

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

SISTEMA DE SIMULAÇÃO E PREVISÃO HIDROLÓGICA DE BACIAS DO PARANÁ

*Maria Fernanda Dames dos Santos Lima¹ ; Danieli Mara Ferreira²; José Eduardo Gonçalves³ ;
Cassia Silmara Aver Paranhos⁴ ; Rafael Schinoff Mercio Pereira⁵ ; Camila Freitas⁶ & Mônica
Irion Almeida⁷*

Abstract: This study presents the Hydrological Simulation and Forecasting System developed to support the operation of Copel's hydroelectric power plants in the Iguaçu, Tibagi, and Capivari river basins. The system generates streamflow forecasts at six-hour intervals with a 15-day lead time, updated three times daily. In the Iguaçu basin, the main monitored facilities include the Governador Bento Munhoz da Rocha Netto, Governador Ney Aminthas de Barros Braga, and Governador José Richa plants, which are of great importance to power generation in the state of Paraná. The system also includes the Apucarantina and Governador Jayme Canet Júnior plants in the Tibagi basin, and the Governador Parigot de Souza plant in the Capivari basin. Hydrological modeling is carried out using the lumped SAC-SMA model, with its 16 parameters calibrated through the Dynamically Dimensioned Search (DDS) optimization algorithm. Model inputs include observed precipitation, derived from rain gauge data distributed throughout the basins, and forecasted precipitation, based on the 51 *ensemble* members of the probabilistic atmospheric model ECMWF. Potential evapotranspiration is also included, estimated from climatology developed using meteorological data. To better capture the spatial variability of precipitation, each basin is subdivided into smaller areas based on the location of hydrological stations. Streamflow routing between sub-basins is performed using the Muskingum method. The system delivers reliable forecasts of streamflow and water level, providing valuable support for decision-making in the operation and management of hydroelectric assets.

Resumo: Este trabalho apresenta o Sistema de Simulação e Previsão Hidrológica desenvolvido para apoiar a operação das usinas hidrelétricas da Copel nas bacias dos rios Iguaçu, Tibagi e Capivari. O sistema gera previsões de vazão em escala de seis horas, com horizonte de 15 dias, atualizadas três vezes ao dia. Entre os principais empreendimentos monitorados na bacia do Iguaçu estão as usinas Governador Bento Munhoz da Rocha Netto, Governador Ney Aminthas de Barros Braga e Governador José Richa, de grande importância para a geração de energia no Paraná. Também são contempladas a UHE Apucarantina e a UHE Governador Jayme Canet Júnior, na bacia do Tibagi, e a UHE Governador Parigot de Souza, na bacia do Capivari. A modelagem hidrológica é realizada com o modelo concentrado SAC-SMA, cuja calibração dos 16 parâmetros foi feita com o algoritmo de otimização Dynamically Dimensioned Search (DDS). O modelo recebe como entrada a

¹ Simepar, maria.dames@simepar.br

² Simepar, danieli.ferreira@simepar.br

³ Simepar, jose.eduardo@simepar.br

⁴ Copel, cassia.aver@copel.com

⁵ Copel, rafael.pereira@copel.com

⁶ Copel, camila.freitas@copel.com

⁷ Copel, monica.irion@copel.com

precipitação observada, estimada a partir de dados de postos pluviométricos distribuídos nas bacias, e a precipitação prevista, proveniente dos 51 membros do modelo atmosférico probabilístico ECMWF. Também é utilizada a evapotranspiração potencial, calculada com base em climatologia gerada a partir de dados meteorológicos. As bacias foram subdivididas em áreas menores com base na localização de estações hidrológicas, com o objetivo de representar melhor a variabilidade espacial da precipitação. A propagação da vazão entre sub-bacias é feita pelo método de Muskingum. O sistema fornece estimativas confiáveis de vazão e nível, oferecendo suporte à tomada de decisão na operação dos empreendimentos hidrelétricos.

Palavras-Chave – Modelo Sacramento, Previsão de vazão, Sistema operacional hidrológico

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, observou-se um avanço expressivo no desenvolvimento de ferramentas voltadas ao suporte à gestão dos recursos hídricos, com ênfase na otimização do uso da água e na mitigação dos impactos causados por eventos hidrológicos extremos. A integração entre previsões hidrológicas e meteorológicas consolidou-se como uma estratégia essencial para a operação eficiente de reservatórios e para a análise de fenômenos climáticos severos, como secas e inundações, fornecendo subsídios valiosos à tomada de decisão em diferentes horizontes temporais.

