

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

PREVISÃO DE VAZÃO EM HORIZONTE SUB SAZONAL NA BACIA DO RIO IGUAÇU UTILIZANDO A PREVISÃO DO MODELO ECMWF

Cássia S. Aver Paranhos¹; Camila Freitas²; Cleber Gama³; Erik Quedi⁴ & Fernando Mainardi Fan⁵

Abstract: Within the scope of the Brazilian electricity sector, predicting future streamflow is crucial for decision-making in reservoir hydraulic operation and energy planning, considering that hydroelectric generation represents approximately 60% of the installed capacity. The current scenario of hydroclimatic forecasting involves the increasing use of deterministic hydrological models and precipitation data from meteorological models to predict river discharge. These predictions are made available for different time horizons, such as short-term (hours to two weeks), subseasonal (2 to 7 weeks), and seasonal (2 to 12 months).

This article presents the analysis of the performance of subseasonal precipitation forecasts obtained from the EMCWF model data. The study focuses on the Iguaçú River basin, which accounts for a significant portion of the energy capacity in the southern region and the stored energy in the Southern subsystem. The SMAP/ONS hydrological model was used to obtain flow forecasts for the sub-basins União da Vitória, Salto Osório, and Salto Cataratas, with two bias removal scenarios analyzed: one using observed data from the pluviometric network and another using data from the ECMWF Reanalysis v5 (ERA5).

The results suggest that bias removal of ECMWF forecast data, whether through the pluviometric network or ERA5 data, can improve the accuracy of flow forecasts. However, the Qb scenario, which does not consider bias removal, presented comparable or even better results in some cases.

Resumo: No âmbito do setor elétrico brasileiro, a previsão da vazão afluente futura é uma informação importante para a tomada de decisão na operação hidráulica de reservatórios e no planejamento energético, considerando que a geração hidráulica representa cerca de 60% da potência instalada. O cenário atual de previsão hidroclimática envolve o uso crescente de modelos hidrológicos determinísticos e precipitação provenientes de modelos meteorológicos para prever a vazão dos rios. Essas previsões são disponibilizadas para diferentes horizontes temporais, como curto prazo (horas a duas semanas), sub sazonal (2 a 7 semanas) e sazonal (2 a 12 meses).

Neste artigo é apresentada a análise do desempenho das previsões de precipitação sub sazonal obtidas a partir dos dados do modelo EMCWF. O estudo se concentra na bacia do rio Iguaçú, que representa uma parte significativa da capacidade energética da região Sul e da energia armazenada no subsistema Sul. Foi utilizado o modelo hidrológico SMAP/ONS para obter as previsões de vazão para as sub-bacias de União da Vitória, Salto Osório e Salto Cataratas, sendo analisados dois cenários de remoção de viés: um utilizando os dados observados da rede pluviométrica e outro utilizando os dados do ECMWF Reanalysis v5 (ERA5).

Os resultados sugerem que a remoção de viés dos dados de previsão do ECMWF, seja através dos dados da rede pluviométrica ou do ERA5, pode melhorar a precisão das previsões de vazão. No entanto, o cenário Qb, que não considera a remoção de viés, apresentou resultados comparáveis ou até melhores em alguns casos.

Palavras-Chave – Previsão de vazão, ECMWF, SMAP/ONS, ERA5, remoção de viés

1) Companhia Paranaense de Energia - COPEL, cassia.aver@copel.com

2) Companhia Paranaense de Energia - COPEL, camila.freitas@copel.com

3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), cleber.hag@gmail.com

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

5) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), fernando.fan@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

No âmbito do setor elétrico brasileiro o conhecimento da vazão afluyente futura é importante informação para a tomada de decisão da operação hidráulica de reservatórios e para o planejamento energético, dada a composição da matriz energética do Brasil, em que a fonte de geração hidráulica corresponde atualmente a cerca de 60 % da potência instalada no país, e a integração de todo o sistema de geração e transmissão de energia, o Sistema Interligado Nacional (SIN) que abrange 99% de todo o território nacional (Castanharo et al., 2001; ONS, 2023).

Dada a complexidade do SIN, a coordenação das atividades de Planejamento Energético e Programação da Operação das demandas energéticas em todo o território nacional é realizada de forma centralizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). O objetivo do Planejamento Energético é a minimização do valor esperado do custo da operação ao longo do horizonte de estudo, mediante otimização do uso dos recursos hídricos disponíveis para geração hidroenergética, sendo a previsão de vazão afluyente aos reservatórios dos empreendimentos de geração hidrelétrica, em diferentes escalas temporais, que compreendem o SIN informação de grande importância para a operação do sistema, de forma que possibilita a otimização dos recursos hídricos e energéticos, para atendimento às diversas demandas sociais envolvidas.

No atual cenário de previsão hidroclimática é crescente a utilização de modelos hidrológicos determinísticos do tipo chuva-vazão, que têm como entrada os dados de previsão de precipitação, obtidos de modelos meteorológicos para previsão numérica do tempo (PNT) disponibilizadas por diferentes centros meteorológicos (Fan et al., 2017; Silva et al., 2006). As previsões oriundas destes modelos são disponibilizadas para diferentes tempos de antecedência futura: curto, médio e longo prazo. A previsão de curto prazo corresponde ao horizonte de poucas horas até duas semanas, a sub sazonal corresponde ao horizonte de 2 a até 7 semanas e sazonais com horizonte de 2 a até 12 meses (Quedi, 2019; White et al., 2017).

