

FALTA DE SENSIBILIDADE A EXTREMOS NA MODELAGEM HIDROLÓGICA

Pedro Torres Miranda¹, Rodrigo Cauduro Dias De Paiva²; Walter Collischonn³; Hugo Oliveira Fagundes⁴; Larissa De Castro Ribeiro⁵; Júlia Brusso Rossi⁶; Arthur Kolling Neto⁷ & Gabriel Matte Rios⁸

Palavras-Chave – Sensibilidade de modelos hidrológicos; Vazões extremas; Variabilidade interanual de vazões

INTRODUÇÃO

A modelagem hidrológica é uma das ferramentas mais utilizadas nas aplicações de recursos hídricos atualmente. Ela é extremamente relevante para avaliações em locais sem medições de vazão, ou em contextos de extrapolação de valores tanto para o futuro (e.g. previsão de vazões a curto prazo, ou projeções de mudanças climáticas a longo prazo), quanto para o passado (e.g. reanálises paleoclimáticas). Em muitas dessas aplicações tem-se interesse em avaliar vazões extremas, por exemplo em sistemas de alerta de cheias, ou em previsões de secas para o setor hidrelétrico. Tendo isso em vista, é importante que modelos utilizados sejam adequados para tais estudos.

Secas e cheias evidenciam limitações em sua representação por modelos hidrológicos (Fowler *et al.*, 2016). Valores simulados não costumam mostrar valores tão acentuados quanto as observações, o que indica uma falta de sensibilidade sistemática nos modelos. Esse comportamento é mais acentuado em escalas de tempo maiores (Fowler *et al.*, 2016; Her *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022), ou quando a aplicação ocorre em condições diferentes das do período de calibração (e.g. mudanças climáticas, ou períodos secos/úmidos; Fowler *et al.*, 2016; Saavedra *et al.*, 2021), e autores relacionam isso à má representação da conectividade entre água superficial e subterrânea (Fowler *et al.*, 2016; Hughes *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022). Em frente a essa problemática, o presente estudo tem como objetivo avaliar a sensibilidade do modelo hidrológico-hidrodinâmico MGB-SA (Siqueira *et al.*, 2018) a partir de séries anuais de Q_{95} , $Q_{média}$ e Q_{10} de 1980 a 2019.

METODOLOGIA

Para avaliar a sensibilidade do modelo, realizou-se duas análises. A primeira consistiu na avaliação da representação da variabilidade interanual a partir da métrica de eficiência de Kling-Gupta (KGE; Gupta *et al.*, 2009). A segunda foi o cálculo da amplitude de vazões entre um período úmido e um seco, comparando valores obtidos por dados simulados e por dados observados.

1) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pedrotorresm121@gmail.com

2) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rodrigo.paiva@ufrgs.br

3) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, collischonn@iph.ufrgs.br

4) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, h.o.fagundes@hotmail.com

5) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, larissa.ribeirocr@gmail.com

6) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, juliabrusso@gmail.com

7) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, arthur.kolling@hotmail.com

8) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, gabriel.matterios@gmail.com

Variabilidade Interanual

A partir da série de vazões diárias para o período de interesse, obteve-se as séries anuais de Q_{95} , $Q_{média}$ e Q_{10} para os dados simulados e observados. Para a análise, foram consideradas apenas estações fluviométricas que continham 80 % ou mais de anos com dados no período avaliado, sendo “ano com dado” um ano sem falhas. A partir dessas séries, foi possível calcular a métrica KGE, como demonstrado na Equação 1.

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + \left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1\right)^2} \quad (1)$$

Onde r é a correlação linear entre simulação e observação, $\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}}$ é o erro da variabilidade da vazão, dado pela razão entre desvios padrão e $\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}}$ é viés, dado pela razão entre as médias. A métrica possui um valor ótimo igual a 1.0.

Períodos úmido e seco e amplitude de vazão

A seleção de períodos secos e úmidos foi realizada a partir da média móvel de 10 anos da série de vazão média observada anual. A partir desses valores, considerou-se a janela correspondente ao máximo (mínimo) valor como o período mais úmido (seco). Para considerar a janela válida, foi considerado um limite mínimo de 8 anos, ou seja, 80 % de dados dentro dos 10 anos.

Tendo identificado os dois períodos de interesse, calculou-se a amplitude (dQ) entre “vazão úmida” ($\bar{Q}_{úmida}$) e “vazão seca” (\bar{Q}_{seca}) como a diferença percentual entre as duas, como mostrado na Equação 2.

$$dQ = 100 \cdot \frac{\bar{Q}_{úmida} - \bar{Q}_{seca}}{\bar{Q}_{seca}} \quad (2)$$

A partir da amplitude de vazão, pôde-se avaliar a diferença de sensibilidade de vazões entre dados simulados e observados para o modelo como um todo, e, também, para cada estação fluviométrica. Para a comparação geral, foi feita uma regressão linear da dispersão $dQ_{obs} \times dQ_{sim}$, e então comparou-se o coeficiente angular (α) da reta com o valor ótimo ($\alpha = 1$). A sensibilidade no local de cada estação foi calculada pela razão entre as amplitudes simulada e observada, respectivamente $\left(\frac{dQ_{obs}}{dQ_{sim}}\right)$, de modo que indica o quanto da sensibilidade observada é representada pelo modelo.

