

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ERROS NA ESTIMATIVA DE VAZÕES Q95 COM MEDIÇÕES ESPORÁDICAS “SPOT GAUGING”: UMA ANÁLISE DE COLETAS SIMULTÂNEAS POR MEIO DE SIMULAÇÃO

Mino Viana Sorribas¹; Walter Collischonn² & Rodrigo Cauduro Dias de Paiva³

RESUMO — A estimativa de vazões de referência, no período de estiagem, em locais sem dados é necessária para a gestão de recursos hídricos. Diferentes técnicas são utilizadas para isto, e normalmente estão baseadas em algum tipo de extrapolação a partir dos dados coletados em postos fluviométricos com séries observadas relativamente longas (20 anos ou mais). Alguns autores sugerem que a estimativa de vazão de referência no local sem dados pode ser aprimorada por uma única ou algumas poucas medições esporádicas (spot gauging, na literatura internacional). O presente trabalho busca quantificar os erros associados a estimativas de Q95 com uma única medição de vazão no local sem dados, sincronizada com a ocorrência da Q95 em algum posto fluviométrico próximo. Para tanto, dados de postos fluviométricos de série longa foram utilizados para simular o processo de estimativa de vazão em locais sem dados, replicando a aplicação da estimativa por medições maneira esporádicas, em diferentes anos. Apresenta-se um resultado quantitativo de erros esperados datécnica, considerando dados em diferentes regiões do Brasil. A partir dos erros obtidos em cada posto e agregação para cada região hidrográfica, indica-se que os valores estimados pela medição esporádica ficam entre -14% e +17% da vazão Q95 observada, para 50% dos casos. Para faixas mais amplas de incerteza para 75% e 95% dos casos, pode-se considerar erros relativos de -15% a +19%, ou entre -33% e +49%, respectivamente.

Palavras-Chave – monitoramento, regionalização, séries curtas

INTRODUÇÃO

Estimativas de vazões de referência são necessárias para a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos. Enquanto a vazão média descreve a quantidade de água nos rios em condições climáticas normais, é importante considerar cenários mais severos em relação a capacidade de atendimento, tais como as que ocorre em períodos de vazões baixas e estiagens. Neste sentido, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) adota a vazão que é superada em 95% do tempo, denominada Q95, como critério para avaliar o balanço entre a demanda pelos usos múltiplos e a água disponível. Além disso, o setor elétrico também utiliza essa medida para calcular a energia garantida em usinas hidroelétricas que não possuem reservatório de regularização.

A estimativa de vazões de estiagem em locais sem dados tem sido realizada por meio de diferentes técnicas, tais como a transferência de vazões específicas, a regionalização com técnicas de regressão e modelagem hidrológica. Em geral, para locais onde as vazões se aproximam do regime natural, as estimativas se tornam mais consistentes à medida que novos dados são coletados e para

1) Afiliação: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mino.sorribas@gmail.com

2) Afiliação: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, collischonn@iph.ufrgs.br

3) Afiliação: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rodrigocdpai@iph.ufrgs.br

estatísticas realizadas com séries mais longas. Usualmente recomenda-se que estimativas de vazões de referência, como a Q95 ou a Q7,10 sejam obtidas com séries de mais de 20 ou 30 anos de dados, para minimizar a influência da variabilidade climática (Tallaksen e Van Lanen, 2004). Monitorar a vazão instantânea de todos os rios ainda é, obviamente, pouco viável, devido aos custos de instalação, operação e manutenção de uma rede hidrométrica. Neste contexto, historicamente um dos principais desafios históricos na hidrologia é estimar, de forma razoavelmente acurada, a vazão dos rios não monitorados, motivando diversas pesquisas e iniciativas como o PUB - Prediction in Ungauged Basins (Blöschl et al. 2013).

Existem estudos que exploraram o uso de dados de medições esporádicas para aprimorar o desempenho de modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão (Rojas-Serna et al., 2016; Sun et al., 2017; Pool et al., 2017; Drogue e Khediri, 2016; Pool et al., 2019; Etter et al., 2020). No Brasil, a combinação dos métodos de modelagem hidrológica chuva-vazão com o método de séries curtas, ou medições esporádicas, está presente de forma razoavelmente consolidada na forma do chamado Método Silveira, descrito por Silveira et al. (1998). As técnicas que utilizam medições esporádicas se referem a casos extremos de denominados, métodos de séries curtas.