Neste contexto, o projeto “PD-06491-0503/2018 - Título: Previsão Hidroclimática com Abrangência no Sistema Interligado Nacional de Energia Elétrica” vem sendo desenvolvido em colaboração com as instituições Sistema Meteorológico do Paraná - SIMEPAR e consultoria RHAMA para COPEL Geração e Transmissão S.A. - COPEL GeT, e apoio do IPH/UFRGS, com o objetivo de investigar o uso de previsões de precipitação em múltiplos horizontes de previsão para geração de aflúências futuras a partir de modelos hidroclimáticos para os reservatórios do SIN.

Assim, a proposta do presente artigo é apresentar, como parte dos resultados do citado projeto, a análise do desempenho da previsão de precipitação sub sazonal obtida a partir dos dados de previsão de precipitação do EMCWF, com ênfase na remoção de viés na previsão de vazão. Foram avaliadas as previsões de vazão para locais selecionados da bacia do rio Iguaçu, obtidas a partir do modelo SMAP/ONS, considerando três diferentes cenários: dados brutos; remoção de viés a partir de dados da rede de pluviômetros; e remoção de viés a partir de dados de reanálise do ERA5.

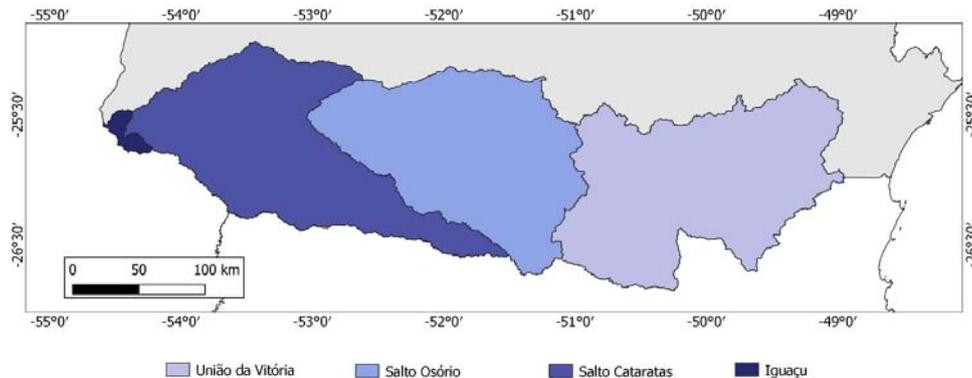
ÁREA DE ESTUDO

Localizada na região sul do estado do Paraná, a área total da bacia do rio Iguaçu é 68.800 km², dividida entre as unidades do Alto, Médio e Baixo Iguaçu. No contexto energético, a bacia do rio Iguaçu representa cerca de 48% da capacidade energética da região Sul, no âmbito do SIN. Além disso, a bacia do rio Iguaçu é a mais representativa em relação à energia armazenada (EAR) no subsistema Sul, correspondendo a 51% da EAR para este subsistema (Castanharo et al., 2005; EPE, 2023).

A bacia do rio Iguaçu foi dividida em três sub-bacias, a partir das unidades Alto, Médio e Baixo Iguaçu, sendo: Alto Iguaçu a região a montante do posto fluviométrico de União da Vitória; Médio Iguaçu a região entre o posto fluviométrico de União da Vitória e a barragem da UHE Salto

Osório; e Baixo Iguaçu a região entre a barragem da UHE Salto Osório e o posto fluviométrico de Salto Cataratas, conforme apresentado na Figura 1 .

Figura 1: Sub-bacias selecionadas para o estudo: União da Vitória, Salto Osório e Salto Cataratas



METODOLOGIA

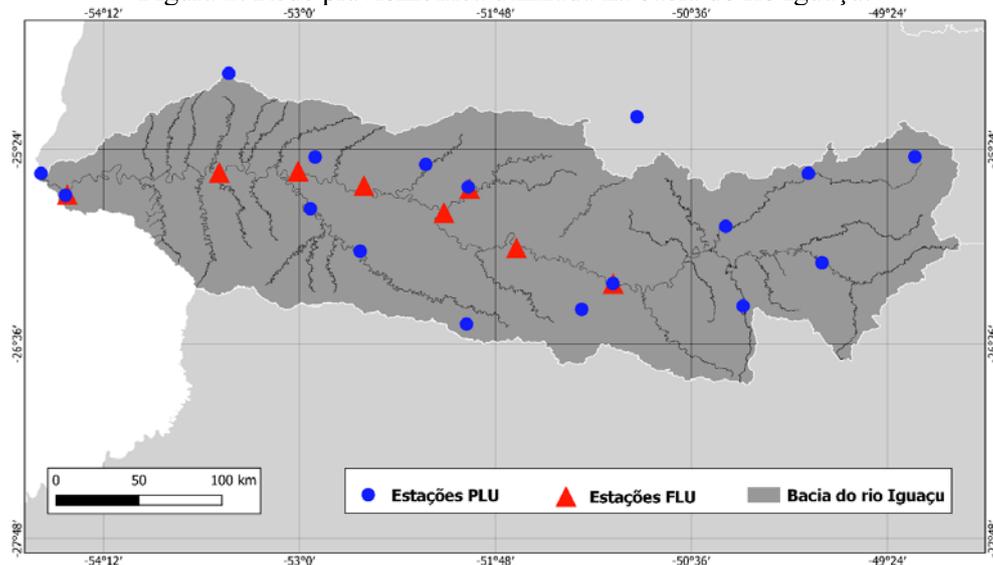
A análise desenvolvida teve como premissa a utilização do modelo hidrológico SMAP/ONS para obter as previsões de vazão para os locais dos empreendimentos de geração hidrelétrica da bacia do rio Iguaçu. O Soil Moisture Accounting Procedure (SMAP) consiste em um modelo determinístico, conceitual e semi-concentrado, de simulação hidrológica do tipo chuva-vazão, que foi desenvolvido por (Lopes et al., 1982).