Nesse contexto, o Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) desenvolveu e opera o Sistema de Simulação e Previsão Hidrológica do Iguaçu (SISPSHI), baseado no modelo hidrológico concentrado Sacramento Soil Moisture Accounting (SAC-SMA), conforme descrito por Singh e Woolhiser (2002). O sistema é alimentado por previsões meteorológicas do modelo europeu ECMWF, utilizando abordagens em ensemble, e opera com um horizonte de previsão de até quinze dias. O SISPSHI estima o escoamento superficial em 21 pontos estratégicos ao longo do Rio Iguaçu, abrangendo uma área de drenagem de aproximadamente 70.000 km², desde as nascentes até a foz do rio. Os resultados são disponibilizados em uma plataforma web, tornando-se uma ferramenta essencial para a gestão dos reservatórios da bacia.

Eventos hidrológicos extremos recentes, como a ocorrência de precipitações superiores a 100 mm em um único dia na bacia do Rio Capivari — localizada na Serra do Mar paranaense — evidenciaram a necessidade de expandir a cobertura do sistema de modelagem hidrológica utilizado pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Em resposta, o modelo foi implementado para apoiar a gestão do reservatório da UHE Governador Parigot de Souza (bacia do Capivari) e, posteriormente, da UHE Governador Jayme Canet Júnior, situada na bacia do Rio Tibagi.

Este trabalho apresenta uma visão geral do Sistema de Simulação e Previsão Hidrológica desenvolvido pelo SIMEPAR para a COPEL, com o objetivo de apoiar a gestão operacional dos reservatórios localizados nas bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Capivari e Tibagi, no estado do Paraná.

