

## **SENSIBILIDADE DE VAZÕES ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO REGIME DE PRECIPITAÇÃO NA AMÉRICA DO SUL**

*Arthur Kolling Neto<sup>1</sup>; Rodrigo C. D. de Paiva<sup>2</sup>; Walter Collischonn<sup>3</sup>; Larissa de C. Ribeiro<sup>4</sup>; Pedro T. de Miranda<sup>5</sup>; Hugo Fagundes<sup>6</sup>; Julia Rossi<sup>7</sup>; Gabriel Matte<sup>8</sup>; Alexandre A. Araujo<sup>9</sup> & Saulo A. de Souza<sup>10</sup>*

**Palavras-Chave** – Elasticidade, MGB, vazões extremas.

### **INTRODUÇÃO**

As mudanças climáticas, sejam naturais ou provocadas pelo homem, podem causar danos irreversíveis ao sistema biológico e alterar as respostas hidrológicas da bacia hidrográfica, tanto na dinâmica sazonal de longo prazo quanto nos eventos extremos. Na América do Sul, a alteração da vazão, com a ocorrência de estiagens prolongadas e inundações tem provocado danos econômicos, desastres hidrológicos e perda de vidas humanas. Diante disso, estudos que buscam compreensão dos efeitos da variabilidade do clima sobre a disponibilidade hídrica (quantificação das mudanças de vazão e a identificação dos vários fatores contribuintes) são fundamentais para o planejamento e gestão de recursos hídricos à medida que o clima continua a aquecer (Wu *et al.* 2018).

De acordo com projeções de modelo climáticos a temperatura global aumentará 1.5°C até o final desse século e os padrões de precipitação sofrerão alterações consideráveis em escala global (IPCC, 2013). Dentre as variáveis climáticas, a precipitação, além de ser um dos principais componentes do ciclo hidrológico (Kidd *et al.* 2017) influencia no comportamento de outras variáveis hidrológicas e é o principal impulsionador de modelos hidrológicos (Chiew, 2006; Ribeiro Neto *et al.* 2016). Portanto, a avaliação do quanto a mudança na precipitação anual pode afetar a vazão média permite analisar a sua sensibilidade em termos de elasticidade (Chiew, 2006).

A elasticidade ou sensibilidade de vazão à chuva pode ser definida como a razão entre mudança proporcional da vazão média anual e a mudança proporcional da chuva média anual. A determinação da sensibilidade de vazões possibilita avaliar a influência da precipitação e demais variáveis sobre as mudanças na hidrologia do sistema, bem como, identificar locais que são mais vulneráveis a mudanças ou áreas de locais onde a grande incerteza nas respostas hidrológicas justificam observações adicionais *in situ* (Deusdará-Leal *et al.* 2022).

É previsto que a magnitude e a frequência de vazões máximas aumentem na maioria das regiões do planeta e que as vazões mínimas sejam menores em muitas regiões (Meresa *et al.* 2022), provavelmente em associação ao aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos, como ondas de calor e secas. Compreender os fatores que estão atuando nas modificações observadas na vazão não é uma tarefa trivial. Nesse contexto, a sensibilidade da vazão às variações do clima pode ser estudada por meio de cenários plausíveis de mudança climática (Rowe *et al.*, 1994) adquirindo suma importância para gestão eficaz dos recursos hídricos (Vano *et al.* 2012). Portanto, este estudo tem como objetivo, avaliar a sensibilidade das vazões média e com permanência de 10%

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), arthur.kolling1@gmail.com;

2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), rodrigo.paiva@ufrgs.br;

3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), collischonn@iph.ufrgs.br;

4) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), larissa.ribeirocr@gmail.com;

5) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), pedrotorresm121@gmail.com;

6) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), h.o.fagundes@hotmail.com;

7) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), juliabrusso@gmail.com;

8) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), gabriel.matterios@gmail.com;

9) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), alexandre.Araujo@ana.gov.br

10) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), saulo.souza@ana.gov.br

( $Q_{10}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) no tempo, às mudanças climáticas, em resposta a diferentes regimes de precipitação, a partir de cenários que consideram o seu aumento e a sua redução em  $\pm 10\%$ ;  $\pm 20\%$  e  $\pm 50\%$ , na América do Sul.