A estrutura da versão original do SMAP é constituída por três reservatórios lineares hipotéticos representando o reservatório do solo (R_{solo}), o reservatório da superfície (R_{sup}), correspondente ao escoamento superficial da bacia e o reservatório subterrâneo (R_{sub}), correspondente ao escoamento subterrâneo (escoamento de base) (Lopes et al., 1982).

Visando uma melhor adaptação às características específicas de diversas bacias, o modelo diário SMAP/ONS possui alguns aprimoramentos metodológicos e diferenças de aplicação do SMAP original (ONS, 2017).

Para as etapas de calibração e validação do modelo SMAP/ONS foram calculadas as precipitações médias para as sub-bacias selecionadas a partir de uma rede composta por 18 estações (Figura 2) pluviométricas com a utilização do Método de Thiessen.

Figura 2: Rede pluviométrica utilizada na bacia do rio Iguaçu.



Os dados de previsão de precipitação utilizados foram obtidos a partir da base de dados disponibilizada pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF*, que fazem

parte do projeto *Subseasonal-to-Seasonal* (S2S), iniciativa das entidades WWRP/THORPEX-WCRP (descrever), disponíveis em <https://apps.ecmwf.int/datasets/> (ECMWF, 2021b). A versão do modelo meteorológico desenvolvido pelo ECMWF, é um modelo global de circulação (GCM), que integra 51 membros no conjunto, sendo um a partir de condições iniciais não perturbadas (membro de controle). As previsões são emitidas em tempo real duas vezes por semana (segundas e quintas, UTC 00), com prazo de antecedência máximo de 46 dias. Os dados são disponibilizados em formato escala global, com tamanho de grade variável (originalmente armazenadas com 1.5 x 1.5 graus decimais e interpolada), no formato NetCDF (Common Data Form).

Além disso, o ECMWF disponibiliza dados de previsão histórica (“hindcast” ou “re-forecast”) com o mesmo horizonte de previsão dos modelos operacionais e conjunto composto por 11 membros. Estes dados são atualizados duas vezes por semana e cobrem os últimos 20 anos, ou seja, são geradas previsões para o mesmo dia e mês do calendário para os últimos 20 anos, resultando em um conjunto de 220 cenários climáticos (correspondente aos cenários dos 11 membros dos últimos 20 anos) (ECMWF, 2021a). Considerando que cada membro do conjunto de reforecasts do ECMWF é gerado com o mesmo sistema de previsão (com as mesmas equações e parametrizações físicas), eles podem ser assumidos como igualmente prováveis e, portanto, compor a amostra para ajuste.

A remoção do viés dos dados de precipitação disponibilizados pelo ECMWF foi desenvolvida com a metodologia denominada mapeamento quantil-quantil (*Quantile-Quantile mapping*) baseada na comparação das funções cumulativas de probabilidade (curvas que mostram a probabilidade da variável ser menor ou igual a um determinado valor) da variável observada e da variável estimada por um modelo climático no período atual (“hindcast”). O ajuste determinado no presente, a partir dos valores observados e dos valores gerados pelo hindcast, é então assumido que vale também para o futuro (Lima et al., 2014).

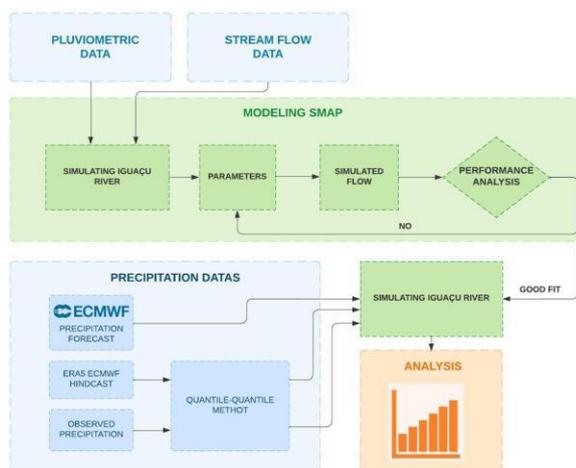
Os dados de precipitação observados utilizados foram obtidos de duas fontes: dados do ERA5 (ECMWF Reanalysis v5), que consiste em um modelo de reanálise atmosférica, que fornece estimativas de variáveis climáticas atmosféricas, terrestres e oceânicas em escala global, abrangendo o período de janeiro de 1940 até o presente (ECMWF, 2021b) e dados de precipitação obtidos a partir da rede pluviométrica selecionada.

Para obter a previsão de precipitação foram selecionados os pontos de grade com influência na precipitação prevista para a bacia do rio Iguaçu, a partir dos quais foram obtidas as previsões de precipitação média para cada uma das sub-bacias selecionadas, considerando a área de influência de cada ponto de grade. A mesma metodologia foi utilizada para obter a chuva observada dos dados do ERA5.

A avaliação do desempenho das previsões de vazão realizadas em horizonte sub sazonal foi realizada a partir de duas abordagens: uma com o objetivo de avaliar a contribuição da remoção de viés a partir de diferentes fontes de dados observados; e outra avaliando o desempenho da previsão neste horizonte (15 a 46 dias). Assim, foram realizadas simulações utilizando os dados de previsão de precipitação total diária do ECMWF, obtidos a partir da reamostragem para uma grade de 0.5°, compreendendo o período de 01-01-2017 a 11-12-2019, totalizando 312 simulações. Para avaliar a remoção de viés e quantificar o efeito desta etapa na previsão de vazão foram utilizados três diferentes cenários: precipitação bruta; precipitação corrigida a partir dos dados históricos da rede pluviométrica; precipitação corrigida a partir dos dados de reanálise (ERA5). Para tanto, foram utilizadas as métricas *Root Mean Square Error* – logarítmico (RMSE-log), *Mean Absolut Error* (MAE), *Mean Relative Error* (MRE) e *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE).

A Figura 3 apresenta um fluxograma com as etapas metodológicas desenvolvidas para o presente trabalho.

Figura 3: Fluxograma com as etapas metodológicas desenvolvidas para o presente trabalho.



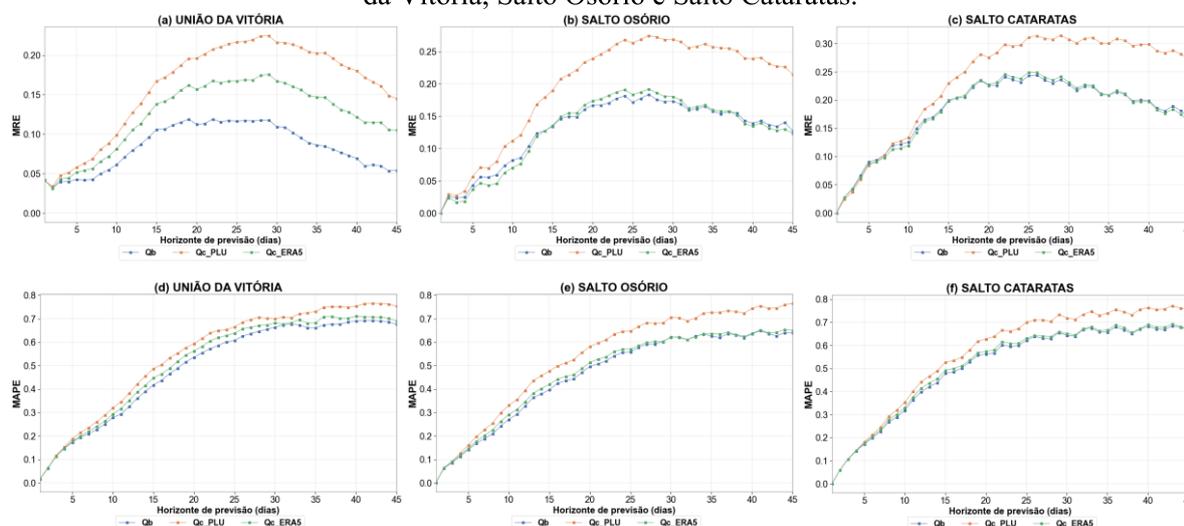
RESULTADOS

Os resultados são apresentados, em um primeiro momento, para as análises dos diferentes cenários analisados, sendo: Q_b a vazão bruta obtida a partir da previsão de precipitação do ECMWF; Q_c_PLU a vazão obtida a partir da previsão do ECMWF com remoção de viés a partir dos dados da rede pluviométrica disposta ao longo da bacia do rio Iguaçu (Figura 2); e Q_c_ERA5 a vazão obtida a partir da previsão do ECMWF com remoção de viés a partir dos dados do ERA5. Na sequência são apresentados os resultados das análises para o horizonte da semana 3 a 6 das previsões, com o objetivo de avaliar o desempenho das previsões em horizonte sub sazonal.

Avaliação da contribuição da remoção de viés para as previsões

Na Figura 4 são apresentados os valores das métricas de desempenho MRE e MAPE, obtidos para as sub bacias selecionadas, para ambos os cenários analisados (Q_b , Q_c_PLU e Q_c_ERA5). Os resultados são mostrados considerando o horizonte de 46 dias, em escala diária para as sub bacias selecionadas. A métrica MRE fornece o erro relativo entre os volumes observados e simulados ao longo do horizonte de previsão, sendo observado o aumento dos erros até, aproximadamente o horizonte do dia 25, e o decréscimo dos valores de MRE para o final do horizonte da previsão.

Figura 4: Resultados de MRE e MAPE para os cenários Q_b , Q_c_PLU e Q_c_ERA5 para sub-bacias de União da Vitória, Salto Osório e Salto Cataratas.



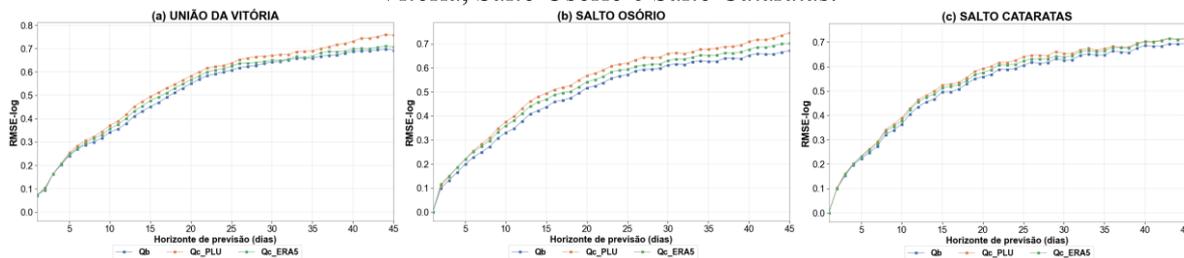
Para as três sub bacias analisadas, ao avaliar os valores de MAPE (Figura 4a, 4b e 4c), o aumento do horizonte de previsão também implica em um aumento de erros. Apenas para a sub bacia

de União da Vitória foi observado uma diferença nos valores de MRE entre os cenários Qb e Qc_ERA5 (Figura 4a). Para as demais bacias, os valores de MRE são muito próximos entre os cenários Qb e Qc_ERA5. Por outro lado, foi observado para todas as sub-bacias uma diferença significativa entre o cenário Qc_PLU e os cenários Qb e Qc_PLU, sendo que estes últimos apresentaram menores valores de MRE e MAPE.

A métrica RMSE-log também foi utilizada para avaliar as previsões ao longo do horizonte de previsão (Figura 5) e para desempenhos das previsões para os trimestres DJF, MAM, JJA e SON (Figura 6), sendo utilizada para uma avaliação dos erros relativos, pois em sua forma logarítmica não penaliza grandes diferenças entre as vazões previstas e observadas.

Assim como para as demais métricas avaliadas, para a métrica RMSE-log observou-se melhores desempenhos para todos os cenários no início do horizonte da previsão. Em todas as sub-bacias não houve diferença significativa dos valores da métrica para os diferentes cenários, contudo ainda é possível observar um desempenho ligeiramente inferior para o cenário Qc_PLU ao avaliar os horizontes máximos da previsão nas sub-bacias de União da Vitória e de Salto Osório (Figura 5a e 5b), com valores acima de 0.7.

Figura 5: Resultados de RMSE-log para os cenários Qv, Qc_PLU e Qc_ERA5 para sub-bacias de União da Vitória, Salto Osório e Salto Cataratas.



Os resultados apresentados acima, contudo, referem-se à síntese das previsões geradas ao longo de todo o ano. Ao avaliar os valores de RMSE-log considerando os diferentes trimestres em que foram geradas as previsões, observa-se diferentes desempenhos para os cenários avaliados (Figura 6).

Observa-se para o cenário Qc_PLU a degradação do desempenho aproximadamente linear para as diferentes sub-bacias e em todos os trimestres, diferente dos cenários Qb e Qc_ERA5, em que se observa, por exemplo, para a sub-bacia de União da Vitória redução no desempenho até o horizonte de previsão de 20 dias, e melhora no desempenho para os próximos dias do horizonte de previsão (Figura 6g e 6j). Para os cenários Qc e Qc_ERA5 é observado um comportamento semelhante nos cenários Qb e Qc_ERA5, mesmo para os trimestres em que há diferenças no desempenho entre estes cenários (Figura 6g, 6h e 6i).

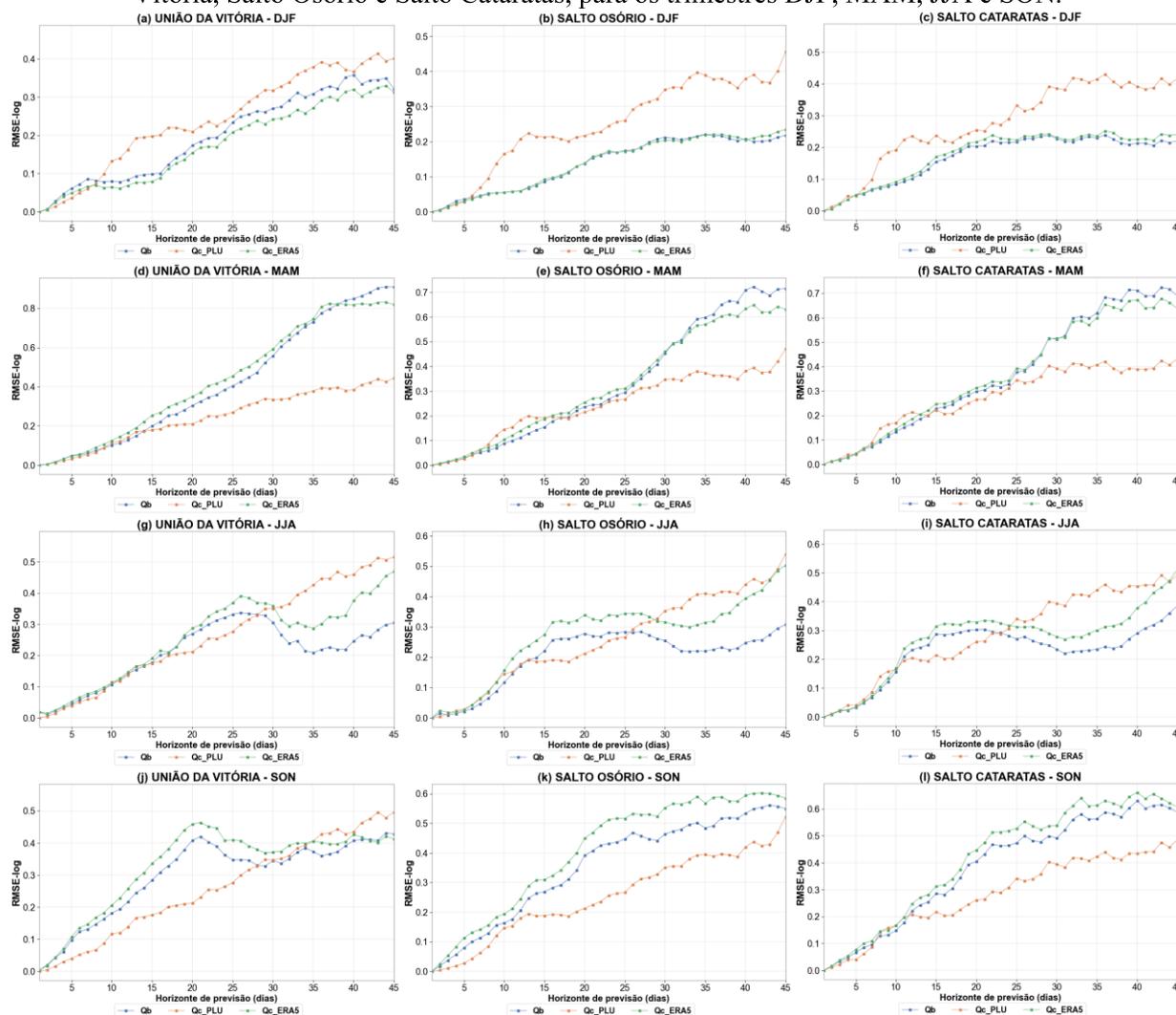
Para as previsões geradas no trimestre DJF (Figuras 6a, 6b e 6c), o cenário Qc_PLU apresentou um desempenho inferior aos demais cenários em todo o horizonte de previsão sub-sazonal. O cenário Qc_ERA5, contudo, apresentou resultados muito próximos do cenário Qb, sendo ligeiramente superior em União da Vitória e ligeiramente inferior em Salto Cataratas.