RESULTADOS

O resultado para a performance do modelo referente à variabilidade interanual de vazões é mostrado pela Figura 1. Observa-se que há uma representação relativamente ruim, visto que a mediana dos valores para Q_{95} , $Q_{média}$ e Q_{10} são, respectivamente, cerca de 0.4, 0.65 e 0.6.

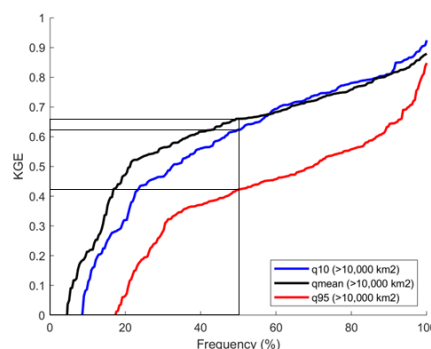


Figura 1. Métrica KGE para variabilidade interanual de Q_{95} (vermelho), Q_{med} (preto) e Q_{10} (azul)

Há uma falta de sensibilidade do modelo MGB-SA, que é refletida pelo baixo coeficiente angular da regressão linear das variáveis avaliadas (Figura 2a). A amplitude dQ das vazões Q_{95} , Q_{med} e Q_{10} mostraram um coeficiente a iguais a 0.17, 0.44 e 0.51, respectivamente, ou seja, o maior valor é cerca de metade do valor ideal ($a = 1$). Esse comportamento também pode ser evidenciado a partir da análise dos histogramas da Figura 2b, que mostram que enquanto a amplitude das vazões observadas chega a passar de 100 %, a das vazões simuladas não passa de 60 %, estando concentrada entre 0-40 %.

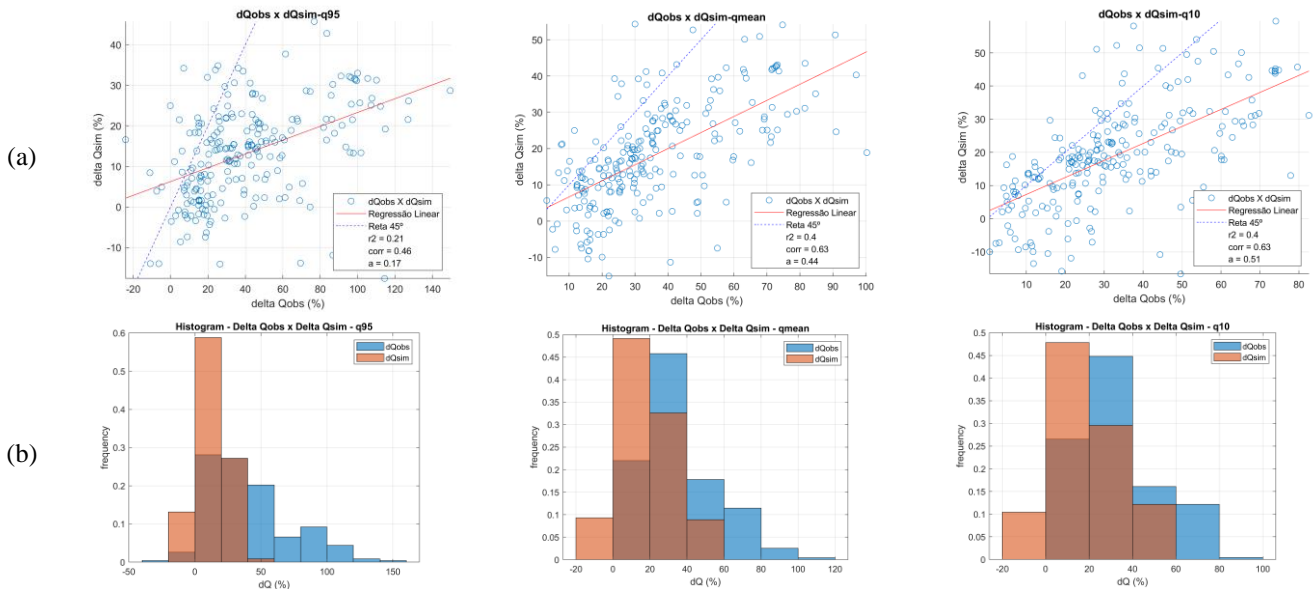


Figura 2. (a) Dispersão entre amplitudes de vazões observadas (eixo X) e simuladas (eixo Y) (Q_{95} , Q_{med} e Q_{10}) e (b) histogramas das amplitudes observadas (azul) e simuladas (laranjas).

Ao analisar a fração de amplitude de vazão que é representada pelo MGB-SA, observou-se que há uma forte predominância de valores inferiores a 1.0 (Figura 3). A maioria dos valores encontrados para Q_{95} se encontram abaixo de 0.4, ou seja, o modelo é no mínimo 60 % menos sensível nestes locais do que deveria ser. Para Q_{med} , os valores se concentram abaixo de 0.8, enquanto para Q_{10} , parece haver uma maior mistura entre as classes definidas.