## METODOLOGIA

Este estudo foi realizado para toda América do Sul, utilizando dados de precipitação obtidos a partir da base de dados MSWEP (*Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation*), que possui resolução espacial de 0,25° e temporal de 3 horas. O período de análise foi compreendido entre os anos de 1979 e 2014. Os dados de vazão foram obtidos por meio do processamento do modelo MGB SA (Modelo de Grandes Bacias, América do Sul), desenvolvido por Siqueira *et al.* (2018), disponíveis no site <https://www.ufrgs.br/hge/mgb/downloads/mgb-4-6-2/>. O valor médio das alterações (aumento/redução) da precipitação, foi obtido conforme Brêda *et al.* (2020), e se basearam na relação  $P'(t) = P(t) \times (1 + \text{fator})$ , considerando o fator equivalente a  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$  e  $\pm 50\%$ .

A elasticidade/sensibilidade ( $\varepsilon$ ) de vazão à chuva é dada pela razão entre a variação relativa da vazão e precipitação, como é descrito na equação (1).

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q (\%)}{\Delta P (\%)} \quad (1)$$

em que  $\Delta Q$  representa a variação percentual da vazão e  $\Delta P$  a variação percentual da precipitação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados mapas de elasticidade da vazão mínima ( $Q_{95}$ ) na América do Sul, considerando alterações no volume de precipitação. No cenário com alteração de 10% (Figura 1a.), os maiores valores de elasticidade ocorreram, principalmente, na região norte (bacia do Amazonas e Orinoco), no Atlântico Leste e nos Andes. Por sua vez, os menores valores de elasticidade foram registrados na bacia do Atlântico Nordeste Oriental, no sudoeste do continente e no Paraguai (Gran Chaco), locais cujos rios possuem regime intermitente ou de baixas vazões.

Os cenários com alteração de 20% e 50% (Figura 1b. e 1c., respectivamente) apresentaram comportamentos correspondentes entre si e concordantes com o cenário anterior (10%). Ambos apresentaram alta elasticidade em regiões como Atlântico Leste (semiárido), Andes e afluentes do rio Paraguai e baixa elasticidade em locais como bacia do rio Xingu, Parnaíba e Atlântico Nordeste Oriental. Nesse sentido, alta elasticidade, como no semiárido brasileiro, (Figuras 1b. e c.) significa que uma pequena variação na precipitação causa uma grande variação na vazão mínima ( $Q_{95}$ ).

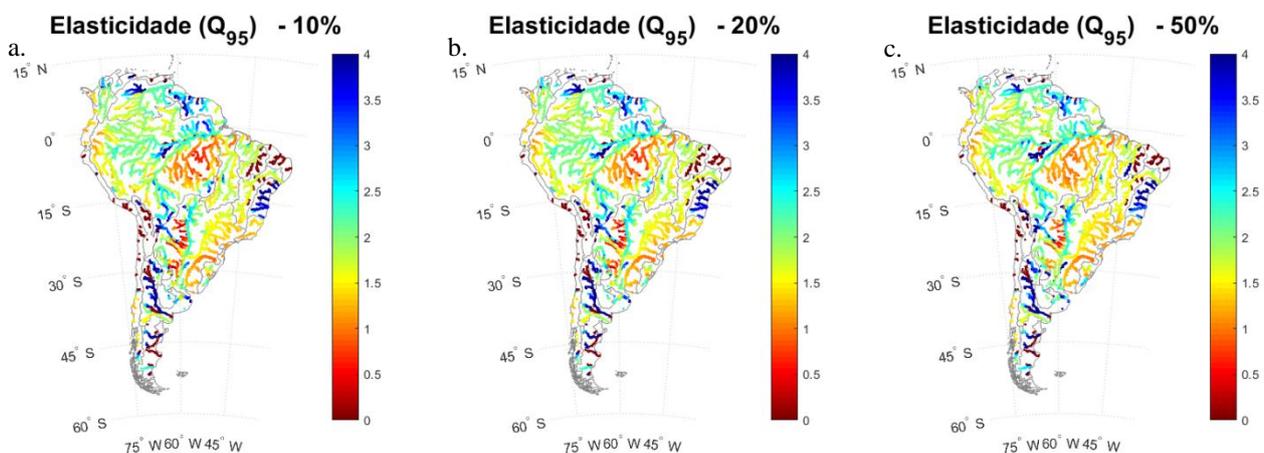


Figura 1. Elasticidade da vazão mínima ( $Q_{95}$ ) na América do Sul, considerando alterações de 10%, 20% e 50% na precipitação.



Considerando os efeitos da alteração de 10% sobre a vazão média ( $Q_{mean}$ ) (Figura 2a.), houve redução de locais com baixa elasticidade e aumento da sensibilidade em bacias como Tocantins, Paraná e Uruguai. Os resultados encontrados para o cenário com alteração de 20% (Figura 2 b.) corroboram Breda *et al.* (2020) e Ribeiro Neto *et al.* (2016) e com baixa elasticidade nos afluentes da margem direita do rio Paraguai (Gran Chaco), alta elasticidade na área úmida da bacia do Xingu e no semiárido. Para o cenário de 50% de alteração o comportamento foi similar ao cenário de 20%, porém com variações na magnitude, como maiores valores na cabeceira de afluentes dos rios Xingu, Parnaíba e Paraguai, indicando alta sensibilidade às mudanças de precipitação.