Ao avaliar as previsões geradas no trimestre JJA (Figuras 6g, 6h e 6i), Qb e Qc_ERA5 apresentaram uma melhoria no desempenho a partir do horizonte de previsão de 25 dias. Neste caso, o cenário Qc_PLU apresentou melhor desempenho entre os dias 15 e 25 do horizonte de previsão.

Por outro lado, nos trimestres MAM e SON foram observadas as maiores diferenças entre o cenário Qc_PLU e os cenários Qb e Qc_ERA5. Para MAM essas diferenças se deram a partir do dia 15 para a sub-bacia de União da Vitória (Figura 6d) e do dia 25 para as sub-bacias de Salto Osório e Salto Cataratas (Figura 6e e 6f). Para o trimestre SON, em Salto Osório e em Salto Cataratas (Figuras 6k e 6l) o cenário Qc_PLU apresentou um melhor desempenho em todo o horizonte sub-sazonal. Em União da Vitória (Figura 6j) essa diferença se manteve dos horizontes iniciais até o dia 28 do horizonte de previsão.

De forma geral, observa-se que o cenário Qc_ERA5 não apresentou diferença significativa de desempenho para o cenário Qb. Nos casos em que houve uma maior diferença (Figuras 6g a 6l), a correção gerou uma pequena degradação no desempenho das previsões.

Figura 6: Resultados de RMSE-log para os cenários Qv, Qc_PLU e Qc_ERA5 para sub-bacias de União da Vitória, Salto Osório e Salto Cataratas, para os trimestres DJF, MAM, JJA e SON.



Avaliação do desempenho da previsão em horizonte sub sazonal

Para avaliar o desempenho das previsões em horizonte sub sazonal foi realizada a análise das previsões correspondentes às semanas 3, 4, 5 e 6 do horizonte de previsão.

Nas Figuras 7, 8 e 9 são apresentados os hidrogramas diários, da vazão observada naturalizada e das vazões e previstas pelos diferentes cenários (Qb, Qc_PLU e Qc_ERA5) para as sub bacias de União da Vitória, Salto Osório e Salto Cataratas. Os hidrogramas das vazões previstas foram gerados a partir do concatenamento sequencial de previsões das semanas 3 a 6, ou seja, as previsões das semanas 1 e 2 não foram utilizadas.

A partir de uma análise visual dos hidrogramas de vazão observada naturalizada e das vazões previstas para os diferentes cenários, observa-se um comportamento semelhante para os hidrogramas dos cenários Qb e Qc_ERA5. Além disso, é possível observar para o cenário Qc_PLU a tendência de subestimar as vazões no trimestre DJF, o que pode estar relacionado com o pior desempenho deste cenário, em relação aos demais, para estes períodos conforme apresentado na Figura 6.

Figura 7: Hidrograma da vazão observada naturalizada e das vazões previstas para os cenários Qb, Qc_PLU e Qc_ERA5 para a sub bacia de União da Vitória.

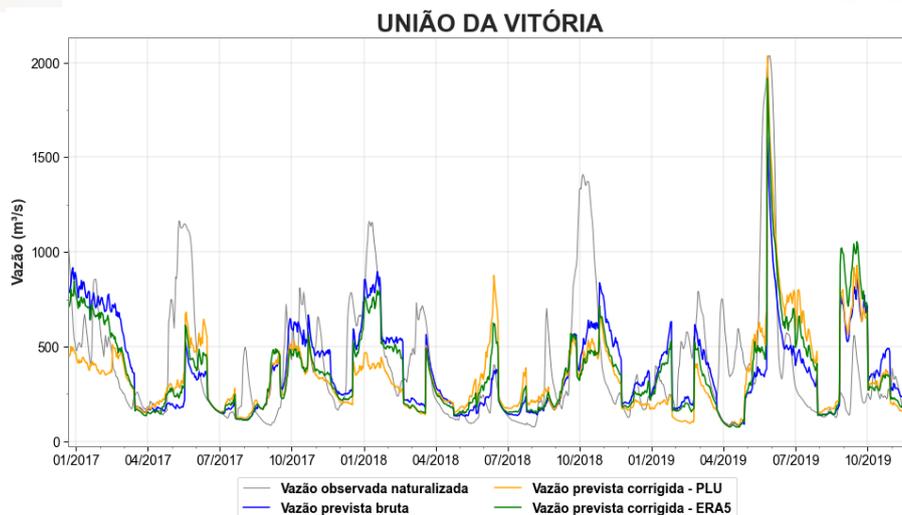


Figura 8: Hidrograma da vazão observada naturalizada e das vazões previstas para os cenários Qb, Qc_PLU e Qc_ERA5 para a sub bacia Salto Osório.

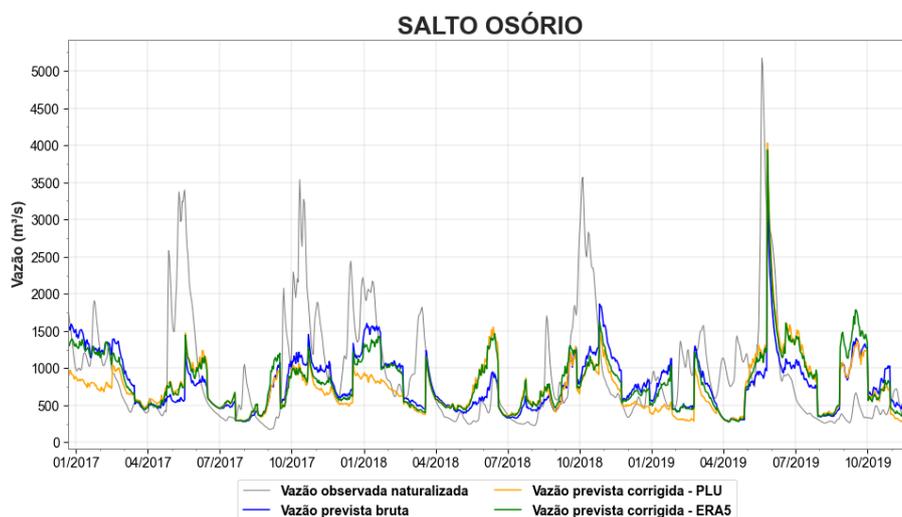
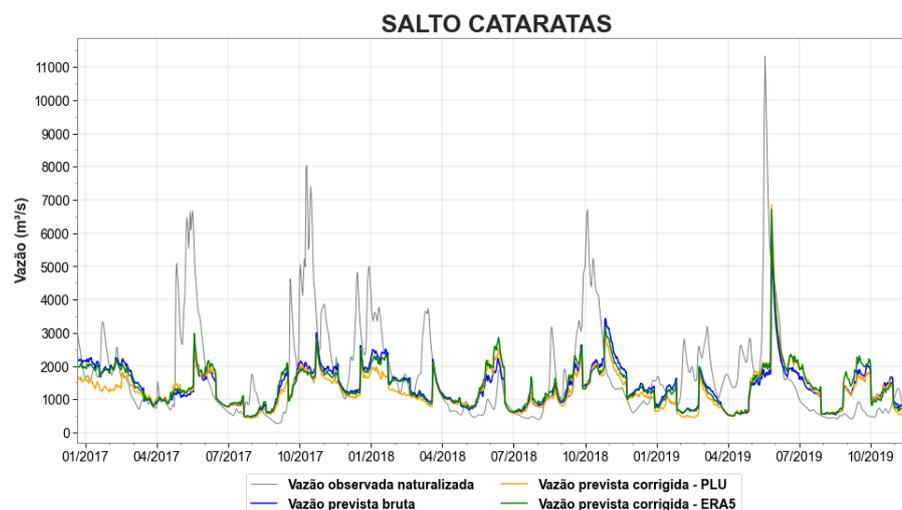
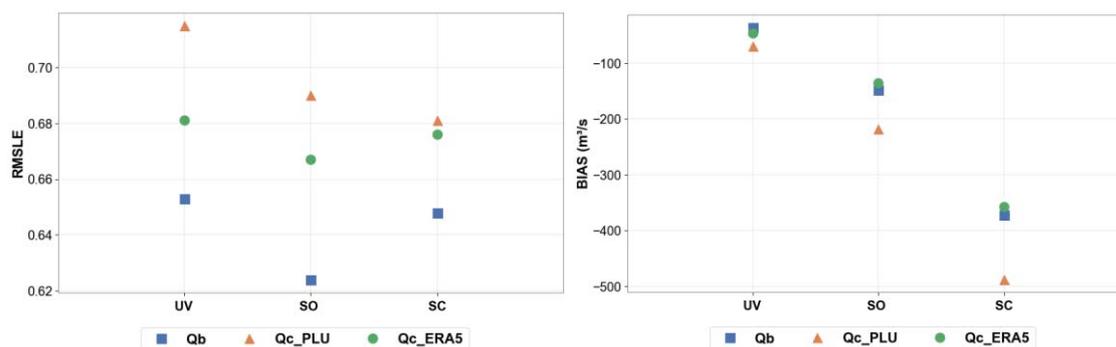


Figura 9: Hidrograma da vazão observada naturalizada e das vazões previstas para os cenários Qb, Qc_PLU e Qc_ERA5 para a sub bacia de Salto Cataratas.



Na Figura 10 é apresentado o desempenho para o horizonte das semanas 3 a 6 das previsões, considerando o período de janeiro de 2017 a dezembro de 2019, para as métricas RMSE-log e BIAS.

Figura 10: Resultados de RMSE-log e BIAS para os cenários Qb, Qc_PLU e Qc_ERA5 para sub-bacias de União da Vitória, Salto Osório e Salto Cataratas, para as semanas 3 a 6 do horizonte de previsão.



Os valores de RMSE-log e BIAS indicaram melhor desempenho para o cenário Qb seguido do cenário Qc_ERA5, com desempenho semelhante para as três sub-bacias analisadas, apresentando valores médios de RMSE-log de 0,64 e de BIAS da ordem de $-50 \text{ m}^3/\text{s}$, $-150 \text{ m}^3/\text{s}$ e $-370 \text{ m}^3/\text{s}$ para as sub-bacias de União da Vitória, Salto Osório e Salto Cataratas, respectivamente.

CONCLUSÃO

Por meio dos experimentos realizados e apresentados neste estudo, avaliou-se a utilização de previsões do modelo ECMWF em horizonte sub sazonal aplicada a bacia do rio Iguaçu, sem correção de viés e corrigidas a partir de duas diferentes fontes de dados: rede pluviométrica e dados do ERA5.

Nas análises considerando as previsões geradas ao longo de todo o ano, conforme esperado foi observado uma degradação no desempenho conforme aumento do horizonte de previsão. Foi observado um melhor desempenho para as previsões obtidas a partir dos cenários Qb e Qc_ERA5 (previsão bruta e previsão com remoção de viés a partir dos dados do ERA5) em termos das métricas de desempenho, como MRE, MAPE e RMSE-log. Para as sub bacias de Salto Osório e Salto Cataratas não houve diferença significativa de desempenho ao aplicar a correção com o ERA5, contudo para União da Vitória a aplicação da correção gerou uma degradação no desempenho em termos de MRE.

No entanto, ao considerar na avaliação as diferentes estações do ano em que foram geradas as previsões (DJF, MAM, JJA e SON), observou-se que nos trimestres de JJA e SON também houve uma ligeira degradação do desempenho ao aplicar a correção com os dados do ERA5 e nos demais trimestres o cenário com esta correção não apresentou mudança significativa do desempenho em relação ao cenário Qb.

A correção considerando os postos pluviométricos, por outro lado, resultou em uma significativa melhoria no desempenho das previsões realizadas no trimestre SON e MAM. Ressalta-se que para a calibração e simulação dos modelos foi utilizado como chuva observada a chuva dos pluviômetros e estes resultados das correções podem estar relacionados a este fato. Contudo, a degradação do desempenho das previsões geradas em DJF no cenário Qc_PLU indicam que os resultados também estão relacionados com o regime pluviométrico e representação destes pelo modelo ECMWF.

Além disso, a análise do desempenho em horizonte sub sazonal (semanas 3 a 6) mostrou resultados semelhantes aos obtidos para o horizonte completo. Ainda, as métricas utilizadas, RMSE-log e BIAS, indicaram que os cenários Qb e Qc_ERA5 apresentaram desempenho superior em comparação ao cenário Qc_PLU, e apesar da remoção de viés dos dados de previsão do ECMWF, melhorar a acurácia das previsões de vazão em alguns casos, isso não ocorreu em todos os casos e, para o cenário Qc_ERA5 não ocorreu de forma significativa.

No geral, os resultados sugerem que a remoção de viés dos dados de previsão do ECMWF, seja através dos dados da rede pluviométrica ou do ERA5, pode melhorar a precisão das previsões de vazão. No entanto, o cenário Qb, que não considera a remoção de viés, apresentou resultados comparáveis ou até melhores em alguns casos. Portanto, reforça-se que a escolha do cenário mais

adequado para as previsões de vazão depende das características específicas da bacia hidrográfica, conforme regime pluviométrico, e do horizonte de previsão considerado.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho apresenta parte dos resultados obtidos durante a execução do projeto de pesquisa e desenvolvimento PD-06491-0503/2018 - Título: Previsão Hidroclimática com Abrangência no Sistema Interligado Nacional de Energia Elétrica” executado pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) em conjunto com a Consultoria RHAMA para COPEL Geração e Transmissão S.A. (COPEL GeT) no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

REFERÊNCIAS

CASTANHARO, G., RITA, M., & MINE, M. (2001). Operação de reservatórios baseada em previsão de aflúências baseada em previsão de aflúências de curto prazo em tempo real. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.

CASTANHARO, G.; SCREMIN, H. L.; PEREIRA, C. L.; SILVA, R. C.; BAZAN, H. W. (2005) “Projeto HG-203 – Análise hidráulica de alternativas para controle de enchentes no rio Iguaçu e União da Vitória/Porto União”. Curitiba: CEHPAR: LACTEC. Relatório Técnico.

ECMWF. (2021a). *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support>

ECMWF. (2021b). *PROJECT S2S/ECMWF*. https://www.ecmwf.int/en/research/projects/s2s/charts/s2s/s2s_anomaly_ecmwf_RAIN?facets=Parameters,Precipitations&time=2019122600,264,2020010600

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA., (2022). “*Balanco energético nacional 2022*”. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>

FAN, F. M., PONTES, P. R. M., BUARQUE, D. C., & COLLISCHONN, W. (2017). Evaluation of upper Uruguay river basin (Brazil) operational flood forecasts. *Rbrh*, 22(0). <https://doi.org/10.1590/2318-0331.0217160027>

LIMA, J. W. M., COLISCHONN, W., & MARENGO, J. A. (2014). *Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica*.

LOPES, J. E. G., BRAGA, B. P. F., & CONEJO, J. G. L. (1982). *SMAP - a simplified hydrological model, applied modelling in catchment hydrology*. V.P.Singh: Water Resources Publications.

ONS. (2017). *ONS - MANUAL DE METODOLOGIA-APLICATIVO SMAP*.

ONS. (2021). *O Sistema em Números*. <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>

QUEDI, E. S. (2019). *Previsão hidrológica em horizonte sub sazonal*.

SILVA, B., TUCCI, C., & COLLISCHONN, W. (2006). Previsão de Vazão com Modelos Hidroclimáticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 11(3), 15–29. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v11n3.p15-29>.

WHITE, C. J., CARLSEN, H., ROBERTSON, A. W., KLEIN, R. J. T., LAZO, J. K., KUMAR, A., VITART, F., COUGHLAN DE PEREZ, E., RAY, A. J., MURRAY, V., BHARWANI, S., MACLEOD, D., JAMES, R., FLEMING, L., MORSE, A. P., EGGEN, B., GRAHAM, R., KJELLSTRÖM, E., BECKER, E., ... ZEBIAK, S. E. (2017). Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions. In *Meteorological Applications* (Vol. 24, Issue 3, pp. 315–325). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/met.1654>.