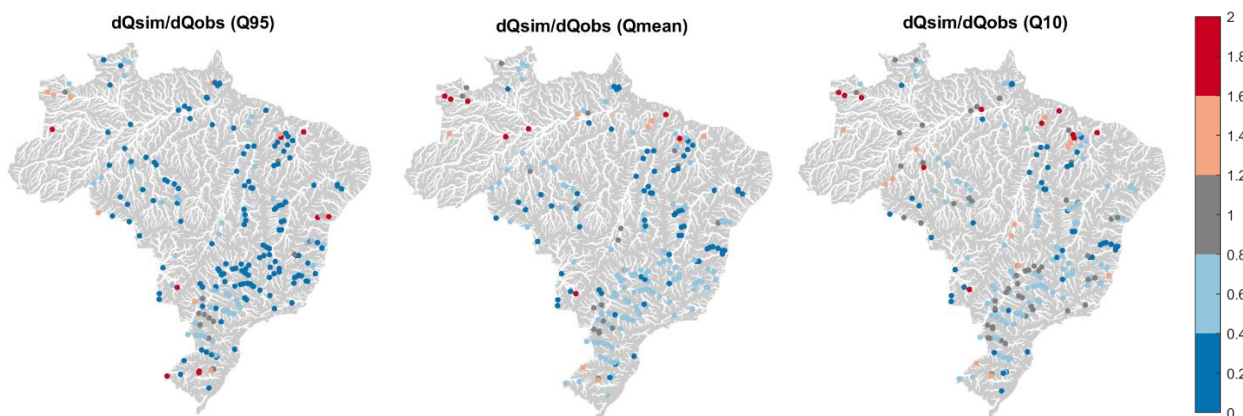


Figura 3. Razão entre amplitude de vazões simuladas e observadas (Q_{95} , Q_{med} e Q_{10})

CONCLUSÕES

O estudo mostrou limitações do MGB-SA na avaliação de valores extremos de vazão e de amplitudes de vazão. Esse problema aumenta a incerteza de aplicações do modelo e pode invalidar análises que

dependam de estimativas adequadas dessas características, como sistemas de alerta de cheias. Como perspectivas de desenvolvimento de trabalhos futuros foram levantados os seguintes pontos:

- Documentar mais extensamente o comportamento da sensibilidade do modelo MGB-SA
- Reformulação da estrutura de modelos hidrológicos pensando na amplitude de vazões
- Recalibração de modelos a partir de métricas de variabilidade interanual e de amplitude de vazões
- Proposta de método de correção da sensibilidade a partir de coeficiente baseado nos resultados do presente estudo

REFERÊNCIAS

FOWLER, K. J. A., PEEL, M. C., WESTERN, A. W., ZHANG, L., AND PETERSON, T. J. (2016), “*Simulating runoff under changing climatic conditions: Revisiting an apparent deficiency of conceptual rainfall-runoff models*”, *Water Resour. Res.*, 52, 1820–1846, doi:10.1002/2015WR018068.

GUPTA, HOSHIN V., KLING, HARALD, YILMAZ, KORAY K., MARTINEZ, GUILLERMO F., “*Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling*”, *Journal of Hydrology*, Volume 377, Issues 1–2, 2009, Pages 80-91, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>.

HER, Y., YOO, SH., CHO, J. *et al.* “*Uncertainty in hydrological analysis of climate change: multi-parameter vs. multi-GCM ensemble predictions*”. *Sci Rep* 9, 4974 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41334-7>

HUGHES, J.; POTTER, N.; ZHANG, L.; BRIDGART, R. “*Conceptual Model Modification and the Millennium Drought of Southeastern Australia*”. *Water* 2021, 13, 669. <https://doi.org/10.3390/w13050669>

SAAVEDRA, D., MENDOZA, P. A., ADDOR, N., LLAUCA, H., & VARGAS, X. (2022). “*A multi-objective approach to select hydrological models and constrain structural uncertainties for climate impact assessments*”. *Hydrological Processes*, 36 (1), e14446. <https://doi.org/10.1002/hyp.14446>

SIQUEIRA, V. A.; PAIVA, R. C. D.; FLEISCHMANN, A. S.; FAN, F. M.; RUHOFF, A. L.; PONTES, P. R. M.; PARIS, A.; CALMANT, S.; COLLISCHONN, W. (2018). “*Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America*”. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 4815–4842, <https://doi.org/10.5194/hess-22-4815-2018>.

ZHANG, Y., VIGLIONE, A., & BLÖSCHL, G. (2022). “*Temporal scaling of streamflow elasticity to precipitation: A global analysis*”. *Water Resources Research*, 58, e2021WR030601. <https://doi.org/10.1029/2021WR030601>

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à agência de fomento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) pelas bolsas de pesquisa, e a todos os(as) pesquisadores(as) que contribuíram para a elaboração do estudo.