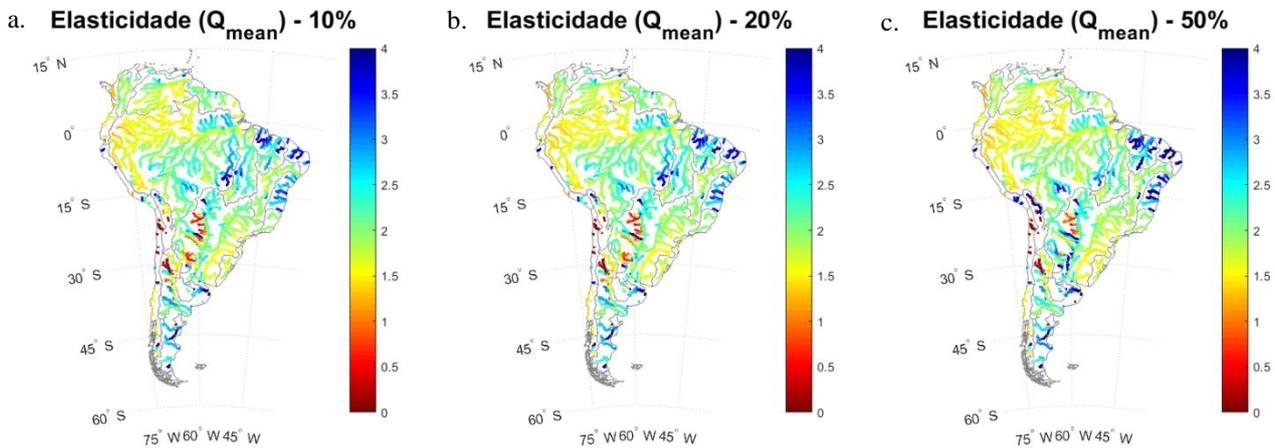


Figura 2. Elasticidade da vazão média ( $Q_{mean}$ ) na América do Sul, considerando alterações de 10%, 20% e 50% na precipitação.

Para a vazão máxima ( $Q_{10}$ ) as alterações da precipitação em 10%, 20% e 50% produziram resultados com poucas diferenças na distribuição espacial entre si. Assim, os locais menos sensíveis à mudança da precipitação permaneceram nos afluentes da margem direita do rio Paraguai, enquanto as regiões mais sensíveis à precipitação foram, principalmente, as bacias do Parnaíba, Xingu e Paraguai (Gran Chaco). Ressalta-se que com o aumento do percentual na alteração da precipitação (de 10% a 50%) houve o aumento de áreas com alta sensibilidade, especialmente no semiárido (Figuras 3a. e 3c.). Além disso, de modo geral, nos cenários de 20% e 50% houve redução da elasticidade em bacias como Amazonas, Orinoco e Atlântico Leste e aumento no sudoeste continental.

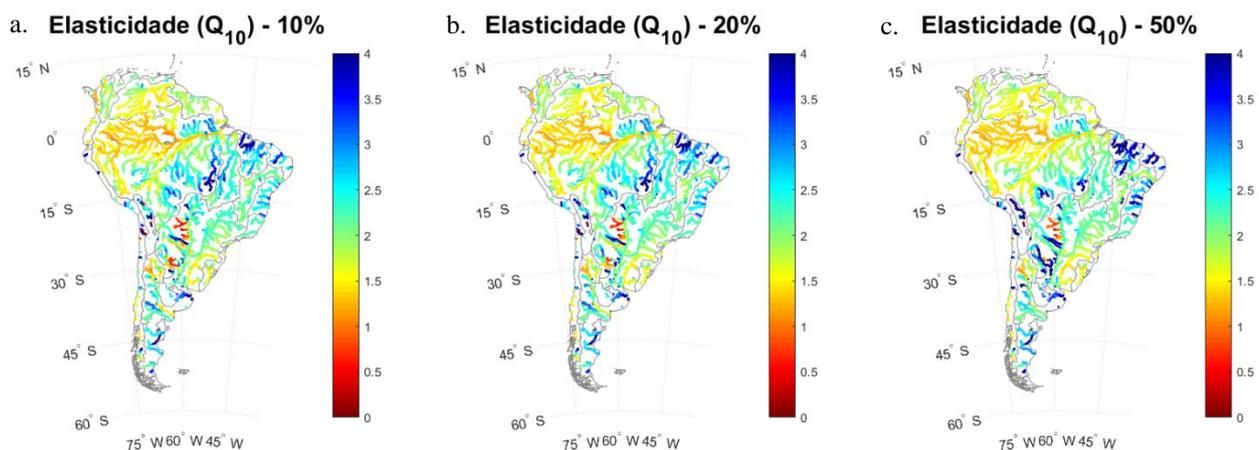


Figura 3. Elasticidade da vazão máxima ( $Q_{10}$ ) na América do Sul, considerando alterações de 10%, 20% e 50% na precipitação.