Os métodos de séries curtas podem ser entendidos como ferramentas para corrigir estimativas de vazões de referência baseadas em séries curtas de dados observados, que sofrem pela falta de representatividade (climática) da amostra, e, por isso, costumam ser enviesadas.

Muitos postos fluviométricos não têm séries muito longas. Zhang (2017), por exemplo, afirma que 43% dos 394 postos fluviométricos do estado de Illinois, nos Estados Unidos, tem séries de menos de 20 anos de dados. Entretanto, a maioria destes postos com séries relativamente curtas está localizada em pequenas bacias, nas cabeceiras dos rios principais, e, portanto, contém informação valiosa para os pequenos rios e córregos.

A depender dos critérios utilizados para seleção dos dados, como o número mínimo de anos de observação, ou a necessidade de simultaneidade das séries, em estudos de regionalização de vazões, muitas bacias podem acabar sendo tratadas como não monitoradas, embora tenham sido monitoradas ao menos durante algum tempo. As séries curtas observadas podem não ser representativas de um longo período de tempo, mas é possível utilizar métodos que relacionam as estimativas de vazão de referência obtidas com séries curtas com estimativas regionais baseadas em séries mais longas, buscando obter, ao mesmo tempo, os benefícios da representatividade local e da representatividade do período amostral (Laaha e Blöschl, 2005).

Existem variantes do método de séries curtas até para o caso extremo, quando no local de interesse não há uma série de medições sistemáticas, mas apenas algumas medições esporádicas. Neste caso, os métodos são referidos como “spot gauging methods” (Chopart e Sauquet, 2008; Laaha e Blöschl, 2005). O método de séries curtas com apenas uma única medição chegou a ser proposto e adotado no estado da Bahia para estimativa da Q90 em locais sem dados (Santana et al., 2000). Entretanto, não existe uma avaliação da incerteza desta estimativa, ao menos em rios do Brasil.

No método da medição única para a estimativa da Q95, deve ser realizada uma medição única de vazão no local sem dados. Esta medição, denominada QS_u deve, necessariamente, ser realizada durante um período de estiagem. No mesmo dia é necessário obter a vazão QS_g no local em que existe um posto fluviométrico com uma série longa e confiável, e que esteja localizado na mesma região do ponto não monitorado. A vazão QS_g pode ser medida diretamente, ou estimada indiretamente pela cota e pela curva-chave. Com a série longa dos dados do posto fluviométrico é calculada a vazão $Q95_g$, e é calculado o valor K, dado pela equação 1, que é a razão entre a $Q95_g$ e QS_g . Este valor de K é, então, multiplicado pela vazão medida no local sem dados, para obter uma estimativa da vazão Q95 no local sem dados ($Q95_u$), de acordo com a equação 2.

$$K = \frac{Q95_g}{QS_g} \quad (1)$$

$$Q95_u = QS_u \cdot K \quad (2)$$

onde: K é o fator de proporcionalidade no local com dados; $Q95_g$ é a vazão Q95 no local com dados (posto fluviométrico); QS_g é a vazão medida no local com dados; $Q95_u$ é a estimativa da vazão Q95 no local sem dados; e, QS_u é a vazão medida no local sem dados.

O método considera válida a hipótese que a proporção entre a vazão medida e a vazão de referência (Q95) é a mesma nos dois locais.