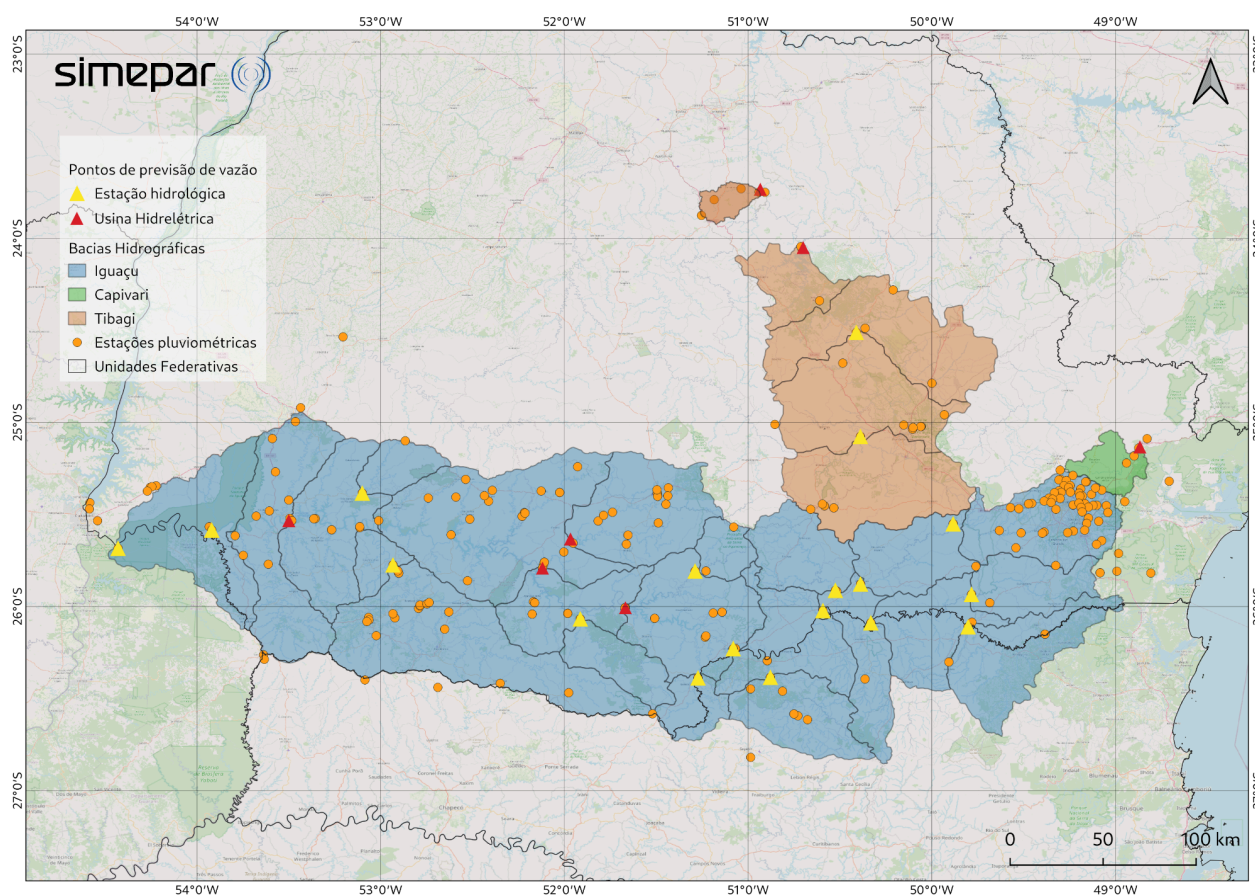
METODOLOGIA

Área de estudo e dados utilizados

O Sistema de Simulação e Previsão Hidrológica está atualmente implementado, produzindo previsões de nível e vazão para 21 pontos distribuídos na bacia do rio Iguaçu. Nesta bacia, estão localizados três dos principais empreendimentos hidrelétricos da COPEL: a Usina Hidrelétrica

Governador Bento Munhoz da Rocha Netto (Foz do Areia), com potência instalada de 1.676 MW e reservatório com área aproximada de 94 km²; a Usina Hidrelétrica Governador Ney Aminthas de Barros Braga (Segredo), com 1.260 MW de potência e reservatório de 82 km²; e a Usina Hidrelétrica Governador José Richa (Salto Caxias), que possui capacidade de 1.240 MW e reservatório de 91 km². Esses empreendimentos desempenham papel estratégico na geração de energia elétrica no Paraná, além de contribuírem para a regularização do regime hidrológico do rio Iguaçu (Figura 1).

Figura 1 – Bacias hidrográficas com previsão hidrológica.



Além da bacia do Iguaçu, o sistema gera previsões de vazão afluente para outras usinas hidrelétricas importantes, como a UHE Apucarantina, localizada no município de Londrina, com potência instalada de 20 MW e reservatório de aproximadamente 3,6 km², e a UHE Governador Jayme Canet Júnior, em Ribeirão Claro, com potência de 124 MW e reservatório de 18 km².

Outra área modelada corresponde à bacia do rio Capivari, onde são produzidas previsões para apoiar a operação da Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza, com potência instalada de 260 MW. Seu reservatório, denominado Capivari-Cachoeira, situa-se entre os municípios de Campina Grande do Sul e Bocaiúva do Sul, com área aproximada de 13 km² e volume total de 179 milhões de metros cúbicos.

Para aprimorar a representação das previsões de vazão nas bacias, estas foram subdivididas em áreas menores, selecionadas estrategicamente com base na presença de estações hidrológicas que realizam medições de vazão (Tabela 1). Assim, foi desenvolvido um sistema de simulação e previsão em cascata, no qual as previsões são inicialmente feitas nas bacias de cabeceira. Os

resultados servem como dados de entrada para as bacias a jusante, por meio da propagação de Muskingum, associada à previsão de vazão nas sub-bacias, fundamentada na precipitação média observada em cada área.

Tabela 1 - Sub-bacias consideradas no modelo hidrológico e suas respectivas áreas..

Sub-Bacia	Área (km²)
Bacia Iguaçu	
Rio Negro	3.380
Porto Amazonas	3.660
São Bento	2.000
Pontilhão	2.210
Santa Cruz do Timbó	2.614
São Mateus do Sul	6.070
Divisa	8.050
Fluviópolis	18.700
União da Vitória	24.200
Madeira Gavazzoni	1.010
Jangada	1.050
UHE Foz do Areia	29.900
Santa Clara	3.900
Solais Novo	1.580
Porto Santo Antônio	1.024
Águas do Verê	6.696
Bela Vista	6.481
Foz do Chopim	7.470
UHE Segredo	34.100
PCH Cavernoso	1.500
UHE Salto Caxias	57.000
Porto Capanema	65.680
Hotel Cataratas	67.300
Bacia Litorânea	
Rio Capivari (montante)	681
Bacia Tibagi	
Uvaia Grande	4.450
Porto de Areia	8.948
Telêmaco Borba	13.800
Barragem Mauá	15.423
Reservatório de Fiú	536

Na Figura 1, são apresentadas as áreas das bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Tibagi e Capivari, com os pontos onde as previsões de vazão estão implementadas. As estimativas são realizadas em locais com estações hidrológicas de monitoramento em tempo real de vazão e precipitação, indicadas no mapa por triângulos amarelos. Os pontos que representam as usinas da COPEL, para os quais são geradas estimativas da vazão afluente às barragens por meio do balanço hídrico, são destacados com triângulos vermelhos.

Além das informações de vazão, o sistema depende de dados em tempo real de precipitação. Na Figura 1, os locais com estações que realizam medições de precipitação são indicados por pontos laranja. Essas estações compreendem tanto unidades meteorológicas quanto hidrológicas, e seus dados são utilizados para estimar a precipitação média em cada bacia.

Outro dado essencial para o sistema é a evapotranspiração potencial, calculada a partir de uma climatologia elaborada com base em dados meteorológicos históricos. Esse parâmetro é fundamental para representar as perdas de água no balanço hídrico das bacias, contribuindo significativamente para a precisão das previsões de vazão.

Sistema de Previsão de Precipitação

As previsões de precipitação, essenciais para a operação do modelo hidrológico, são obtidas a partir do modelo ECMWF, desenvolvido e operado pelo Centro Europeu de Previsão do Tempo. O ECMWF realiza previsões meteorológicas com alta resolução espacial, aproximadamente 9 km para previsões globais probabilísticas em ensemble, o que possibilita a captura detalhada de fenômenos atmosféricos.

Com 51 membros disponíveis no ensemble do ECMWF, as previsões hidrológicas são conduzidas integrando os diferentes cenários de precipitação previstos. Como o modelo hidrológico utilizado é concentrado e requer a precipitação média sobre a bacia modelada, os valores de precipitação do modelo atmosférico são calculados pela média dos pontos de grade do ECMWF localizados dentro dos limites da bacia de interesse.

Sistema de Simulação e Previsão Hidrológica

O sistema foi desenvolvido com base no modelo hidrológico Sacramento Soil Moisture Accounting Model (SAC-SMA), fundamentado em princípios de conservação para a transformação chuva-vazão. Criado pelo U.S. National Weather Service (NWS), esse modelo é amplamente utilizado em diversas aplicações de previsão hidrológica.

Trata-se de um modelo conceitual baseado em reservatórios que simula o comportamento da água no solo e a resposta hidrológica da bacia às precipitações. A abordagem consiste em reservatórios interligados que representam os processos físicos de armazenamento e transferência de água no solo e na vegetação. No modelo Sacramento, a bacia é dividida em camadas superiores e inferiores, simulando processos como infiltração, escoamento superficial, escoamento de base e evapotranspiração, conforme ilustrado na Figura 2.

O sistema em operação gera previsões com horizonte de 15 dias, atualizadas três vezes ao dia a partir da atualização das condições de entrada do modelo hidrológico. A base de dados utilizada para alimentar o sistema é composta por:

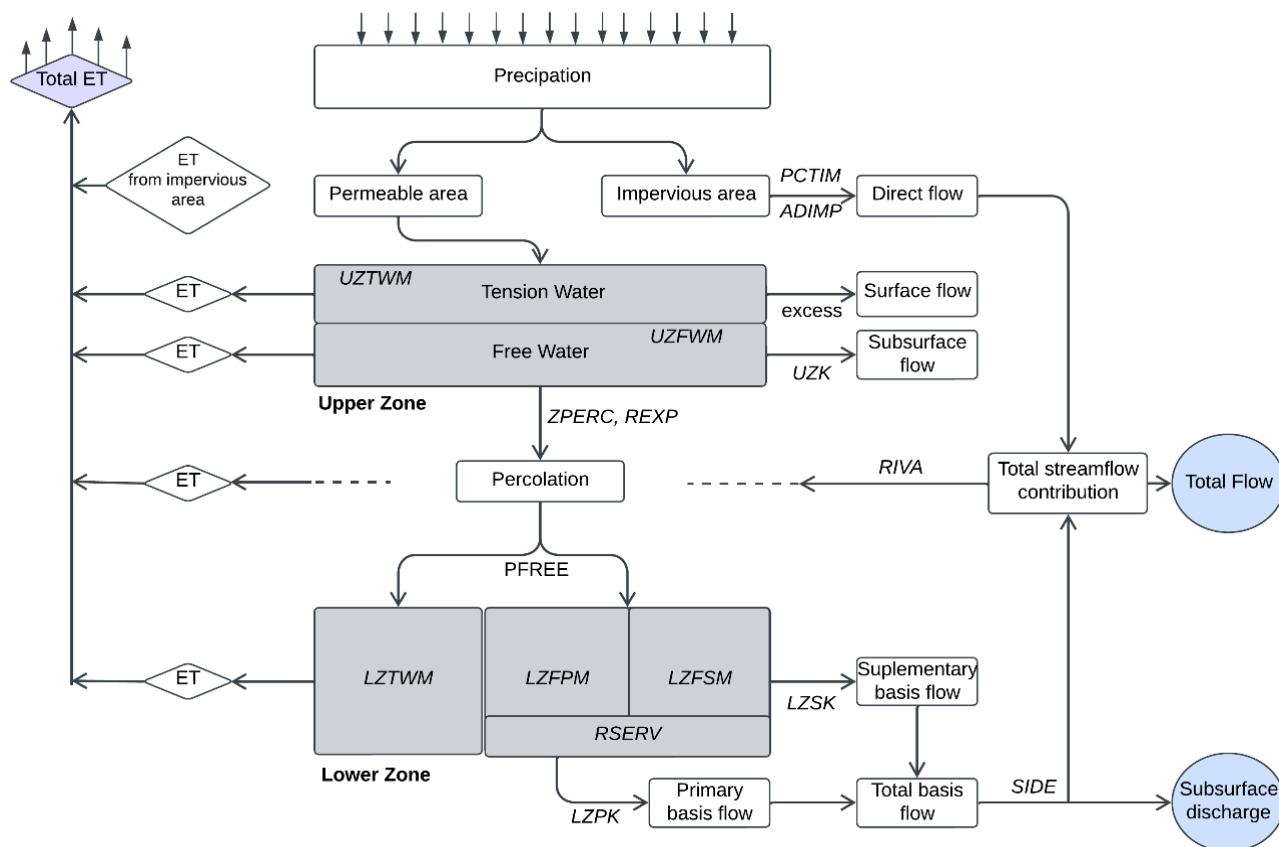
- Série integrada de precipitação: combina dados observados até o tempo presente com previsões meteorológicas para os 15 dias seguintes. Essa série é empregada tanto para o

aquecimento do modelo, atualizando as condições hidrológicas iniciais da bacia, quanto como dado de entrada para o período de previsão;

- Evapotranspiração potencial: calculada a partir de uma climatologia elaborada com base em dados meteorológicos históricos;
- Vazão monitorada na exutória das bacias: utilizada no pós-processamento para corrigir as vazões simuladas iniciais, aplicando técnicas de ancoragem que tratam eventuais descontinuidades nos gráficos.

Para as bacias a jusante, a estimativa de vazão considera tanto a precipitação na área incremental quanto a propagação da vazão da bacia a montante. Essa propagação integra séries de dados observados e previsões para o mesmo horizonte de 15 dias. Nos pontos de previsão de vazão que correspondem a estações hidrológicas, a vazão prevista é convertida em nível por meio da aplicação da curva-chave específica da respectiva seção.

Figura 2 – Esquema representativo do modelo SAC-SMA, com seus respectivos parâmetros. Adaptado de: Breda (2008) e Uliana et al. (2019).



Durante a organização dos dados de entrada, são selecionados exclusivamente os dados aprovados pelo controle de qualidade do banco de dados, garantindo maior confiabilidade nas análises e nos resultados gerados.

Devido ao grande número de bacias modeladas e aos 16 parâmetros exigidos pelo modelo SAC-SMA, a calibração manual mostrou-se inviável. Por essa razão, foram implementadas rotinas de calibração automática utilizando o algoritmo de otimização Dynamically Dimensioned Search (DDS), proposto por Tolson e Shoemaker (2007), uma abordagem eficiente para problemas de alta dimensionalidade. As calibrações são realizadas anualmente para manter a atualização e consistência da série de dados.

Monitoramento e avaliação de desempenho do sistema

Além do monitoramento diário, que garante o funcionamento adequado do sistema e identifica possíveis falhas operacionais, é realizada, ao final de cada trimestre, uma avaliação detalhada do desempenho do modelo hidrológico baseada em indicadores quantitativos.

Dentre as métricas utilizadas, destacam-se o Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), o Erro Percentual Médio (MPE) e o Erro Relativo de Volume (ERV), que proporcionam uma análise abrangente da acurácia e da consistência das simulações hidrológicas.

O coeficiente de Nash-Sutcliffe é amplamente empregado na avaliação de modelos hidrológicos e é definido pela equação 1, onde Y_i^{obs} é a vazão observada e Y_i^{sim} é a vazão simulada e Y_i^{med} é a média da vazão observada:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i^n [Y_i^{obs} - Y_i^{sim}]^2}{\sum_i^n [Y_i^{obs} - Y_i^{med}]^2} \quad (1)$$

O Erro Relativo de Volume (ERV) é uma métrica utilizada para avaliar a precisão da previsão de vazão em relação à vazão observada ao longo de um determinado período Δt . Ele quantifica a diferença relativa entre o volume total previsto e o volume total observado, permitindo identificar o viés da previsão, isto é, se há tendência de superestimativa ou subestimativa. A equação 2 apresenta o cálculo do ERV, onde Y_i^{obs} representa a vazão observada e Y_i^{sim} é a vazão simulada, no instante i , e t é o intervalo de tempo analisado:

$$ERV = \left[\frac{\sum_{i=1}^t Y_i^{prev}(t) * \Delta t - \sum_{i=1}^t Y_i^{obs}(t) * \Delta t}{\sum_{i=1}^t Y_i^{obs}(t) * \Delta t} \right] * 100 \quad (2)$$

De modo geral, valores de ERV dentro da faixa de $\pm 10\%$ são considerados razoáveis para previsões hidrológicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a interface gráfica desenvolvida para a visualização dos resultados gerados pelo sistema, após a execução local dos modelos e sua disponibilização em plataforma online. Para viabilizar esse processo, o sistema conta com uma infraestrutura computacional de alto desempenho (High Performance Computing Cluster), composta por um conjunto de processadores otimizados para a execução de modelos numéricos de previsão meteorológica direcionados à área de interesse.

