões mínimas na bacia do Arroio Belo verificou completa restrição a distribuição de Gumbel, corroborando com o presente estudo.

Silva et al. (2003) ao verificar vazões máximas e mínimas anuais do córrego Capetinga, observou que o modelo de Gumbel se encaixou melhor na previsão de máximas vazões anuais, e no caso de vazões mínimas apresentou valores discrepantes, não se ajustando aos dados.

#### **4 CONCLUSÃO**

A distribuição de Gumbel não foi adequada para o ajuste de dados de vazões mínimas da sub-bacia do Rio Pirapó, em Paranacity, PR, o que impossibilitou respostas em busca de melhor gestão do controle de uso da água.

## REFERÊNCIAS

ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 13, p. 243-252, 2013.

CORREA, S.; MELLO, C. R. Análise estatística de precipitações máximas diárias anuais e vazões mínimas anuais na sub-bacia Paraopeba, Rio Ribeirão da Ajuda. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XLII, 2014, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: CONBEA, 2014.

LEME, E. J. Hidrologia estatística da vazão mínima do Rio Jaguari Mirim. **Rev. Ecosystema**, São João Boa Vista, v. 27, n. 1,2, p. 77-82, 2002.

LOPES, T. R.; PRADO, G.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; ANTONIEL, L. S. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do Rio Ivaí. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 188-201, 2016.

MELLO, E. L.; OLIVEIRA, F. A.; PRUSKI, F. F.; FIGUEIREDO, J. C. Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Paracatu. **Eng. Agric.**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 635-644, 2008.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S. Vazões máximas e mínimas para bacias hidrográficas da região Alto Rio Grande, MG. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 494-502, 2010.

OLIVEIRA, L. F.; FIOREZE, A. P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 9-15, 2011.

PEREIRA, G. S.; CALDEIRA, F. V. Avaliação da distribuição de Gumbel na determinação de vazões mínimas da sub-bacia do Rio Negro. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p.11-16, 2018.

PINTO, L. C.; MACHDO, E. F. P.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Análise de distribuições de probabilidades e estimativa da  $Q_{7,10}$  para a região do Rio Itanapoana, Espírito Santo/Rio de Janeiro. In: Congresso de Pós-Graduação da UFLA, 19., Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2010.

PRUSKI, F.F.; RODRIGUEZ, R.G.; NUNES, A.A.; PRUSKI, P.L.; SINGH, V.P. Low-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.5, 2015.

QUEIROZ, A. T.; OLIVEIRA, L. A. Relação entre a produção e demanda hídrica na bacia do Rio Uberabinha, estado de Minas Gerais, **Brasil. Soc. & Nat.**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 194-204, 2013.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013. Disponível em: <Andlt;http://www.R-project.org/Andgt>. Acesso em: 22 ago. 2017.

SILVA, A. D.; FIGUEIREDO, D. C.; SOUZA, S. O. Vazões mínimas e vazões de referência para outorga de direito de uso de recurso hídrico na bacia hidrográfica do Rio Piauttinga, Sergipe, Brasil. In: Congresso nacional de Irrigação e Drenagem, XXV, 2015, São Cristovão. **Anais...** São Cristovão: UFS, 2015.

SILVINO, A. N. O.; SILVEIRA, A.; MUSIS, C. R.; WYREPKOWSKY, C. C.; CONCEIÇÃO, F. T. Determinação de vazões extremas para diversos períodos de retorno para o Rio Paraguai utilizando métodos estatísticos. **Geociências**, São Paulo, v. 26, n. 4, o. 369-378, 2007.

SOUZA, F. A. O. et al. Caracterização das vazões em uma pequena bacia hidrográfica do Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 10-17, 2012.

VICTORINO E. C. et al. Adequabilidade de diferentes distribuições de probabilidade aplicadas a uma série histórica de vazões mínimas para o Rio Grande, na região de Barreiras (BA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42., 2014, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: CONBEA, 2014.

WATANABE, F.M. **Análise do método de Gumbel para cálculo de vazões de dimensionamento de vertedouros**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2013.