No presente estudo, buscamos quantificar os erros da estimativa da vazão Q95 utilizando medições esporádicas, considerando a simulação de cenários que reproduzem um processo de medição simultânea em dois postos fluviométricos, em diferentes locais do Brasil. O trabalho enquadra-se no subprojeto de “Regionalização de Vazões” dentro do projeto “Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional” desenvolvido entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS) e a ANA. Dentre outros objetivos, busca-se elaborar e comparar bases de dados de vazões de referência em escala nacional usando diferentes metodologias como as baseadas em observações de postos fluviométricos e modelagem hidrológica continental.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado a partir de dados de séries diárias de vazão de postos fluviométricos com séries longas obtidos da ANA. Foram considerados somente postos com séries longas (> 30 anos), sem efeito significativo de regularização artificial e/ou erros grosseiros. Para cada posto fluviométrico em análise, selecionou-se um posto de apoio, tal que: com relação de áreas de drenagem entre 0,3 e 3.; ambas as séries pareadas contivesse 30 e 35 anos de dados; e correlação entre vazões Q95 anuais superior a 0,6, priorizando pares com correlação mais altas. Considerando esses critérios, as análises seguiram com uma base de 449 postos fluviométricos, em diferentes regiões do Brasil.

A avaliação dos erros do método da medição única foi realizada por meio da simulação das campanhas de medição de vazão, reproduzindo virtualmente o procedimento logístico de coleta de dados *in situ*. Para cada posto fluviométrico em análise, a simulação consiste em:

1. Identifica-se o posto de apoio com dados (“doador”);
2. Realiza-se o pareamento da série de dados em ambos os postos;
3. Calcula-se a vazão $Q95_g$ do posto doador e a vazão $Q95_{u,real}$ do posto em análise
4. Para cada ano da série de dados pareados, busca-se o dia em que a vazão no posto com dados fica igual ou logo abaixo da $Q95_g$. Essa etapa reproduz o agendamento de uma medição no dia em que se mediria a QS_g no posto de apoio.
5. Para os mesmos dias identificados na etapa anterior, recupera-se a vazão QS_u , do posto em análise, reproduzindo a medição no local sem dados.
6. Calcula-se os fatores K e estimativas de $Q95_u$ para cada um dos dias identificados
7. Calcula-se os erros das estimativas de $Q95_u$, comparado ao valor real dado por $Q95_{u,real}$

O processo acima foi repetido para todos os postos fluviométricos considerados. Ou seja, cada posto em análise foi considerado temporariamente como um local sem dados, para os quais foram realizadas medições simultâneas (mesmos dias) com um posto fluviométrico de apoio com dados, cujo fator de proporcionalidade (obtido em cada nova medição) foi utilizado para estimar a vazão (a cada nova medição) no posto em análise. Por fim, recupera-se as vazões reais observadas no posto em análise e calcula-se os erros em cada uma das medições esporádicas identificadas.

No contexto de disponibilidade hídrica é importante que a métrica de desempenho seja capaz de indicar a proporcionalidade de excesso/déficit hídrico da estimativa. A métrica denominada de Razão entre Vazões, descrita a seguir, é proposta e utilizada para avaliar o desempenho entre valores observados e estimados das vazões de referência.

No caso da vazão de referência $Q95_u$, a razão de vazões é dada por:

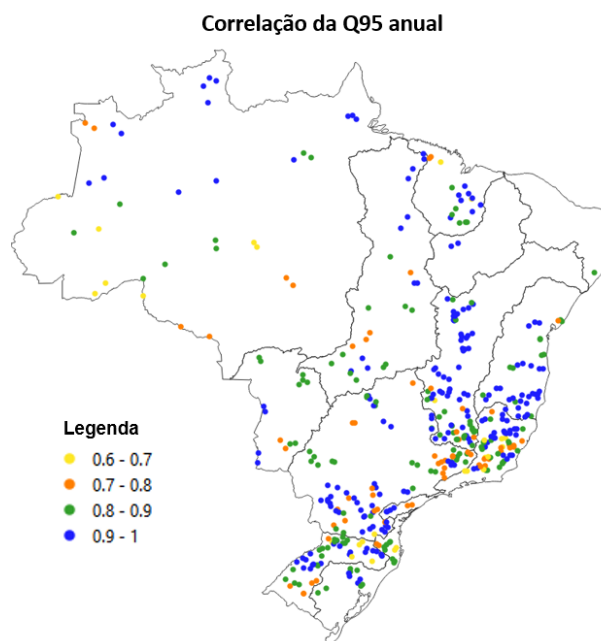
$$RQ95 = \text{Sinal}(Q95_{est} - Q95_{real}) \cdot \text{Máximo}\left(\frac{Q95_{est}}{Q95_{real}}; \frac{Q95_{real}}{Q95_{est}}\right) \quad (2)$$

onde: RQ95 é a métrica de razão de vazões Q95; $Q95_{est}$ é a Q95 estimada por um modelo; $Q95_{real}$ é a Q95 observada, obtida dos dados do posto fluviométrico.

