

## APLICAÇÃO DE MÉTODOS PROBABILÍSTICOS NA PREVISÃO DE ENCHENTES NO PARQUE DA RUA DO PORTO, NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA, BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACIBABA-SP.

Júlia Rinaldi de Macedo Cortez<sup>1</sup>

Thiago de Oliveira Calsolari<sup>2</sup>

Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho<sup>3</sup>

### Recursos Naturais

#### Resumo

As inundações são um dos principais e mais devastadores fenômenos naturais, caracterizadas pela elevação do nível d'água normal a tal magnitude que as águas não se limitam à calha principal do rio, extravasando para áreas marginais, habitualmente não ocupadas pelas águas, em decorrência de uma precipitação intensa, por exemplo, causando diversos problemas de cunho ambiental, social e econômico. O Parque da Rua do Porto, localizado no município de Piracicaba, objeto do estudo, sofre com inundações frequentes e o número de trabalhos que visem estimar as vazões máximas por meio de métodos probabilísticos, os mais apropriados dentre os métodos existentes, uma vez que são baseados em registros de vazões anteriores ainda é escasso. Sendo assim, o trabalho teve como objetivo principal analisar o comportamento de vazões máximas para um curso de água localizado na bacia hidrográfica do rio Piracicaba, visando também fornecer subsídios para formulação de políticas públicas para prevenção e resposta às inundações. Para tanto, através de dados de séries históricas disponibilizados em domínio público, foram empregados os métodos probabilísticos de Foster e Righetto, os quais são baseados das funções densidade de probabilidade (FDP) de Pearson III e Gumbel, respectivamente. Através dos métodos utilizados, foram encontrados para tempo de retorno de 5 anos os valores de 829,08 e 824,32 m<sup>3</sup>/s, e para tempo de retorno de 100 anos os valores de 1391,71 e 1388,63 m<sup>3</sup>/s para os métodos de Foster e Righetto, respectivamente. Os resultados obtidos por ambos os métodos convergiram significativamente indicando a eficácia dos mesmos.

Palavras chave: vazões-máximas; modelos hidrológicos; previsão de inundações

<sup>1</sup>Aluna do curso de graduação Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Centro de Ciências da Natureza (CCN), [julia\\_cortez25@hotmail.com](mailto:julia_cortez25@hotmail.com).

<sup>2</sup>Aluno do curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências (FC), [tcalsolari@gmail.com](mailto:tcalsolari@gmail.com).

<sup>3</sup>Prof. Dr., da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – Campus Lagoa do Sino, Centro de Ciências da Natureza (CCN), [pantojafilho@gmail.com](mailto:pantojafilho@gmail.com).

## INTRODUÇÃO

As inundações são um dos principais e mais destrutivos fenômenos naturais, caracterizadas pela elevação acentuada do nível dos rios, alagando seus leitos e planícies adjacentes, o qual se acentua pelas atividades antrópicas (RECKZIEGEL, 2007).

Segundo Novaes e Perusi (2016), há reincidentes episódios de inundações entorno do Rio Piracicaba e a beira das vias públicas do Parque da Rua do Porto, no município de Piracicaba – SP que acometem danos ambientais e prejuízos na qualidade de vida populacional, que afere zelo e compromisso dos intendentess públicos ao direito qualitativo humano.

A consolidação da previsão de enchentes e o seu regime de vazões máximas nos cursos d'água são de extrema importância para supervisão de comportamento e condução aos possíveis métodos estruturais ou não estruturais no controle de inundações urbanas, e assim elaborar possíveis sistemas que atendem ao meio público a partir de metodologias apresentadas por Tucci (1993), que retrata as previsões por vazões máximas como dimensões em períodos curtos ou a longo prazo. As categorias de curto prazo demandam variáveis hidrológicas com projeções contínuas por um sistema de captação, transmissão ou reconhecimento de dados. As projeções de longo prazo são de usufruto às metodologias probabilísticas, distribuídas de acordo com as vazões máximas anuais a partir das séries históricas adotadas.

Gumbel (1941) também explana seus fundamentos para avaliação de eventos ou vazões máximas, a partir da extrapolação de séries históricas desenvolvidas e também como aplicação na probabilidade. Scuisiato (2013) desenvolve o método de Foster, caracterizado pela semelhante abordagem dos demais propulsores, além de envolver a aplicação da distribuição Pearson III para a descrição do comportamento das vazões máximas anuais.

Ambos os métodos supracitados foram introduzidos com o objetivo de identificar os valores máximos de enchente em um rio, a máxima precipitação, o máximo vento, ou seja, ela busca individualizar os eventos de alta magnitude que promovem histereses nos sistemas naturais e sociais.

Como base histórica e de constantes acontecimentos de enchentes causadas por problemas estruturais e de planejamento diretor do município de Piracicaba próximo ao

Parque da Rua do Porto, adota-se como objetivo deste trabalho a comparação dos métodos probabilísticos de Gumbel e Foster para previsão de enchentes com série histórica de 76 anos da estação fluviométrica no bairro Ártemis, localizado no município de Piracicaba – SP.

## **METODOLOGIA**

### **Área de Estudo**

O rio Piracicaba é o principal corpo hídrico em sua bacia hidrográfica, reconhecido como um dos maiores afluentes que deságuam na bacia do rio Tietê. Sua formação se inicia na região do município de Americana – SP, devido aos seus precursores: os rios Atibaia e Jaguari. Pertencente a região centro-oeste paulista e reconhecido pela sua extensão de aproximadamente 115 km com ocupação territorial de 12.400 km<sup>2</sup>, sendo 11.020 km<sup>2</sup> presentes no estado de São Paulo e o restante no sudoeste do estado de Minas Gerais. Como base histórica e de constantes acontecimentos de enchentes causadas por problemas estruturais e de ausência de planejamento diretor ao município de Piracicaba próximo ao Parque da Rua do Porto (-22.725266; -47.658633).

### **Informações hidrológicas**

Foram utilizados dados, correspondentes a uma série histórica de 76 anos, disponibilizados pelo Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA). A estação fluviométrica escolhida foi a de Ártemis, em operação no rio Piracicaba, no município de Piracicaba – SP, na altitude 445m, nas coordenadas S 22° 40' 45.12" e W 47° 46' 31.08".

### **Métodos para avaliação das vazões máximas**

Para a aplicação do Método de Foster devem ser determinados, para a série histórica de vazões máximas anuais, os parâmetros da distribuição Pearson III, (média, desvio padrão e o coeficiente de obliquidade de Pearson). Então, determina-se a vazão  $Q(T_r)$ , equação (1), a partir da expressão:

$$Q(T_r) = x + \bar{Q} \quad (1)$$

Sendo  $Q(T_r)$  a vazão máxima;  $x$  representa a variável reduzida da distribuição de Pearson III e o  $\bar{Q}$  como a vazão média.

Por outro lado, na distribuição conforme Righetto, encontram-se os valores para os

parâmetros desvio padrão ( $\alpha$ ) e média ( $\beta$ ), os quais permitem calcular a vazão máxima em função de um tempo de retorno na equação (2):

$$\frac{Q(\text{ano}; T_r) - \alpha}{\beta} = -\ln \left( \ln \left( \frac{1}{F} (Q(\text{ano}; T_r)) \right) \right) \quad (2)$$

Sabendo-se que:  $Q(\text{ano}; T_r)$  é a vazão máxima;  $\alpha$  como desvio padrão;  $\beta$  sendo a média;  $F$ , a frequência;  $T_r$  é o período de retorno e  $\ln$ , o logaritmo neperiano.

