

Grupo de Estudo de Operação de Sistemas Elétricos-GOP

SISTEMA DE PREVISÃO DE VAZÕES POR CONJUNTO DA USINA DE ITAIPU: DESENVOLVIMENTO E PRIMEIRAS ANÁLISES

MARIANA MARIA WERLANG(1); AUDER MACHADO VIEIRA LISBOA(2); MARCELO BRAUER ZAICOVSKI(3); DANIEL FIRMO KAZAY(4); JOSÉ MARIANO QUEVEDO AGUADÉ(5); GIOVANNI GOMES VILLA TRINIDAD(6); ROBERTO HIROSHI TAKAHASHI(7); TANNIA MARIA ISABEL VILLANUEVA AGUERO(8); MARCELINO JOSE MARIA FARIÑA JARA(9);

ITAIPU(1);ITAIPU(2);ITAIPU(3);ITAIPU(4);ITAIPU(5);ITAIPU(6);ITAIPU(7);ITAIPU(8);ITAIPU(9);

RESUMO

Neste trabalho são apresentados o desenvolvimento e a avaliação do sistema de previsão de vazões por conjunto (*ensemble*) para a UHE Itaipu no período de 2016 a 2018. O sistema é baseado no modelo hidrológico MGB-IPH, alimentado por diferentes previsões numéricas de precipitação e executado diariamente pela manhã. Com base nos resultados do sistema, a equipe de hidrologia da Itaipu desenvolve uma previsão de consenso, que é utilizada para o planejamento da operação do reservatório de Itaipu. O objetivo deste trabalho é apresentar uma avaliação dos resultados do sistema em termos de medidas de desempenho para o período analisado.

PALAVRAS-CHAVE

Itaipu, Previsão hidrológica, Previsão por conjunto, Previsão de consenso, Desempenho

1.0 - INTRODUÇÃO

A principal atribuição da Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos da ITAIPU Binacional é elaborar a previsão de vazões afluentes a montante e a jusante da usina (rios Paraná, Iguaçu e afluentes) para apoio à supervisão, programação e planejamento da operação hidroenergética. Para permitir a elaboração diária destas previsões a Itaipu implantou, entre 1989 e 1992, o seu primeiro sistema computacional de previsão de vazões baseado em modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão, batizado de SIMPREVA (Simulador e Previsor de Vazões Afluentes). O SIMPREVA era baseado na metodologia do *Curve Number* do SCS (*Soil Conservation Service*), o Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. O algoritmo de Onda Cinemática, um modelo hidrodinâmico simplificado, era o utilizado para a propagação das vazões observadas e calculadas.

Ao longo de mais de vinte anos em operação este sistema mostrou-se capaz de atender aos objetivos para o qual foi desenvolvido, porém, resultados de simulações com dados mais recentes indicaram a necessidade de recalibração dos parâmetros dos modelos, especialmente em função de alterações na cobertura vegetal das bacias hidrográficas. Este sistema também apresentava limitações de ordem operacional e limitações técnicas que indicavam a necessidade de uma grande quantidade de adequações necessárias à realidade de dados telemétricos de base horária recebidos em tempo real, e de previsões numéricas de precipitação em formato binário. Diante desta constatação concluiu-se ser inviável enviar esforços na adequação do sistema SIMPREVA, sendo necessário o desenvolvimento de um novo sistema de previsão de vazões.

No presente trabalho é apresentado o novo sistema de previsão de vazão desenvolvido, que é atualmente utilizado em Itaipu, e a avaliação estatística dos seus resultados para o período de 2016 a 2018. No próximo item do texto é apresentado o sistema, e no item seguinte a análise dos resultados. Ao final do texto são feitas discussões e são levantados os desafios concernentes ao futuro das previsões de vazão.

2.0 - DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Após uma análise realizada pela equipe técnica de Itaipu sobre as tecnologias disponíveis de modelagem hidrológica, optou-se pelo desenvolvimento de um novo sistema de previsão de vazões baseado no modelo hidrológico de grande escala MGB-IPH (Modelo de Grandes Bacias, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). O modelo MGB-IPH tem demonstrado recentemente um grande número de aplicações bem-sucedidas quando usado para a previsão de vazões em usinas hidrelétricas, conforme os trabalhos de Fan *et al.* (2016); Fan *et al.* (2015a, 2015b), Siqueira *et al.* (2016), entre outros.

O modelo hidrológico distribuído MGB foi desenvolvido para simular o processo de transformação chuva-vazão e propagação de vazões em trechos de rio em bacias consideradas de grande porte, cujas áreas de drenagem são geralmente superiores a aproximadamente 1.000 km² (Collischonn e Tucci, 2001; Pontes *et al.*, 2015).