Essa métrica indica a proporção em que o modelo estima as vazões em relação às vazões observadas, de tal maneira que um valor $RQ95=+2$ indica que a vazão estimada é o dobro da observada e, um valor $RQ95=-2$ indica que a vazão estimada é a metade da observada. Um ajuste perfeito fornece um valor de 1. Ao considerar que a magnitude dos erros de superestimativa e subestimativa (em proporção) são igualmente importantes, a métrica pode ser utilizada ignorando o sinal, critério esse adotado para as análises no presente estudo.

A figura 1 apresenta um mapa das correlações em cada caso, ilustrando também o critério mínimo de correlação de 0,6 foi adotado para análise nesse trabalho, mas priorizando a escolha de um posto de apoio com alta correlação. De fato, 50% dos pares considerados apresentaram correlação acima de 0,9, e 90% correlação superior a 0,75.

Figura 1 – Correlação das vazões Q95 anuais dos pares de postos, em cada local de análise

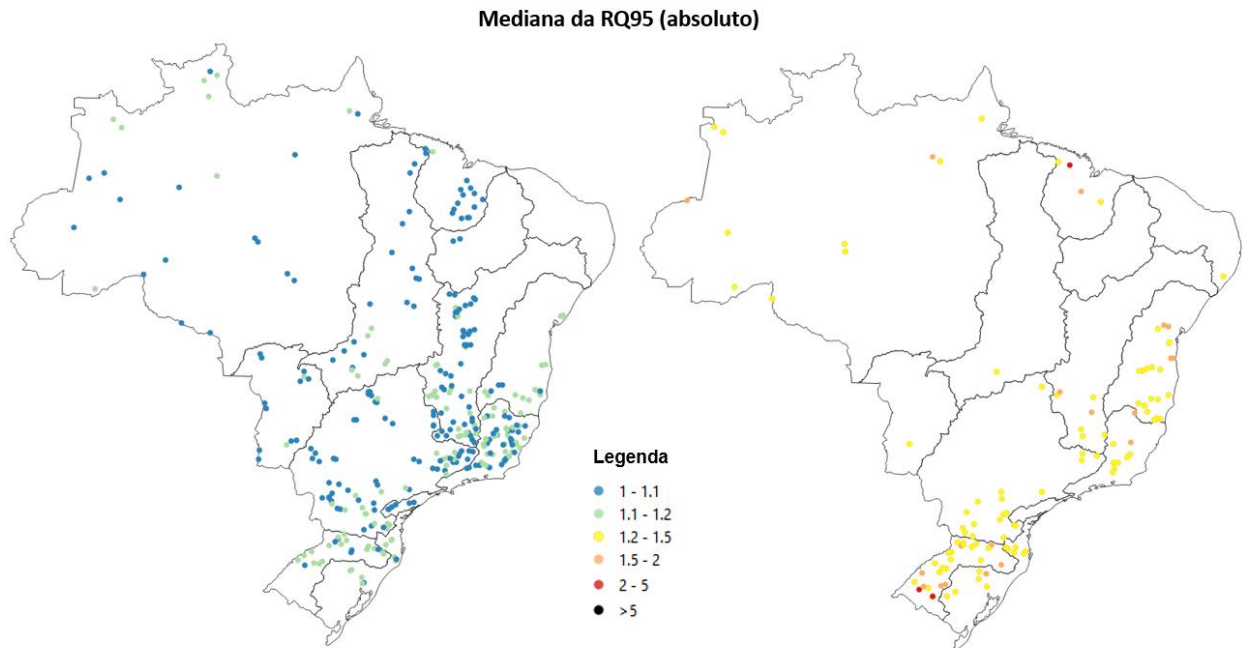


RESULTADOS

A aplicação do método, por simulação, resulta em um conjunto de erros para cada posto fluviométrico, decorrente das múltiplas medições esporádicas realizadas em cada local. De forma a sintetizar a descrição dos resultados, em primeiro lugar, a mediana dos valores absolutos RQ95 obtidos em cada posto fluviométrico foi calculada e utilizada para descrever o erro esperado em cada local.