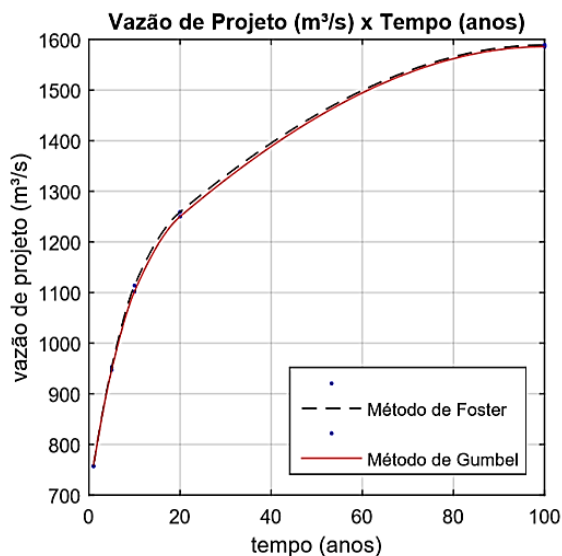
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em princípio, foram obtidos os seguintes resultados de acordo com a Tabela I abaixo:

Tabela I: Dados para a Vazão de Projeto pelos métodos de Foster (MF) e Righetto (MR)

Períodos de Retorno (anos)	MF-Vazões máximas (m <sup>3</sup> /s)	MR-Vazões máximas (m <sup>3</sup> /s)
5	829,08	824,32
10	971,48	960,91
20	1099,89	1091,94
100	1391,71	1388,63

Através dos métodos explicitados anteriormente e os valores obtidos na Tabela I, se submete as resoluções de comparação das vazões máximas de Foster (MF) e Righetto (MR) de acordo com o tempo de retorno por meio do gráfico abaixo:



Avista-se que o Método de Foster estabeleceu os dados de maiores vazões máximas e em contrapartida, o Método de Gumbel (Righetto) introduziu menores vazões máximas para o curso d'água a partir da série histórica admitida, sendo o último mais simples nos cálculos de estimativas às vazões máximas.

Apesar do Método de Foster assumir maiores valores máximos ao projeto, o Método de Righetto não se distancia, pois atingiu resultados relativamente próximos, o que salienta a importância dos fundamentos

literários neste trabalho, pois calculou-se através de abordagens com expressivos valores coerentes e significativos com relevância de ambos se apoiarem um no outro.

Em suma, se admite a partir das relações de vazão de projeto ( $m^3/s$ ) x tempo de retorno (anos) que o Método de Foster e de Righetto convergiram significativamente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Salienta-se, de forma sucinta, a essencial necessidade de realocar as assertivas situações que se relacionam a coexistência do ser humano com a natureza, sendo, portanto, enaltecer os setores do direito ambiental, como parâmetro auxiliar na busca por uma qualidade de vida garantida, assegurando suas atividades de convivência e bem estar em ambientes rurais ou urbanos.

A consolidação constitucional do direito ambiental no âmbito das enchentes são devidamente preocupantes, pois se condiz a qualidade de vida humana em risco, admitindo resquícios e ausência de compromisso material e ético para com a população diante de tais eventualidades.

Diante dos expressivos métodos estatísticos abordados, o Método de Foster apresentou os dados de maiores vazões máximas para a estação fluviométrica que se opera na bacia hidrográfica do rio Piracicaba e o método de Righetto as menores vazões máximas para o curso d'água com 76 anos de série histórica analisada no conjunto deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- GUMBEL, E. J. The Return Period of Flood Flows. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 12, n.2, p. 163-190, 1941.
- NOVAES, C. P.; PERUSI, M. C. **Revista Formação (ONLINE)** Vol. 3; n.23, Mai – Ago/2016. p. 143-162. ISSN: 2178-7298. ISSN-L: 1517-543X
- RECKZIEGEL, B.W. **Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005**. 2017, 261 p. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- SCUISSIATO, C; **Comparação dos métodos de séries de duração parcial e séries de máximos anuais na estimativa de cheias de projeto**. Dissertação(Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- FOSTER, H. A. **Theoretical Frequency Curves and Their Application to Engineering Problem**. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 1924, Vol. LXXXVIII, Issue 1, Pg. 142-173
- TUCCI, C.E.M. (Organizador). **Hidrologia. Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 1993.