Este modelo já havia sido calibrado para a bacia incremental a Itaipu em dois estudos anteriores, apresentando boas estatísticas de desempenho entre as vazões observadas e simuladas: (i) na concorrência entre modelos realizada pelo Operador Nacional do Sistema (Guillon *et al.*, 2007), quando o MGB apresentou o melhor desempenho diante de outros dois modelos testados; (ii) e no estudo “Revisão da Enchente Máxima Provável de Itaipu: Área Incremental”, encomendado pela Superintendência de Engenharia da Itaipu.

O modelo MGB para previsão de vazões foi calibrado para a bacia hidrográfica incremental (montante e jusante) a Itaipu utilizando-se dados horários de precipitação e vazão das estações automáticas de Itaipu, além de dados de precipitação das estações do SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) e dados de precipitação e vazão do *web service* da ANA (Agência Nacional de Águas). Os dados meteorológicos necessários para calcular a evapotranspiração foram obtidos pelas estações meteorológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A discretização do modelo em minibacias, que são as unidades de cálculo do modelo, é mostrada na FIGURA 1-a. O mapa de Unidades de Resposta Hidrológica (URH), utilizado para a definição dos parâmetros do modelo, é mostrado na FIGURA 1-b.

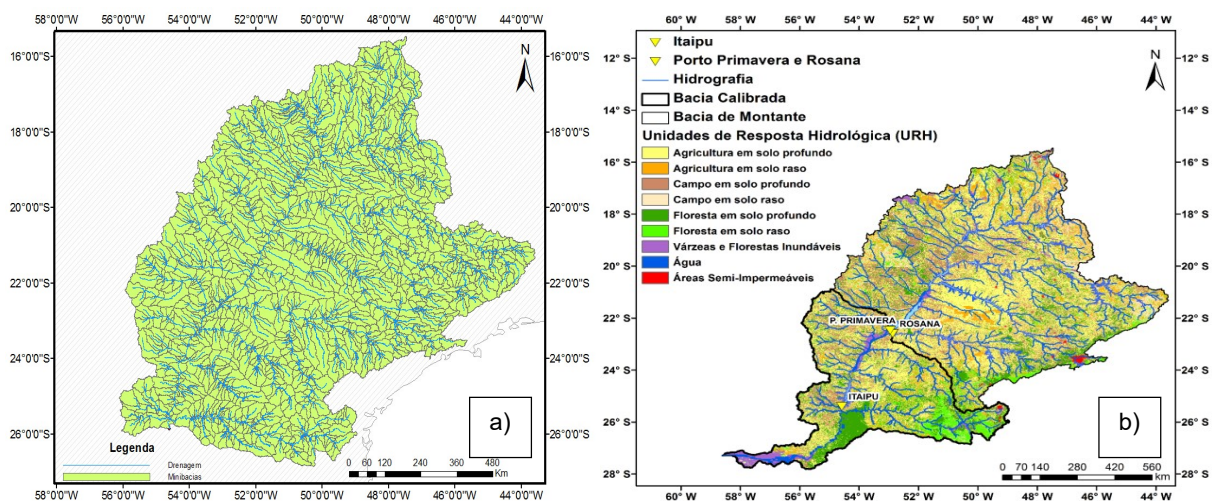


FIGURA 1 – Discretização da bacia para aplicação do modelo hidrológico: (a) Mapa de minibacias; (b) Mapa final de unidades de resposta hidrológica.

De acordo com a disponibilidade dos dados e dos eventos de cheias observados nos hidrogramas, o modelo foi calibrado com dados do período de julho de 2006 a julho de 2014, e verificado com dados do período de julho de 1999 a julho de 2006.

Para propagação das vazões no trecho referente à bacia incremental de Itaipu foi empregado o modelo Inercial (Fan *et al.*, 2014; Pontes *et al.*, 2015), baseado na simplificação das equações de *Saint-Venant*. Para o desenvolvimento deste módulo de propagação foram utilizados dados de vazões defluentes horários das usinas de Porto Primavera e Rosana, seções transversais dos rios levantadas pela equipe de Itaipu, e dados de relevo do modelo digital de elevação da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). A verificação do modelo Inercial foi realizada com dados do período de julho de 2006 a julho de 2014. Os resultados foram comparados ao longo do rio Paraná entre as usinas de Porto Primavera e Itaipu, devido à existência de uma grande planície de inundação. Nos afluentes da bacia incremental a Itaipu, onde as vazões são assimiladas, foi utilizado o modelo com propagação *Muskingum-Cunge*. Mais detalhes sobre como funciona o modelo hidrológico e os procedimentos de previsão e assimilação de dados podem ser obtidos em Pontes *et al.* (2015), Fan *et al.* (2015a) e Fan *et al.* (2015b).