A figura 2 apresenta a distribuição espacial dos erros obtida pela simulação, em escala nacional, considerando erros menores (maiores) a esquerda (direita) para facilitar a visualização. Em geral, é possível observar que foi possível obter erros na proporção entre vazões inferiores a 1,1 (em azul) ou inferiores a 1,2 em diversas regiões do país. Aparentemente valores de RQ95 entre 1,5 e 2 ocorreram com maior frequência em bacias do Atlântico Leste e ao Sul do país.

Figura 2 – Mapa da mediana de RQ95 (em valor absoluto) obtido em cada posto fluviométrico,



Seguindo a análise, apresentamos na Figura 3 um gráfico boxplot dos valores apresentados anteriormente no mapa, mas categorizados por relação de área de drenagem entre os postos. Podemos verificar que existe a dispersão dos erros tende a diminuir à medida que a área de drenagem do posto utilizado como suporte se aproxima de 1, ou seja, quando as áreas são similares. A figura 4 apresenta um mapa com as relações de áreas que foram consideradas em cada caso. Para facilitar a visualização, no mapa a esquerda são ilustrados os locais onde a área de drenagem do posto de apoio é inferior a 1 e, a direita, superior a 1.

Figura 3 – Boxplot das medianas (de cada posto) de RQ95 (em valor absoluto) em categorias de correlação da vazão Q95 anual entre postos

