

MELHORANDO O DESEMPENHO DE PREVISÕES HIDROLÓGICAS EM ESCALA CONTINENTAL ATRAVÉS DE PÓS-PROCESSAMENTO

Vinícius Alencar Siqueira¹; Albrecht Weerts^{2,3}; Jan Verkade²; Bastian Klein⁴; Fernando Mainardi Fan¹; Rodrigo Cauduro Dias de Paiva¹ & Walter Collischonn¹

Palavras-Chave – Previsão por conjunto, Modelagem hidrológica, América do Sul

1. INTRODUÇÃO

Previsões hidrológicas são importantes para a gestão dos recursos hídricos. Uma das técnicas mais promissoras para gerar tais previsões é alimentar modelos hidrológicos com chuva prevista por sistemas de previsão meteorológica por conjunto, ou por *ensemble*, que levam em consideração as incertezas associadas aos modelos atmosféricos e seus dados de entrada. Por outro lado, as previsões meteorológicas são geralmente enviesadas e possuem erros de dispersão (isto é, são mal calibradas) que se amplificam após serem propagados através de modelos hidrológicos, já que estes últimos são representações simplificadas do ciclo hidrológico terrestre e também contribuem para a incerteza nas estimativas futuras de vazão. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a melhoria do desempenho de previsões hidrológicas por conjunto através da aplicação de um método de pós-processamento estatístico, baseado na modelagem dos erros de previsões retrospectivas em relação a observações do passado. Esta avaliação foi realizada em um domínio continental para testar o desempenho do método em um número representativo de postos fluviométricos.

2. METODOLOGIA

Utilizou-se o modelo hidrológico de grandes bacias (MGB) com escala continental para a América do Sul, desenvolvido por Siqueira *et al.*, (2018). Este modelo usa um produto de chuva baseado em dados de satélite e foi calibrado/validado no período entre 1990 a 2010 com mais de 600 postos fluviométricos (área de drenagem > 10.000 km²), dentre os quais foram selecionados apenas aqueles com mais de 10 anos de dados e pouca regulação de reservatórios (total de 497 estações fluviométricas). As previsões meteorológicas por conjunto foram obtidas do *European Center for Medium-range Weather Forecasts* (ECMWF) para o período entre Mar/1996 e Dez/2014, com frequência de emissão de duas vezes por semana. Estas previsões, compostas por um conjunto de 11 membros com resolução de grade de 0.2° e horizonte máximo de 15 dias à frente, foram incorporadas ao modelo MGB para gerar 11 diferentes cenários de vazão em cada dia de previsão disponível.

Para o pós-processamento, utilizou-se a técnica *Ensemble Model Output Statistics* (EMOS) (Gneiting *et al.*, 2005) para estimar distribuições preditivas em cada antecedência e localidade de acordo com a estação do ano (DJF, MAM, JJA, SON), e posteriormente aplicou-se o método *Ensemble Copula Coupling* (ECC) (Scheffzik *et al.*, 2013) para derivar trajetórias realísticas de previsão a partir das distribuições obtidas pelo EMOS. O pós-processamento das previsões hidrológicas em cada posto fluviométrico foi realizado através de uma validação cruzada, isto é, aplicando-se o EMOS para um ano qualquer somente com os pares observado/previsão dos anos remanescentes. Para avaliação do desempenho das previsões hidrológicas foram utilizados as métricas *Continuous Ranked Probability Skill Score* (CRPSS) e índice de confiança (IC). No caso do CRPSS, tanto as previsões originais quanto as pós-processadas foram avaliadas considerando a climatologia diária das vazões observadas como valores de referência.

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas / UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre – RS / Brasil, vinisiquera@gmail.com

2) Deltares, Boussinesqweg 1, 2629 HV, Delft, Holanda.

3) Wageningen University, Droevendaalsesteeg 4, 6708 PB, Wageningen, Holanda.