Operacionalmente o sistema foi concebido para utilizar os seguintes dados horários, observados até a última hora, como entradas para a elaboração diária da previsão: (i) precipitações das estações automáticas de Itaipu e do SIMEPAR; (ii) vazões das estações automáticas de Itaipu; (iii) vazões defluentes das usinas de Porto Primavera, Rosana, Itaipu e Salto Caxias¹.

Como dados horários previstos e programados para um horizonte de cerca de 233 horas à frente, de forma a compor o horizonte necessário de 10 dias de previsão, são utilizadas as seguintes informações: (1) programações de defluência das usinas de Porto Primavera, Rosana, Itaipu e Salto Caxias; (2) conjunto de previsões numéricas de precipitação elaboradas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) – modelos ETA-15km e BRAMS-5km – e pelo SIMEPAR – modelo WRF e suas diferentes soluções físicas, denominadas “membros”: Lin, Morrison, WDM6CLASS, e Mediana.

As etapas de calibração, verificação e implantação na rotina operacional do novo sistema de previsão de Itaipu foram desenvolvidas entre outubro de 2014 e novembro de 2015. Paralelamente a este trabalho um novo banco de dados horários estava sendo desenvolvido, denominado BDH (Banco de Dados Hidrológicos), tendo sido concluído em março de 2016 e viabilizando o armazenamento das previsões realizadas pelo sistema MGB-IPH, utilizadas no presente estudo.

3.0 - PRIMEIRAS ANÁLISES DOS RESULTADOS

3.1 Período de Previsões Analisado

O período de utilização do modelo MGB acoplado à nova base de dados BDH iniciou-se em 27 de março de 2016, dispondo-se das previsões numéricas ETA-15km e BRAMS-5km. Já as previsões de precipitação do modelo WRF do SIMEPAR entraram na rotina operacional somente em 4 de agosto de 2016, sendo descontinuadas em junho de 2018. Desta forma, optou-se por utilizar nas análises um período exato de dois anos, iniciando em 1º de maio de 2016 e encerrando em 30 de abril de 2018.

Para este período selecionado, a TABELA 1 apresenta a quantidade de previsões disponíveis, realizadas com cada um dos modelos numéricos, descontando-se o número de dias em que a previsão de precipitação não esteve disponível por algum motivo.

TABELA 1 – Número de Previsões Disponíveis

Modelo Numérico	Início	Fim	Nº de Previsões
ETA-15km	01/05/2016	29/12/2017	592
BRAMS-5km	01/05/2016	30/04/2018	713
WRF-Lin	04/08/2016	30/04/2018	611
WRF-Morrison	04/08/2016	30/04/2018	611
WRF-WDM6CLASS	04/08/2016	30/04/2018	605
WRF-Mediana	04/08/2016	30/04/2018	624

Para o período selecionado a vazão afluente média foi de 11.737 m³/s, com valor máximo diário de 20.576 m³/s e mínimo de 7.617 m³/s. A média de 11.737 m³/s é praticamente idêntica à média histórica de, aproximadamente, 11.700 m³/s (1983-2018), e os valores máximos e mínimos não são considerados excepcionais, indicando que o período testado representa dois anos típicos em termos de afluência ao reservatório.

3.2 A Previsão de Consenso

Diariamente, após a execução de todas as rodadas do MGB com os diferentes modelos numéricos de precipitação, a equipe de previsores de Itaipu visualiza os resultados e elabora então a previsão de consenso, ou “previsão adotada”, que consiste em uma série de valores determinísticos de vazão afluente diária prevista para os dez dias de horizonte de previsão, a qual é enviada à equipe encarregada pela programação hidroenergética da usina de Itaipu.

Para a elaboração da previsão de consenso são consideradas, além das saídas do sistema MGB-IPH, diversas outras informações qualitativas e quantitativas, tais como: (i) dados observados de chuva, tanto das estações de Itaipu quanto aqueles disponibilizados pelo SIMEPAR; (ii) previsões meteorológicas qualitativas de outros modelos, tais como GFS/NOAA, COSMOS/INMET, ECMWF, etc., disponíveis em páginas *web*; (iii) situação hidrológica de momento das bacias hidrográficas monitoradas por Itaipu; (iv) situação hidroenergética das principais sub-bacias do rio Paraná e (v) defluências realizadas e programadas das usinas hidrelétricas de interesse. Dessa forma, a previsão final da afluência ao reservatório da Itaipu tem em si incorporada a interpretação humana e sua intrínseca subjetividade, assim como a sensibilidade e a expertise do previsor.

¹ O modelo MGB-IPH ainda não foi recalibrado após a inclusão da UHE Baixo Iguaçu na cascata do rio Iguaçu. No entanto, tal fato não interfere nos resultados da previsão de afluência, uma vez que o rio Iguaçu se encontra a jusante da UHE Itaipu.