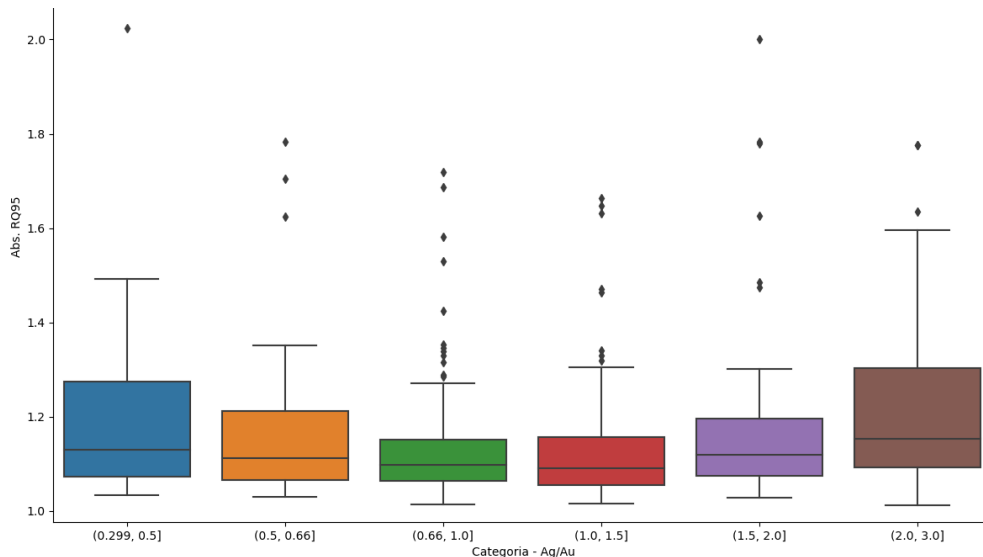
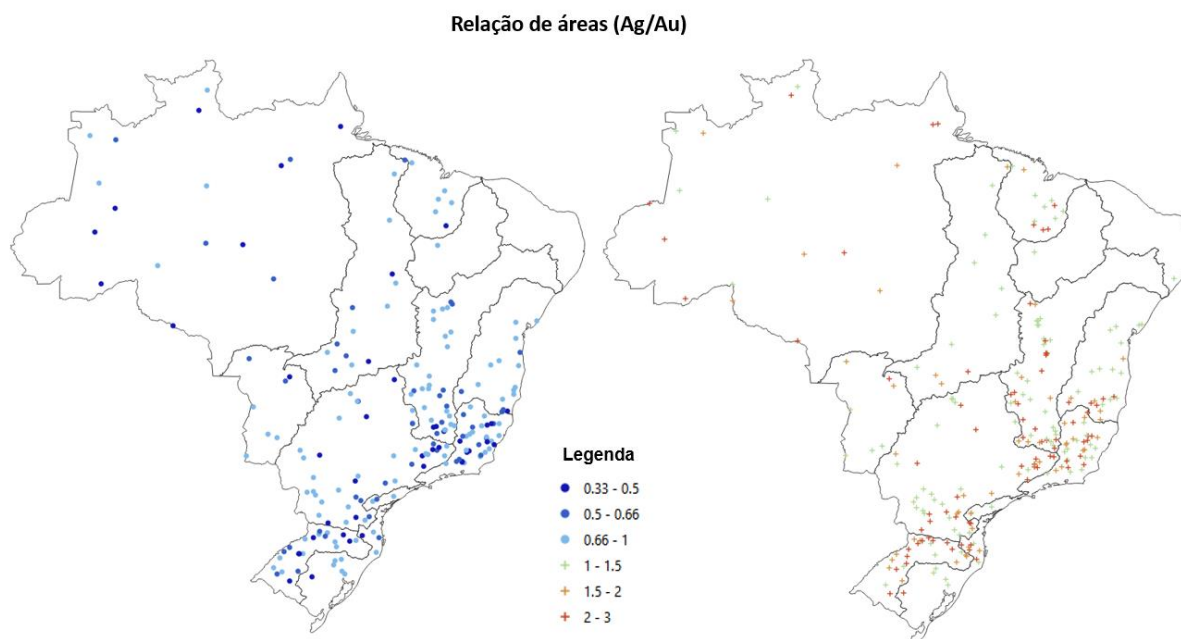
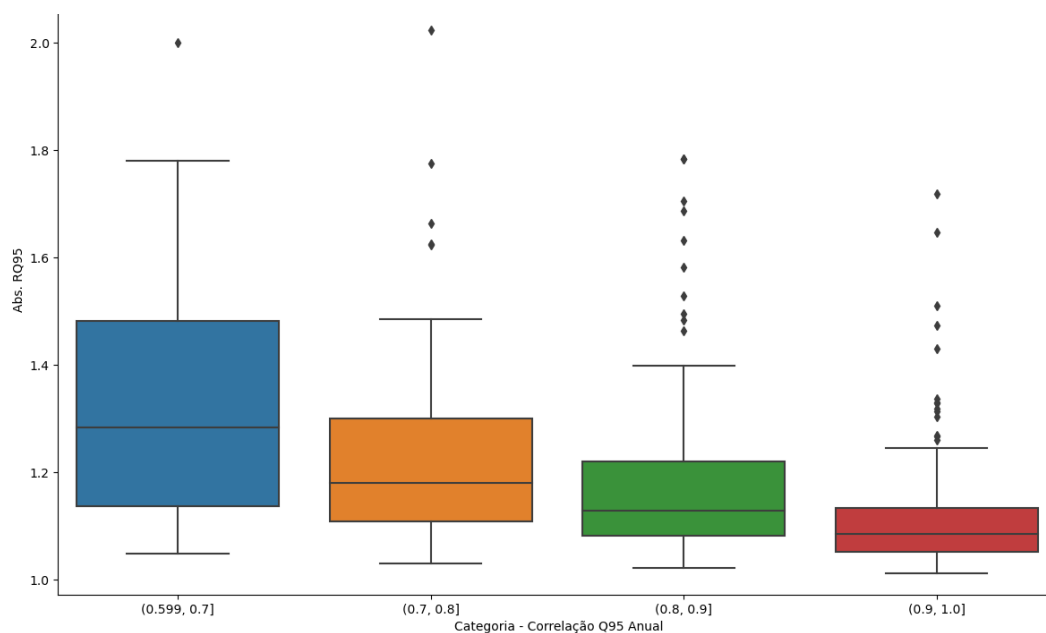


Figura 4 – Mapa da relação de áreas de drenagem dos pares de postos em cada local, separados à esquerda (direita) os postos de apoio com áreas inferiores (superiores) do que no local de interesse.