4) German Institute of Hydrology, Am Mainzer Tor 1, D-56068, Coblença, Alemanha.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As previsões originais mostraram alguma habilidade ($CRPSS > 0$) em relação à climatologia das vazões apenas na região sul do Brasil, além de uma quantidade relativamente pequena de postos principalmente no leste da América do Sul. Em síntese, a mediana dos valores de CRPSS foi negativa em torno de -0,18 para as antecedências de 5, 10 e 15 dias. Com o uso do pós-processamento a destreza da previsão hidrológica aumenta, e as previsões passam a ter maior acurácia do que a climatologia das vazões em praticamente todas as localidades com exceção de alguns pontos na bacia Amazônica. Os valores de CRPSS para as previsões pós-processadas são maiores nas primeiras antecedências mas tendem a diminuir gradativamente ao longo do tempo, onde a mediana ficou equivalente a +0,3, +0,24 e +0,18 para 5, 10 e 15 dias à frente. No que se refere ao índice de confiança, verificou-se que as previsões originais possuem valores altos de IC para a mediana (1,3, 1,15 e 1,0 nas antecedências de 5, 10 e 15 dias), indicando um grande desvio em relação a um conjunto perfeitamente calibrado. Isso acontece porque elas geralmente sofrem de subespalhamento excessivo, isto é, a frequência dos valores observados nas probabilidades extremas do conjunto é alta. Já os valores de IC nas previsões pós-processadas reduziram para 0,42, 0,29 e 0,26 respectivamente nas antecedências acima, indicando uma melhor calibração das previsões. Entretanto, em locais onde a propagação de vazão é lenta e a previsão depende fortemente das condições iniciais, como por exemplo, na região central da Amazônia, o pós-processamento tende a ser menos efetivo. O efeito da condição inicial também é uma das razões que explica o comportamento das previsões, uma vez que a calibração do conjunto em ambos os casos (originais e pós-processadas) é menor nos instantes iniciais da previsão e tende a melhorar nas antecedências mais longas.

Através da inspeção visual dos hidrogramas de previsão, verificou-se que as trajetórias dos membros das previsões pós-processadas geradas pelo ECC seguem àquelas das previsões originais, porém nas primeiras o viés é reduzido e a dispersão do conjunto é aumentada. Desta forma, o pós-processamento melhora a concordância das vazões previstas com as observadas, e os erros tendem a ser melhor capturados pela incerteza estimada. Por outro lado, quando a dispersão do conjunto original é muito pequena, um leve desvio de um dos membros pode gerar probabilidades muito elevadas para o seu correspondente pós-processado, causando saltos indesejáveis de uma antecedência para outra. Este efeito pode ter relação com uma seleção não muito adequada dos quantis da distribuição gerada pelo EMOS, que pode ser futuramente explorada com o intuito de melhorar a trajetória estimada para as previsões.

4. CONCLUSÃO

Embora as previsões originais em sua grande maioria não foram capazes de superar a climatologia das vazões observadas, as previsões pós-processadas demonstraram ganho de acurácia em relação a ambas em quase todas as localidades avaliadas no continente sul americano, inclusive melhor calibração do conjunto em termos de probabilidades previstas. Os resultados demonstraram possibilidades de avanço na capacidade de geração de previsões hidrológicas em escala continental e de estimativa da incerteza, e podem ser considerados satisfatórios dadas as limitações de escala do modelo hidrológico utilizado.

REFERÊNCIAS

- GNEITING, T. *et al.* (2005) Calibrated probabilistic forecasting using ensemble model output statistics and minimum CRPS estimation. *Monthly Weather Review*, v. 133 (5), p. 1098-1118.
- SCHEFZIK, R.; THORARINSDOTTIR, T. L.; GNEITING, T. (2013) Uncertainty Quantification in Complex Simulation Models Using Ensemble Copula Coupling. *Statistical Science*, v. 28 (4), p. 616-640.
- SIQUEIRA, V. A. *et al.* (2018) Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 22 (9), p. 4815-4842.