Os gráficos da FIGURA 2 exemplificam duas previsões, realizadas em 01/03/2017 e 23/12/2017, nas quais em ambas as ocasiões a defluência das usinas de montante não sofreu alterações significativas. No dia 01/03/2017, a maioria das saídas do modelo indicava um aumento da vazão afluente à Itaipu de cerca de 9.000 m³/s para aproximadamente 12.000 m³/s em nove dias, o que de fato aconteceu, devido às chuvas ocorridas na bacia incremental a montante. Por outro lado, para a previsão do dia 23/12/2017 existia uma maior divergência das saídas do modelo quanto à data e ao valor do pico da afluência, o qual se deu bem abaixo do que a maioria das previsões de precipitação indicavam. Em ambos os casos, a previsão de consenso (linha vermelha) adotada nestes dias mostrou um resultado razoável para o horizonte em questão, e os valores de afluência observados situaram-se dentro do intervalo de previsões do *ensemble*.

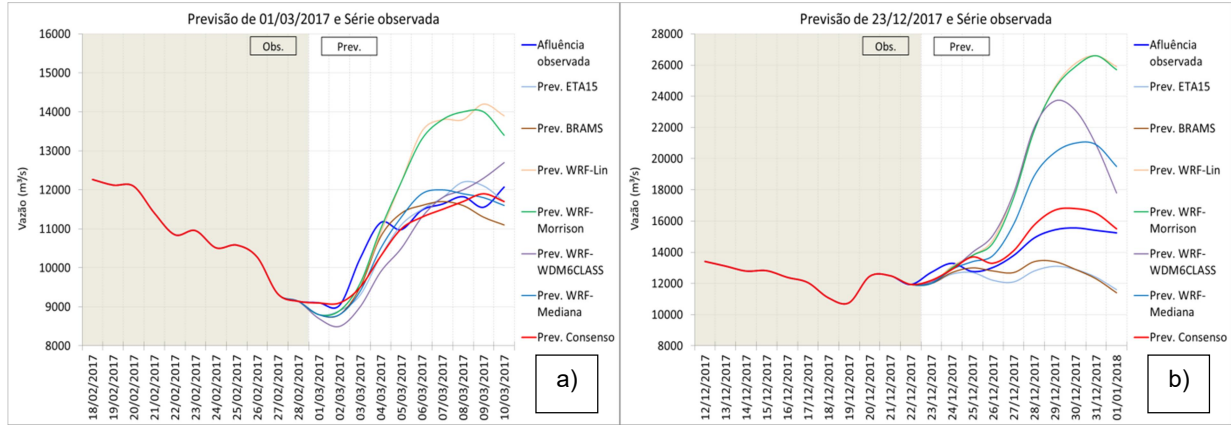


FIGURA 2 – Exemplos de previsões de afluência à UHE Itaipu (saídas do sistema MGB-IPH, previsão de consenso e vazão observada) realizadas em: (a) 01/03/2017; e (b) 23/12/2017.

3.3 Análises Efetuadas

A incerteza nos resultados das previsões de um modelo hidrológico deve-se a vários fatores, entre eles suas condições iniciais, sua estrutura e sua parametrização, além dos seus dados de entrada (Meller, 2012). A abordagem aqui utilizada atribui à previsão meteorológica a principal fonte de incerteza na previsão de vazões, sendo desprezadas outras fontes na geração do conjunto de previsões hidrológicas.

Para verificar o desempenho das previsões do sistema MGB-IPH foi analisado o grau de correspondência entre as previsões realizadas e os valores de afluência observados no período estudado. Para tanto foram empregadas diferentes métricas, afim de se avaliar tanto o desempenho dos modelos numéricos de precipitação individualmente (avaliação determinística), quanto o desempenho desses modelos em conjunto (avaliação probabilística), confrontando-os também com a previsão de consenso adotada pelo previsor.

3.3.1 Avaliação Determinística

Para a avaliação em termos determinísticos utilizou-se os índices estatísticos MAD (Desvio Absoluto Médio) e MAPE (Erro Percentual Absoluto Médio), adequados quando se pretende comparar ajustes obtidos usando-se diferentes métodos, neste caso, diferentes previsões de precipitação. O MAD e o MAPE são calculados pelas Equações 1 e 2, respectivamente.

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (QP_i - QO_i)^2 \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|QP_i - QO_i| \times 100}{QO_i} \quad (2)$$

sendo QP_i e QO_i os valores previsto e observado no dia i , respectivamente, e n o número de previsões analisadas.

A FIGURA 3 apresenta os resultados de desempenho das previsões resultantes de cada modelo de previsão de precipitação analisadas individualmente, em termos de MAD e MAPE, para os 10 dias de horizonte previstos. Para ambos os índices, quanto mais próximo os valores estiverem de zero, melhores são os resultados das previsões.

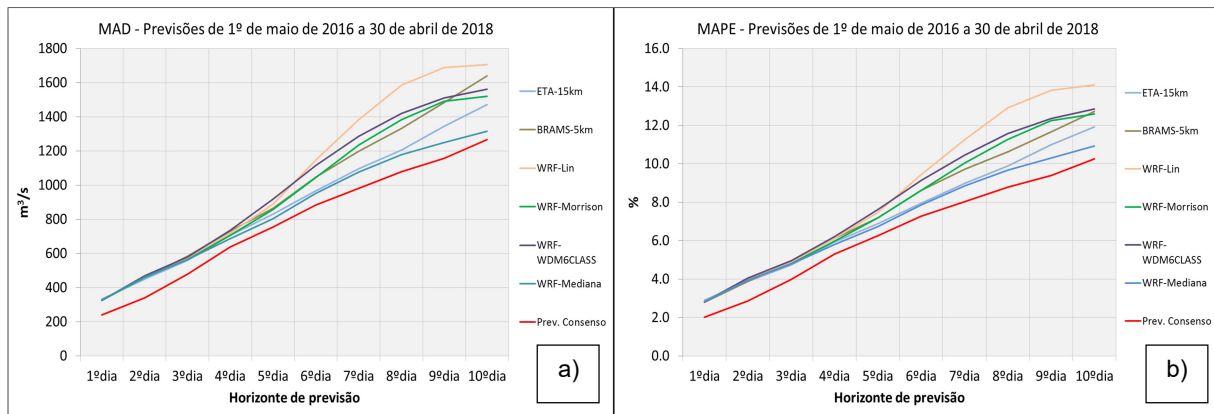


FIGURA 3 – Comparação do desempenho das previsões hidrológicas dos diferentes modelos de precipitação com a previsão de consenso (em vermelho): (a) em termos de MAD e (b) em termos de MAPE.

Para a análise determinística de previsões de vazão por *ensemble*, é usual sumarizar o conjunto de previsões em uma única previsão determinística, sendo comumente utilizada a média do conjunto (Fan, 2015). Dessa forma, realizou-se também a análise de desempenho da média das previsões hidrológicas em termos de MAD e MAPE, confrontando os valores com os da previsão de consenso. Os resultados obtidos são apresentados na FIGURA 4.

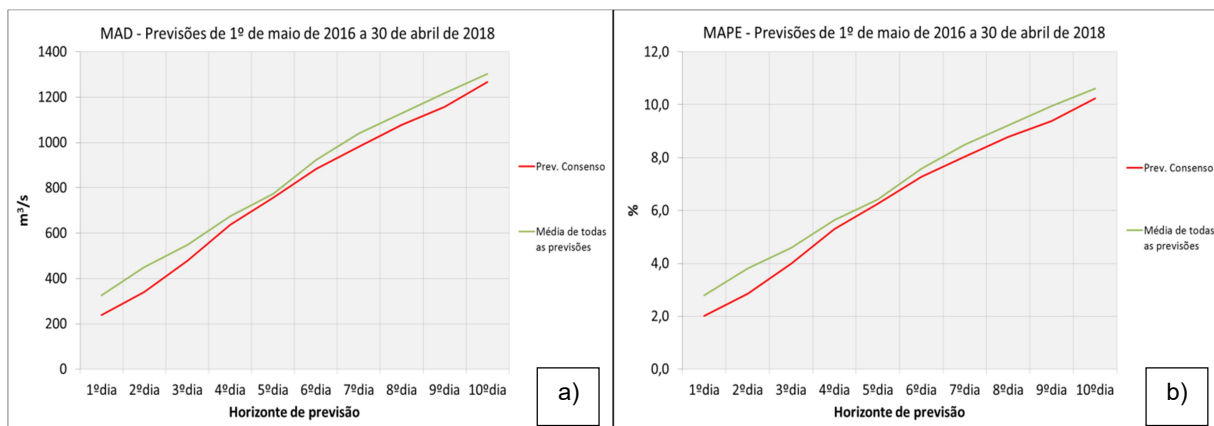


FIGURA 4 – Comparação do desempenho da média das diferentes previsões hidrológicas com a previsão de consenso: (a) em termos de MAD e (b) em termos de MAPE.

As análises realizadas indicam que os desvios das previsões tendem a aumentar com o horizonte de previsão, uma vez que suas incertezas associadas aumentam. Para horizontes menores de previsão os resultados estão condicionados principalmente ao tempo de resposta da bacia a eventos já observados, assim como à própria assimilação de dados do modelo hidrológico. Já para maiores horizontes, as incertezas da própria previsão de precipitação tendem a ficar mais evidentes, o que fica refletido pelo maior espalhamento do conjunto de previsões à medida que se aumenta o horizonte.

Observa-se que, para os três primeiros dias do horizonte de previsão, os modelos de precipitação apresentam estatísticas muito semelhantes quando analisados individualmente, sendo que, para o horizonte do 4º ao 10º dia de previsão, os resultados apontam um melhor desempenho para os modelos numéricos ETA-15km e WRF-Mediana. No entanto, os valores de MAD e MAPE indicam que utilizar a média do conjunto traz melhores resultados do que usar qualquer uma das previsões individualmente.

Ainda assim, para o período analisado o desempenho da previsão de consenso mostra-se superior a todas as previsões individuais e também à média das mesmas, evidenciando o ganho com a adoção da previsão de consenso para todo o horizonte de previsão, principalmente para os três primeiros dias. Com base nisso, destaca-se a relevância da interpretação humana dos resultados do modelo hidrológico e a *expertise* do previsor para a determinação final da afluência prevista.

3.3.2 Avaliação Probabilística

Para a avaliação em termos probabilísticos foram utilizadas as métricas *Brier Score* (BS) e *Brier Skill Score* (BSS), bastante utilizadas neste tipo de análise (Fan, 2015; Meller, 2012).

O *Brier Score* é uma métrica para a avaliação da distribuição das previsões por conjunto que mede o erro médio quadrático da probabilidade de uma previsão para a ocorrência de um evento determinado, como a excedência de um limiar de vazão a ser determinado. Logo, o BS avalia a capacidade do modelo em prever a ultrapassagem dos limiares definidos (Fan, 2015).

O BS representa o erro quadrático das previsões probabilísticas, considerando que o evento ocorra ou não, e tem faixa de variação definida de 0 a 1, sendo que valores próximos de zero indicam melhores resultados. O BS é calculado pela Equação 3:

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (pp_i - po_i)^2 \quad (3)$$

onde n é igual ao número de pares previsão-observação; pp é a probabilidade de ocorrência prevista do evento e po é a probabilidade de ocorrência observada do evento (0 se o evento não ocorreu; 1 se o evento ocorreu). No caso da previsão por conjunto, pp é calculada diretamente pelo número de membros que superam o limiar de vazão dividido pelo número total de membros (Meller, 2012).

O *Brier Skill Score* é uma medida de destreza que mensura o desempenho de uma previsão principal em relação a outra tomada como referência, podendo variar de $-\infty$ a 1. Valores negativos de BSS indicam que a previsão de referência possui desempenho superior à previsão principal em termos de BS. Valores próximos de zero indicam que as previsões principal e de referência possuem desempenho semelhante. O BSS é calculado pela Equação 4:

$$BSS = \frac{BS_p - BS_{ref}}{BS_{perf} - BS_{ref}} = 1 - \frac{BS_p}{BS_{ref}} \quad (4)$$

onde BS_p é o valor de BS para a previsão principal; BS_{ref} é o valor de BS para a previsão de referência e BS_{perf} é o valor de BS para a previsão perfeita, igual a zero. Neste caso, está se avaliando o desempenho da previsão por conjunto (*ensemble*) em relação à previsão de consenso, assumida aqui como previsão determinística de referência.

Para a realização das análises de ultrapassagem de limiar foram selecionados limiares de vazão de interesse para a afluência ao reservatório de Itaipu, resumidos na TABELA 2.

TABELA 2 – Limiares de vazão afluente ao reservatório analisados.

Vazão limite (m³/s)	Quantil*	Descrição
9.427	25%	1º quartil
10.597	50%	2º quartil (mediana)
11.700	68%	Vazão média de longo termo (MLT)
12.389	75%	3º quartil
14.000	86%	Limiar considerado como "cheia" ao reservatório

*Calculado com base na série de dados de vazão diários (1983-2018) de afluência ao reservatório de Itaipu.

Os resultados obtidos em termos de *Brier Score* e de *Brier Skill Score* podem ser visualizados na FIGURA 5 e na FIGURA 6, respectivamente.