A Figura 5 apresenta um gráfico boxplot dos valores dos erros apresentados anteriormente, mas categorizados pela correlação das vazões Q95 anuais. É possível verificar que postos com alta correlação tendem a produzir estimativas com erros menores, na estimativa e com menor dispersão. Mesmo em postos com correlações de 0,6 e 0,7 foi possível obter estimativas com vazões que representam erros inferiores a 50% em boa parte dos casos. Para postos com alta correlação, os erros podem ficar abaixo de 20%. Em síntese, esses resultados sugerem que mesmo medições esporádicas podem fornecer boas estimativas de vazão e, mais importante, com erros que podem ser relacionados, até certo ponto, com similaridade do regime hidrológico numa determinada região.

Figura 5 – Boxplot das medianas (de cada posto) de RQ95 (em valor absoluto) em categorias correlação da vazão Q95 anual.



Por fim, apresentamos um resumo regional da estatística (grupo de postos) do erro esperado (mediana em cada posto) descrita nesse trabalho, na Tabela 1. Por exemplo, para a região do Paraná e Paraguai, que apresentaram o maior número de postos fluviométricos dentro dos critérios adotados, o valor médio das medianas de RQ95 (entre postos) foi de 1,13, com valores mínimos e máximos de 1,02 e 1,50, respectivamente. Na região do Uruguai, o valor médio foi de 1,30 e apresentou uma variabilidade entre postos mais acentuada, com mínimo e máximo de 1,07 e 2,25; sendo o valor mais elevado na região do rio Ibicuí e rio Santa Maria. No Atlântico Leste, o valor médio foi de 1,28, sendo o mínimo e máximo de 1,07 e 1,78. No Atlântico Nordeste e Parnaíba, o valor máximo de 2,00 ocorreu para um posto no rio Maracaçumé que teve um posto de apoio no rio Guama, numa um pouco região mais distante (já na bacia do rio Tocantins-Araguaia), sendo a correlação baixa de 0,6. Considerando todas as regiões, é possível observar que a média fica em 1,17. A métrica RQ95 (em valor absoluto) de 1,17 significa que o valor estimado superestima em +17% ou subestima em -14% ($=1/1,17-1$) a vazão Q95 observada. Uma vez que o valor foi obtido a partir da mediana, podemos afirmar que em 50% dos casos, o erro esperado fica entre os valores mencionados. Por fim, em 75% e 90% dos casos, as medianas de RQ95 do posto foram de 1,19 e 1,49, que definem os intervalos de -15% a +19% e de -33% e +49%, respectivamente, de erro relativo.

Tabela 1 – Resumo de estatísticas das medianas de RQ95 do conjunto de postos em cada região hidrográfica

Região	Postos	Média (Mín-Máx)	Erro Relativo Equivalente (%)*		
			Média	Mínimo	Máximo
Amazônica	32	1,18 (1,03-1,7)	-15% ou +18%	-3% ou +3%	-41% ou +70%
Tocantins-Araguaia	21	1,08 (1,02-1,31)	-7% ou +8%	-2% ou +2%	-24% ou +31%
Atlântico Nordeste e Parnaíba	28	1,15 (1,01-2,00)	-13% ou +15%	-1% ou +1%	-50% ou +100%
São Francisco	77	1,12 (1,01-1,78)	-11% ou +12%	-1% ou +1%	-44% ou +78%
Atlântico Leste	39	1,28 (1,07-1,78)	-22% ou +28%	-7% ou +7%	-44% ou +78%
Atlântico Sudeste	67	1,14 (1,05-1,59)	-12% ou +14%	-5% ou +5%	-37% ou +59%
Paraná e Paraguai	108	1,13 (1,02-1,50)	-12% ou +13%	-2% ou +2%	-33% ou +50%
Uruguai	48	1,30 (1,07-2,25)	-23% ou +30%	-3% ou +3%	-56% ou +125%
Atlântico Sul	29	1,20 (1,04-1,58)	-17% ou +20%	-4% ou +4%	-37% ou +58%
Todos	449	1,17 (1,01-2,25)	-14% ou +17%	-1% ou +1%	-56% ou +125%
* O erro relativo (%) equivalente ao RQ95, em subestimativa ou superestimativa					

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise dos erros em estimativas de vazões Q95 utilizando o método da medição única, utilizando uma abordagem via simulação em escala nacional. Cabe mencionar que os resultados apresentados descrevem os erros considerando a aplicação do método em locais em que se sabe, *a priori* que posto de apoio apresenta séries longas e correlação satisfatória (na vazão Q95), numa faixa de relação de área entre 0,3 e 3. Os erros calculados indicam que mesmo medições esporádicas podem fornecer informação relevante para a estimativa e regionalização de vazões.