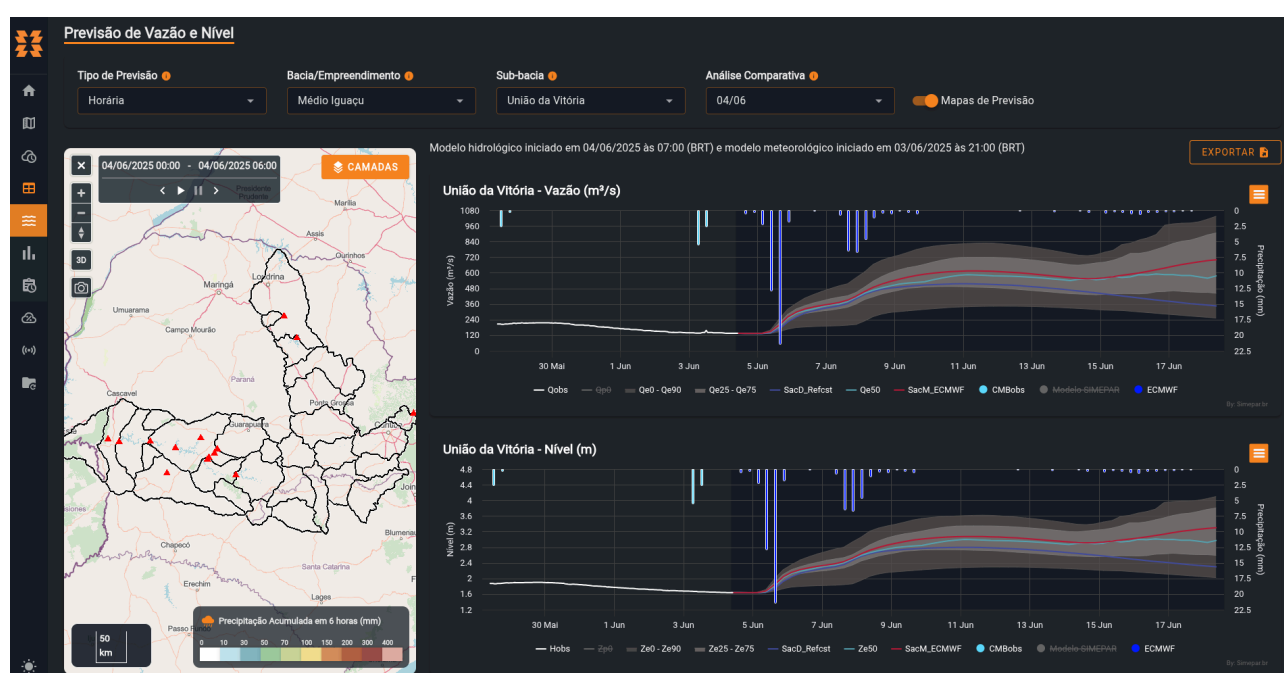
Além disso, um servidor central consolida os resultados da modelagem hidrológica e meteorológica, bem como produtos derivados, permitindo seu uso em diversas aplicações, como o suporte à operação de usinas hidrelétricas e o monitoramento de eventos hidrológicos extremos.

O sistema opera de forma ininterrupta, com atualizações periódicas, possibilitando o monitoramento contínuo das previsões e a análise da evolução temporal dos cenários meteorológicos e hidrológicos. Para os pontos correspondentes às usinas da COPEL, as previsões

estão disponíveis tanto na escala de seis horas quanto na escala diária, ampliando as possibilidades de análise e oferecendo diferentes níveis de detalhamento para subsidiar o processo decisório.

Na Figura 3, observa-se, à esquerda, um mapa com a delimitação das bacias hidrográficas modeladas, acompanhado da estimativa de precipitação acumulada para os próximos dias. À direita, são exibidos dois gráficos: o primeiro apresenta a previsão de vazão e o segundo, a previsão de nível para um ponto específico da bacia do rio Iguaçu — a estação de União da Vitória, localizada a jusante da UHE Foz do Areia. As porções à esquerda dos gráficos mostram os dados observados de precipitação e vazão, enquanto as porções à direita correspondem às previsões geradas pelo sistema, baseadas nos diferentes membros do ensemble do modelo ECMWF.