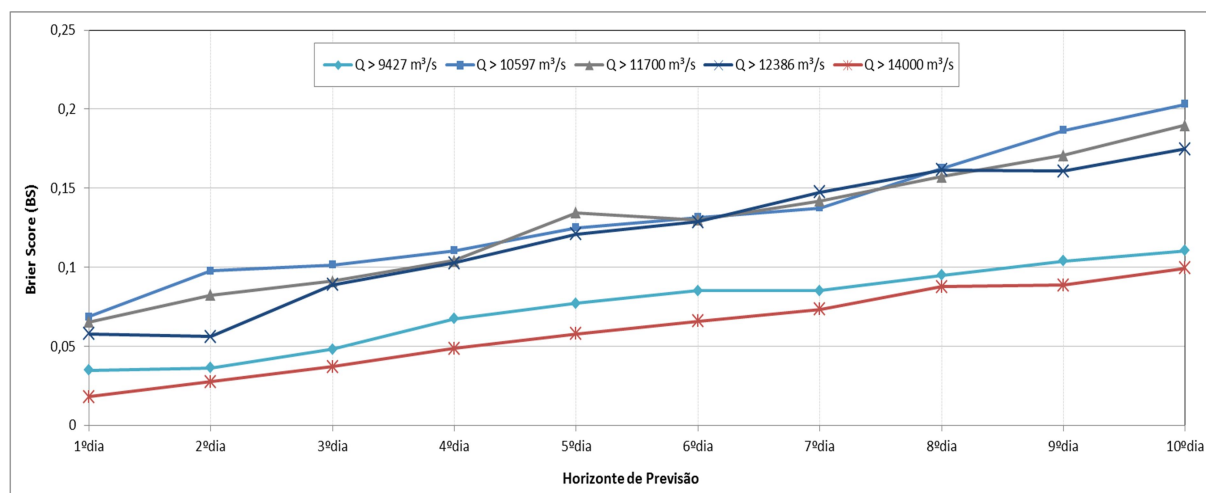


FIGURA 5 – *Brier Score* (BS) para o conjunto de previsões (*ensemble*).

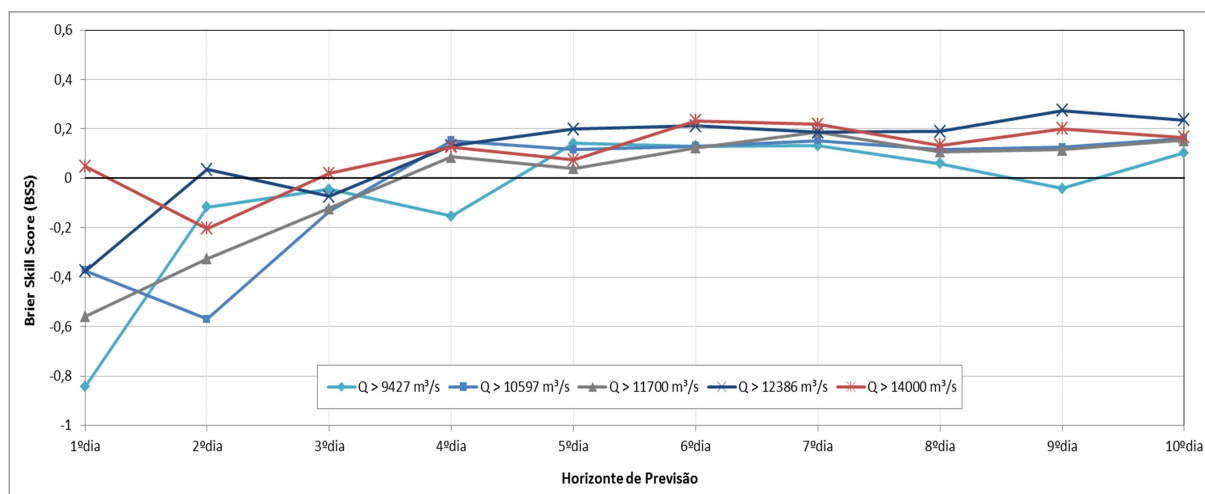


FIGURA 6 – Brier Skill Score (BSS) entre o conjunto de previsões e a previsão referência (previsão de consenso).

Assim como para as métricas determinísticas de desempenho analisadas no Item 3.3.1, na análise do *Brier Score* os erros aumentam com o aumento do horizonte de previsão. Para os três primeiros dias previstos o BS apresenta valores bastante baixos (menores ou iguais a 0,1), indicando a boa confiabilidade do *ensemble* para tal horizonte, uma vez que este é mais dependente das condições observadas e do tempo de concentração da bacia. Do 4º dia em diante os valores de BS sofrem aumentos mais significativos em todas as faixas de vazão, indicando um aumento das incertezas no horizonte, mas ainda assim se mantêm abaixo do valor de 0,2. Percebe-se também que, para os limiares extremos de vazão analisados (9.427 m³/s e 14.000 m³/s), os valores de BS são inferiores aos dos demais limiares. Isso não se deve necessariamente ao fato de o desempenho das previsões ser melhor para tais magnitudes de vazão, mas pode estar relacionado ao fato de a amostra de dados ser menor para estes casos se comparada aos outros limiares de vazão analisados.

Com relação aos resultados obtidos para o *Brier Skill Score* percebe-se que, em termos probabilísticos, a previsão de consenso tende a apresentar melhores resultados do que as previsões por conjunto nos primeiros três dias do horizonte de previsão, indicado pelos valores negativos de BSS neste período. A partir do 4º dia o *ensemble* tende a apresentar melhores resultados, indicado pelo aumento nos valores de BSS. Neste horizonte, percebe-se que os valores de BSS encontram-se bastante próximos de zero para todos os limiares de vazão analisados, o que indica o predictor tem utilizado de forma assertiva as informações contidas no *ensemble* para a definição da previsão determinística de consenso.

