

## **CORRELAÇÃO ENTRE AS VAZÕES MÉDIAS DE CHEIAS E A ÁREA DE DRENAGEM EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: UMA ANÁLISE NO BRASIL**

MARLON HEITOR KUNST VALENTINI<sup>1</sup>; BRUNA MOREIRA SELL<sup>2</sup>; MARIA EDUARDA SILVA DA SILVA<sup>3</sup>; JOÃO PEDRO DE MORAIS DA SILVEIRA<sup>4</sup>; TAMARA LEITZKE CALDEIRA BESKOW<sup>5</sup>; SAMUEL BESKOW<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – marlon.valentini@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – brunamoreirasell@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – eduardasilvams6@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – jpdrslvr@gmail.com

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas – tamaraleitzkecaldeira@gmail.com

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas – samuel.beskow@ufpel.edu.br

### **1. INTRODUÇÃO**

A hidrologia está relacionada com o estudo do ciclo hidrológico, o qual é composto por processos hidrológicos que podem ser analisados em função do tempo, do espaço ou de ambos. Na engenharia hidrológica e na gestão de recursos hídricos, entender o comportamento hidrológico de uma dada bacia hidrográfica, no que concerne às suas vazões máximas, é de suma importância. Esses eventos, assim como a maioria dos fenômenos hidrológicos que ocorrem na natureza, não são puramente determinísticos, ou seja, são classificados como eventos estocásticos, isto é, eventos governados pela aleatoriedade (NAGHETTINI, 2017).

Dentre as inúmeras finalidades no uso de séries históricas de dados hidrológicos, a abordagem deste trabalho está relacionada com a aplicação de séries históricas de vazões máximas anuais. Estimativas apropriadas da magnitude e frequência desses eventos hidrológicos extremos auxiliam na mitigação dos impactos de inundações. Ainda, o conhecimento das vazões máximas é um requisito de grande importância para projetos de estruturas hidráulicas como pontes, barragens e sistemas de drenagem (BESKOW et al., 2015). Assim, a estimativa correta dos valores máximos de vazão é essencial e os métodos desenvolvidos para esse fim geralmente consideram determinadas premissas estatísticas acerca das séries históricas utilizadas (HODGKINS et al., 2017; NAGHETTINI, 2017).

No Brasil, a rede hidrometeorológica nacional, administrada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), é a principal fonte fornecedora de dados hidrológicos públicos. Apesar de ser uma rede bastante extensa e que vem sendo ampliada nos últimos anos, ela ainda não abrange a totalidade dos corpos hídricos do país (BRESSIANI et al., 2015). Sendo assim, torna-se necessário o uso de métodos indiretos para a estimativa de variáveis hidrológicas (BESKOW et al., 2016). Nesse contexto, destaca-se a regionalização hidrológica como uma alternativa amplamente utilizada em diversos países do mundo para estimativa de vazões máximas em locais sem dados fluviométricos ou carente de dados. Essa técnica resulta em funções regionais que empregam variáveis independentes como parâmetros de entrada para previsão de variáveis hidrológicas, sendo a área da bacia hidrográfica uma das variáveis mais relacionadas a vazões máximas (CASSALHO et al., 2019a; CASSALHO et al., 2019b).

Sendo assim, esse estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade do uso da área de drenagem como variável explicativa para a vazão média de cheias no Brasil, com vista a dar suporte à regionalização de vazões máximas anuais no país.

## 2. METODOLOGIA

A estrutura metodológica deste trabalho seguiu as seguintes etapas: 1 - aquisição de dados de vazão de rios em território brasileiro; 2 - constituição das séries de vazões máximas anuais; 3 - triagem das séries de acordo com critérios temporais; 4 - triagem das séries segundo premissas estatísticas; 5 – constituição do banco de dados de vazões médias de cheias (Qmc); 6 – análise da distribuição amostral dos valores de Qmc; 7 – análise da correlação entre as áreas das bacias hidrográficas e os valores de Qmc.

No que concerne à primeira etapa, os dados de vazão foram obtidos para todas as estações fluviométricas existentes no HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas da ANA. A segunda etapa diz respeito à constituição das séries históricas de vazão máxima anual a partir dos dados hidrológicos obtidos na etapa anterior, considerando 31 dias como limiar de falhas. Para a terceira etapa foi realizada uma triagem das séries de vazões máximas anuais considerando apenas séries com pelo menos 30 anos de dados a partir do ano de 1980. Na quarta etapa, então, foi feita a triagem das séries de vazões (constituídas na etapa 3) em relação às premissas estatísticas de estacionariedade, homogeneidade, aleatoriedade e independência, tomando como base os testes não paramétricos de Mann-Kendall, Mann-Whitney, NERC e Wald-Wolfowitz, respectivamente (NAGHETTINI, 2017; MELLO; SILVA, BESKOW, 2020). As etapas 1, 2, 3 e 4 foram conduzidas no R, especialmente empregando funcionalidades que vêm sendo desenvolvidas para uma plataforma online do software SYHDA (Vargas et al., 2019). Na etapa 5, foram computadas as médias das vazões máximas anuais de cada uma das séries que passaram das etapas 3 e 4, constituindo-se, assim, um banco de dados de Qmc no país.

A análise da distribuição amostral, realizada na etapa 6, faz-se necessária pois o coeficiente de correlação a ser usado na etapa 7 depende da distribuição amostral. Sendo assim, na etapa 6 foi analisada a distribuição amostral segundo o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Por fim, na sétima etapa, foi realizada a análise de correlação entre os valores de Qmc e as áreas das suas respectivas bacias hidrográficas, que foram obtidas diretamente no portal Hidroweb/ANA.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As etapas 1 e 2 resultaram na aquisição de 3.826 arquivos de estações fluviométricas distribuídas por todo o território brasileiro e na constituição das respectivas séries históricas de vazões máximas anuais. Destas, 709 séries se enquadraram nos critérios de triagem definidos nas etapas 3 e 4. Ou seja, dentre todas as séries inicialmente analisadas, 709 séries de vazões máximas anuais possuem pelo menos 30 anos de dados após 1980 e atendem às 4 premissas estatísticas analisadas (estacionariedade, homogeneidade, aleatoriedade e independência). Apesar de haver uma considerável redução no número de séries após as etapas de triagem, essa etapa é de suma importância pois ao considerar o rigor das 4 premissas estatísticas simultaneamente, bem como a definição de um período de tempo em comum, diminui-se a possibilidade de que efeitos de

regularização de reservatórios e/ou de outras interferências estejam exercendo influência significativa sobre essas séries.

Sendo assim, os valores de  $Q_{mc}$  foram calculados para as 709 séries e, então, a distribuição amostral de  $Q_{mc}$  foi analisada de acordo com o teste K-S, o qual rejeitou a hipótese de normalidade amostral. Considerando, então, que a distribuição amostral não foi uma distribuição normal, a correlação entre  $Q_{mc}$  e a área de suas respectivas bacias hidrográficas foi avaliada por meio do coeficiente de correlação de Spearman, o qual resultou em 0,809. Segundo Helena (2000), considera-se uma correlação forte quando se obtêm um coeficiente superior a 0,5 em módulo. Sendo assim, pode-se observar que há forte correlação entre a  $Q_{mc}$  e a área das bacias hidrográficas para as 709 séries hidrológicas que passaram das etapas de triagem dos dados.

Diversos outros estudos também encontraram forte relação entre a área das bacias hidrográficas e a vazão em estudos de regionalização, corroborando o uso desse atributo geomorfológico como variável explicativa em funções regionais de previsão de vazões. Cassalho *et al.* (2019b), por exemplo, encontraram forte relação entre a área e a vazão média de cheias em estudos referentes à regionalização de vazões máximas no estado do Rio Grande do Sul (RS). Beskow *et al.* (2016), por sua vez, também observaram esse fato no que concerne à regionalização de vazões mínimas no RS, assim como Matos *et al.* (2020) encontraram essa relação em seu estudo referente à regionalização de vazões máximas, mínimas e médias na bacia hidrográfica do Rio Juruena na região noroeste do estado de Mato Grosso (MT). No entanto, deve ser considerado que a correlação observada neste estudo foi verificada para o país como um todo e não por regiões. Esta correlação pode ser maior ou menor quando da análise por regiões, sendo que esta avaliação geralmente é conduzida após a etapa de formação de regiões homogêneas em estudos de regionalização hidrológica.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados nesse estudo, pode-se concluir que: i) há uma grande redução no número de séries a nível nacional quando são usados critérios temporais e estatísticos robustos, porém, o uso das quatro premissas estatísticas aumenta a confiabilidade de que as séries não tenham sofrido influência significativa de interferências antrópicas (e.g. barramentos, alterações de uso do solo, etc.); e ii) a área é uma boa alternativa a ser analisada como variável explicativa para a vazão média de enchente dos rios brasileiros nas seções analisadas, sendo que esta constatação será útil para uma próxima etapa envolvendo a regionalização de vazões máximas anuais no país.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; GUEDES, A. S. Multiparameter probability for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**. v.4, p.123-133, 2015.

BESKOW, S.; MELLO, C. R. de; VARGAS, M. M.; CORRÊA, L. de L.; CALDEIRA, T. L.; DURÃES, M. S. F. et al. Artificial intelligence techniques coupled with seasonality measures for hydrological regionalization of Q90 under Brazilian conditions. **Journal of Hydrology**, v. 541, p. 1406-1419, 2016.

CASSALHO, F.; BESKOW, S.; de MELLO, C. R.; de MOURA, M. M. Regional flood frequency analysis using L-moments for geographically defined regions: An assessment in Brazil. **Journal of Flood Risk Management**, v. 12, n. 2, p. e12453, 2019a.

CASSALHO, F.; BESKOW, S.; de MELLO, C. R.; de MOURA, M. M.; de OLIVEIRA, L. F. Artificial intelligence for identifying hydrologically homogeneous regions: A state-of-the-art regional flood frequency analysis. **Hydrological Processes**, v. 33, n. 7, p. 1101-1116, 2019b.

BRESSIANI, D. A.; SRINIVASAN, R.; JONES, C. A.; MENDIONDO, E. M. Effects of spatial and temporal weather data resolutions on streamflow modeling of a semi-arid basin, Northeast Brazil. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 125-139, 2015.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNÁNDEZ, J. M.; FERNÁNDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v.34, p.807-816, 2000.

HODGKINS, G. A.; WHITFIELD, P. H.; BURN, D. H. Climate-driven variability in the occurrence of major floods across North America and Europe. **Journal of Hydrology**, v. 552, p 704-717, 2017.

MATOS, T. S.; ULIANA, E. M.; MARTINS, C. A. S.; RAPALO, L. M. C. Regionalization of maximum, minimum and mean streamflows for the Juruena River basin, Brazil. **Ambiente & Água**, v. 15, n. 3, 2020.

MELLO, C. R. ; SILVA, A. M. ; BESKOW, S. **Hidrologia de superfície: princípios e aplicações**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2020. 531p

NAGHETTINI, M. **Fundamentals of statistical hydrology**. Switzerland: Springer International Publishing, 2017.

VARGAS, M. M.; BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; CORRÊA, L. de L.; CUNHA, Z. A. da. SYHDA – System of Hydrological Data Acquisition and Analysis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, p. 1, 2019.