Figura 3 – Interface gráfica para visualização dos resultados.



O Sistema de Simulação e Previsão Hidrológica do Paraná, desenvolvido pelo Simepar, além de subsidiar a operação das usinas hidrelétricas da Copel, configura-se como uma ferramenta estratégica para a gestão de riscos hidrológicos. Seu uso estende-se à Defesa Civil e a outros órgãos responsáveis por ações preventivas e respostas a desastres naturais. Em eventos extremos de inundação, como os ocorridos em junho de 2014 e em outubro e novembro de 2023, que resultaram em cheias históricas na bacia do Iguaçu, o sistema demonstrou grande potencial para apoiar o planejamento de medidas preventivas (Lima et al., 2024).

Um caso emblemático é o município de União da Vitória, vulnerável a inundações em função do efeito de remanso do sistema hidrológico e da influência do nível do reservatório (Breda, 2008). A disponibilidade de previsões de vazão com antecedência de até 15 dias possibilita a adoção de medidas eficazes, como a evacuação de áreas de risco, mitigando impactos sociais e econômicos e evitando tragédias humanas.

A análise dos resultados das previsões de vazão para o ponto da estação em União da Vitória e para a afluência ao reservatório da UHE Foz do Areia evidenciou desempenho satisfatório do modelo. Considerando o ano de 2024 como referência, a métrica de Erro Relativo de Volume (ERV) indicou valores de -0,8% para a bacia incremental de União da Vitória e -7,1% para a UHE Foz do Areia. Essa métrica é especialmente relevante para o contexto hidrelétrico, pois quantifica a

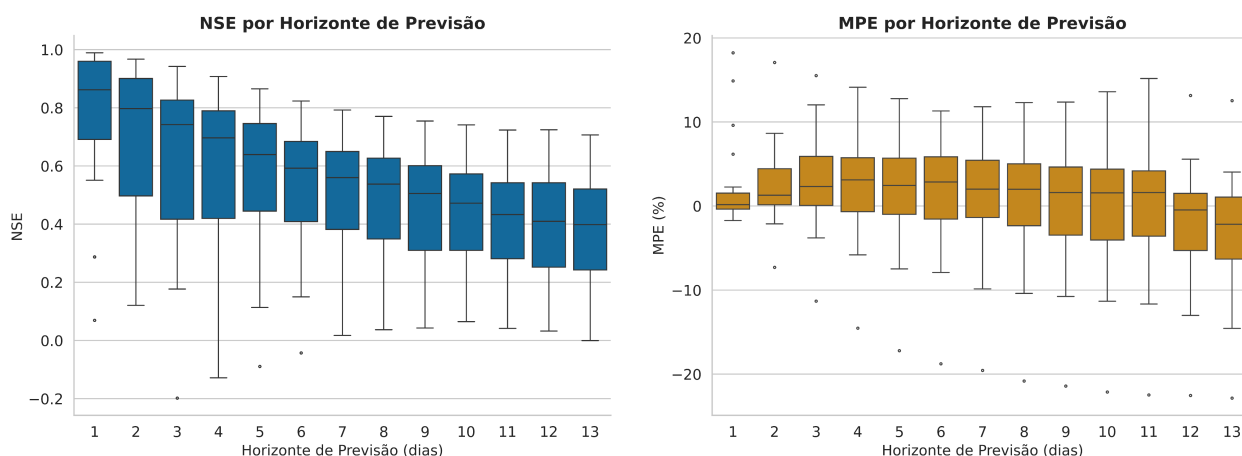
diferença entre o volume total previsto e o volume observado ao longo do período, fornecendo uma avaliação direta da acurácia das previsões para fins operacionais e de planejamento.

Importa destacar que, até o ponto de União da Vitória, o regime hidrológico é predominantemente natural, sem interferências significativas de grandes usinas hidrelétricas, o que favorece o desempenho do modelo. A jusante desse ponto, entretanto, a presença de reservatórios e operações antrópicas altera substancialmente a dinâmica de escoamento, introduzindo complexidades que dificultam a modelagem e reduzem a acurácia das previsões. Ademais, a subdivisão da bacia em áreas menores para a modelagem pode acarretar propagação de incertezas associadas às estimativas em cada sub-bacia, afetando cumulativamente os resultados nas regiões a jusante.

A Figura 4 apresenta os indicadores de desempenho NSE (Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe) e MPE (Erro Percentual Médio) para os pontos modelados, abrangendo todo o domínio ilustrado na Figura 1, com base nas previsões realizadas para o ano de 2024. Os resultados foram obtidos considerando a mediana das 51 previsões do ensemble do modelo ECMWF. Observa-se variação expressiva no desempenho entre as diferentes bacias, sendo que as com menor interferência antrópica tendem a apresentar melhor desempenho em comparação às fortemente reguladas por usinas ou influenciadas por múltiplos reservatórios.

Os resultados obtidos demonstram que o Sistema de Simulação e Previsão Hidrológica apresenta um desempenho consistente, especialmente em bacias com menor interferência antrópica, onde os valores do Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) indicam boa capacidade preditiva. O Erro Relativo de Volume (ERV) reforça a confiabilidade do sistema ao evidenciar que as previsões mantêm um alinhamento próximo ao volume real observado, com valores dentro de faixas consideradas aceitáveis para aplicações operacionais. Essa robustez nos indicadores confirma a utilidade do sistema como ferramenta de apoio à gestão e operação dos recursos hídricos e das usinas hidrelétricas da região.

Figura 4 – Desempenho do sistema considerando as métricas NSE e MPE.



Outro aspecto observado é a redução no desempenho do modelo conforme o aumento do horizonte de previsão. Esse comportamento reflete as incertezas inerentes aos modelos meteorológicos, cuja confiabilidade diminui ao longo do tempo. Embora o uso de múltiplos membros do ensemble permita capturar a variabilidade dos cenários meteorológicos, as métricas de desempenho apresentadas foram calculadas com base apenas na mediana das previsões. Essa

abordagem, embora operacionalmente prática, pode não refletir toda a dispersão dos resultados, limitando a avaliação do desempenho hidrológico em horizontes mais longos.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresenta-se o Sistema de Previsão Hidrológica desenvolvido pelo Simepar para as bacias dos rios Iguaçu, Tibagi e Capivari, com o objetivo de apoiar o planejamento e a operação das usinas hidrelétricas da Copel, incluindo a UHE Foz do Areia, UHE Segredo, UHE Salto Caxias, UHE Apucarantina, UHE Mauá e UHE Capivari-Cachoeira. O sistema opera três vezes ao dia, gerando previsões a cada 6 horas, com horizonte de até 15 dias, baseando-se em dados probabilísticos de previsão meteorológica fornecidos pelo modelo ECMWF. Essa abordagem possibilita a geração de estimativas associadas a diferentes cenários de precipitação.

O modelo hidrológico empregado é o SAC-SMA, de natureza conceitual, que demanda como entrada a precipitação média sobre a bacia. Para aprimorar essa estimativa, as bacias foram subdivididas em áreas menores, cada uma vinculada a estações hidrológicas representativas, o que contribui para uma caracterização espacial mais precisa da precipitação. Essa estratégia resulta em previsões mais confiáveis e úteis para a gestão dos recursos hídricos e a operação do sistema hidrelétrico.

De modo geral, o desempenho das previsões mostrou-se satisfatório, embora haja variações na assertividade entre as diferentes regiões. A bacia de União da Vitória, considerada ponto crítico devido ao histórico de inundações, apresentou um ERV de -0,8%, enquanto para a UHE Foz do Areia o valor registrado foi de -7,1%, indicando bom alinhamento entre os valores previstos e observados.

REFERÊNCIAS

- BREDA, A. (2008). *“Avaliação de melhorias para um sistema de previsão hidrológica horária.”* Curitiba. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- LIMA, M.F.D.S.; FERREIRA, D.M.; GONCALVES, J.E.; PARANHOS, C.S.A.; PEREIRA, R.S.M. (2024). “Sistema de previsão hidrológica para o rio Iguaçu, União da Vitória-PR” in Anais do IV Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro, Curitiba, 08–11 out. 2024. ISSN 2764-9040. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/ivend/>. Acesso em: 4 de julho de 2025.
- MUSKINGUM, C. R. (1958). *“Channel Routing Using Lag and Storage.”* Transactions of the American Society of Civil Engineers, 123(1), pp. 309-328.
- NASH, J. E. (1957). *“The form of the instantaneous unit hydrograph.”* International Association of Scientific Hydrology, Publ, v. 3, pp. 114-121.
- SINGH, V.; WOOLHISER, D. (2002). *“Mathematical modeling of watershed hydrology.”* Journal of hydrologic engineering, v. 7, n. 4, pp. 270-292.
- TOLSON, B. A.; SHOEMAKER, C. A. (2007). *“Dynamically dimensioned search algorithm for computationally efficient watershed model calibration.”* Water Resources Research, 43(6), W06411.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) pelo apoio e agradecem a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) pela oportunidade de realização deste estudo.