4.0 - CONCLUSÕES

As análises efetuadas permitem concluir que, como já esperado, há um aumento nas incertezas das previsões hidrológicas à medida que se amplia a antecedência das mesmas, conforme evidenciado pelas métricas apresentadas neste estudo. Para antecedências menores, neste caso para os três primeiros dias de previsão, os resultados estão condicionados principalmente ao tempo de resposta da bacia a eventos já observados e à maior influência da assimilação de dados do modelo hidrológico. Além do aumento da incerteza nas previsões de precipitação, do terceiro dia em diante está englobada também a incerteza das descargas das usinas a montante de Itaipu, cujas diferenças entre o valor programado – utilizado como dado de entrada do modelo hidrológico – e o de fato realizado impactam diretamente nas previsões da afluência.

As avaliações probabilísticas do Item 3.3.2 evidenciam os bons resultados obtidos com a utilização da previsão por conjunto, o que demonstra que foi assertiva a decisão de Itaipu em passar a elaborar previsões por *ensemble*, uma vez que estas buscam englobar as diversas incertezas associadas à previsão meteorológica. Com base nisso, a equipe de hidrologia da Itaipu tem procurado investir na obtenção de novas previsões de precipitação, geradas por outros modelos meteorológicos além dos atualmente utilizados, para dar maior robustez à previsão de vazões por conjunto e à consequente tomada de decisão por parte do predictor.

Com base no que foi exposto, fica evidente a necessidade de mudanças na forma como é definida e divulgada a previsão de afluência, passando da forma determinística (um único valor) à probabilística (uma faixa de valores), a fim de se incorporar a ela as incertezas associadas. Para tanto, a determinação da previsão de afluências pela equipe de hidrologia da Itaipu tem caminhado para a definição de uma faixa de possíveis valores de vazão para cada horizonte de previsão, com o propósito de compreender os possíveis cenários de afluência futuros. Paralelo a isso, a forma de avaliação do desempenho dessas previsões deve progredir para análises probabilísticas como as efetuadas no Item 3.3.2, mais adequadas para esse tipo de previsão.

O desafio que se tem agora é o de incorporar as demais incertezas relativas ao processo de previsão, tais como aquelas relacionadas ao próprio modelo hidrológico e à sua capacidade de representação da física real da bacia, assim como a incerteza dos demais dados de entrada, como dados observados e programações de defluência das usinas. O objetivo é que o espalhamento do conjunto de previsões seja capaz de compreender a maior parte das observações, indicando que todas as incertezas estão compreendidas na previsão, e que estão sendo levadas em conta na tomada de decisão sobre os possíveis cenários de vazão afluente para o horizonte previsto.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 2.
- (2) FAN, F. M. (2015) Previsão por Conjunto de Vazões Afluentes a Reservatórios em Grandes Bacias Hidrográficas Brasileiras. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 384p.
- (3) FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. ; PONTES, P. R. M. ; PAIVA, R. C. D. (2014). Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, p. 137-147.
- (4) FAN, F. M.; MELLER, A.; COLLISCHONN, W. (2015b). Incorporação de filtro numérico de separação de escoamento na assimilação de dados para previsão de vazões utilizando modelagem hidrológica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, p. 472-483.
- (5) FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W. (2016). Hydrological Forecasting Practices in Brazil. In: Thomas E Adams; Thomas C. Pagano. (Org.). *Flood Forecasting: A Global Perspective*. 1ed.: Academic Press, v. 1, p. 41-66.
- (6) FAN, F. M.; SCHWANENBERG, D.; COLLISCHONN, W.; WEERTS, A. (2015a). Verification of inflow into hydropower reservoirs using ensemble forecasts of the TIGGE database for large scale basins in Brazil. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 4, p. 196-227.
- (7) GUILHON, L.G.F.; ROCHA, V.F.; MOREIRA, J.C. (2007). Comparação de métodos de previsão de vazões naturais afluentes a aproveitamentos hidroelétricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 3, p. 13-20.
- (8) MELLER, A. (2012) Previsão de Cheias por Conjunto em Curto Prazo. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 204p.
- (9) PONTES, P. R. M. ; COLLISCHONN, W. ; FAN, F. M. ; PAIVA, R. C. D. ; BUARQUE, D. C. (2015). Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões / Hydrologic and hydraulic large-scale modeling with inertial flow routing. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, p. 888-904.
- (10) SIQUEIRA, VINÍCIUS ALENCAR ; COLLISCHONN, WALTER ; Fan, Fernando Mainardi ; CHOU, SIN CHAN. (2016) Ensemble flood forecasting based on operational forecasts of the regional Eta EPS in the Taquari-Antas basin. *RBRH*, v. 21, p. 587-602.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Mariana Maria Werlang

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Atua na Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos (OPSH.DT) da ITAIPU Binacional desde outubro de 2016.