## CONCLUSÕES

As análises de sensibilidade da vazão às mudanças de precipitação mostraram que há diferença entre as regiões mais/menos sensíveis quando se comparam as vazões mínima, média e máxima. As vazões mínimas ( $Q_{95}$ ) foram mais sensíveis à mudança da precipitação em regiões de clima semiárido. Nas



vazões  $Q_{\text{mean}}$  e  $Q_{10}$ , apesar de diferentes magnitudes, os valores de elasticidade apresentaram distribuição espacial correspondente e a vazão esteve principalmente relacionada ao coeficiente de escoamento superficial, pois valores maiores ocorrem em regiões secas. A baixa sensibilidade registrada na  $Q_{95}$ , principalmente no semiárido, pode estar relacionada ao regime intermitente dos rios e à predominância de regiões vazões próximas de zero.

No âmbito dos recursos hídricos, as mudanças climáticas ainda devem ser modeladas e analisadas considerando, adicionalmente, a sensibilidade das vazões em resposta a outras variáveis, como temperatura e evapotranspiração. Estas análises conjuntas permitem estimar os impactos de mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica em escala de bacias e sub-bacias hidrográficas, sendo, portanto, de fundamental para o planejamento e a gestão de serviços ambientais e para as tomadas de decisão relacionadas aos usos da água.

## REFERÊNCIAS

- BRÊDA, J. P. L. F., DE PAIVA, R. C. D., COLLISCHON, W., BRAVO, J. M., SIQUEIRA, V. A., & STEINKE, E. B. (2020). “Climate change impacts on South American water balance from a continental-scale hydrological model driven by CMIP5 projections”. *Climatic Change*, 159(4), 503-522. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02667-9>
- CHIEW, F.H.S. (2006). “Estimation of Rainfall Elasticity of Streamflow in Australia”. *Hydrological Sciences Journal*, 51, 613-625. <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.51.4.613>
- DEUSDARÁ-LEAL, K., MOHOR, G. S., CUARTAS, L. A., SELUCHI, M. E., MARENGO, J. A., ZHANG, R., GONÇALVES, J. A. (2022). “Trends and Climate Elasticity of Streamflow in South-Eastern Brazil Basins”. *Water*, 14(14), 2245. <https://doi.org/10.3390/w14142245>
- IPCC, 2013: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- KIDD, C., BECKER, A., HUFFMAN, G. J., MULLER, C. L., JOE, P., SKOFRONICK-JACKSON, G., & KIRSCHBAUM, D. B. (2017). “So, how much of the Earth’s surface is covered by rain gauges?”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(1), 69-78.
- MERESA, H., TISCHBEIN, B., & MEKONNEN, T. (2022). *Climate change impact on extreme precipitation and peak flood magnitude and frequency: observations from CMIP6 and hydrological models*. *Natural Hazards*, 111(3), 2649-2679. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05152-3>
- RIBEIRO NETO A., DA PAZ A.R., MARENGO J.A., CHOU S.C. (2016). “Hydrological processes and climate change in hydrographic regions of Brazil”. *J Water Resour Prot* 08:1103–1127.
- ROWE, C. M., KUIVINEN, K. C., & FLORES-MENDOZA, F. (1994). “Sensitivity of streamflow to climate change: a case study for Nebraska”. *Great Plains Research*, 4(1), 27–49.
- SIQUEIRA, V. A., PAIVA, R. C., FLEISCHMANN, A. S., FAN, F. M., RUHOFF, A. L., PONTES, P. R., ... & COLLISCHONN, W. (2018). *Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(9), 4815-4842. <https://doi.org/10.5194/hess-2018-225>
- VANO, J. A., DAS, T., & LETTENMAIER, D. P. (2012). “Hydrologic sensitivities of Colorado River runoff to changes in precipitation and temperature”. *Journal of Hydrometeorology*, 13(3), 932-949.
- WU, J.; WANG, Z.; DONG, Z.; TANG, Q.; LV, X.; DONG, G. (2018). “Analysis of natural streamflow variation and its influential factors on the yellow river from 1957 to 2010”.