Além disso, reforça-se a necessidade de debater aspectos e métodos de séries curtas, de forma a melhor aproveitar a informação existente em postos de monitoramento com instalação mais recente. Por fim, existe espaço para aplicação futura da técnica de simulação apresentada em outros cenários, por exemplo, considerando outras condições de postos de apoio e, também, cronogramas de monitoramento já existentes. Nem sempre será possível realizar a medição no local sem dados exatamente no momento da Q95 do posto de apoio, mas ainda existe espaço para avaliar qual o erro esperado se a medição for realizada situações mais condizentes com campanhas de hidrometria. Assim, é interessante ainda avaliar os erros relacionados a medições em outros momentos da estiagem, ou se as medições entre os postos ocorrem com intervalo de alguns dias. Por fim, existe espaço para debate sobre os erros existentes em diferentes métodos de estimativas de vazão de referência.

REFERÊNCIAS

- BLÖSCHL, G. *et al.* (Ed.). Runoff prediction in ungauged basins: synthesis across processes, places and scales. Cambridge University Press, 2013.
- CHOPART S, SAQUET E (2008) Usage des jaugeages volants en regionalisation des débits 'étiage (Using spot gauging data to interpolate low flow characteristics), Revue des sciences de l'eau (Journal of Water Science), 21 (3), 267-281
- DROGUE, G.; KHEDIRI, W. B. (2016). Catchment model regionalization approach based on spatial proximity: Does a neighbor catchment-based rainfall input strengthen the method?. Journal of Hydrology: Regional Studies, 8, 26-42.
- ETTER, S.; STROBL, B.; SEIBERT, J.; VAN MEERVELD, H. I. (2020). Value of crowd-based water level class observations for hydrological model calibration. Water Resources Research, 56(2), e2019WR026108.
- LAAHA, G., & BLÖSCHL, G. (2005). Low flow estimates from short stream flow records—a comparison of methods. Journal of Hydrology, 306(1-4), 264-286.
- POOL, S.; VIVIROLI, D.; SEIBERT, J. (2017). Prediction of hydrographs and flow-duration curves in almost ungauged catchments: Which runoff measurements are most informative for model calibration?. Journal of Hydrology, 554, 613-622.
- POOL, S.; VIVIROLI, D.; SEIBERT, J. (2019). Value of a limited number of discharge observations for improving regionalization: A large-sample study across the United States. Water Resources Research, 55(1), 363-377.

ROJAS-SERNA, C., LEBECHEREL, L., PERRIN, C., ANDRÉASSIAN, V., OUDIN, L. (2016). How should a rainfall-runoff model be parameterized in an almost ungauged catchment? A methodology tested on 609 catchments. *Water Resources Research*, 52(6), 4765-4784.

SANTANA, A.G.; CARDOSO, E.R.; SILVA, F.F.; GENZ, F.; RIBEIRO, C.A.O. (2000) Estimativa da Vazão de Referência, com Carência de Dados, Para Outorga na Bahia. In: Anais. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal/RN, 2000

SILVEIRA, G. L., TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. (1998) Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre 3(3), 111–131.

SUN, W.; WANG, Y.; WANG, G., *et al.* (2017). Physically based distributed hydrological model calibration based on a short period of streamflow data: case studies in four Chinese basins. *Hydrology & Earth System Sciences*, 21(1).

TALLAKSEN, L. M.; VAN LANEN, H. A. (Eds.). (2004). *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater* (Vol. 48). Elsevier.

ZHANG, Z. (2017). The index gage method to develop a flow duration curve from short-term streamflow records. *Journal of Hydrology*, 553, 119-129.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem à ANA pelo financiamento através do projeto “Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional”