

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **CALIBRAÇÃO DA CHEIA DE 1983 PELO MODELO HEC-HMS PARA O ALTO RIO IGUAÇU ATÉ O RESERVATÓRIO DE FOZ DO AREIA**

*Rafael Schinoff Mércio Pereira<sup>1</sup> ; Benedito Cláudio da Silva<sup>2</sup>*

**Abstract:** This work aims to collaborate with the scientific community by enriching hydrological studies of the Iguaçu River basin. Six hydroelectric plants are located in the main riverbed, representing the main source of electricity generation in the south of the country. With the advancement of technologies and better observation of rain or drought events, the equipment for building cognition in relation to these events and decision-making is continually advancing. The hydrological model is an important tool for supporting various decisions for different uses of water, whether in the best management of resource preservation in cases of drought, or for anticipating actions in the case of extreme rain events. This study focused on the calibration of the HEC-HMS software for the main flood event that occurred in the basin in 1983. Rainfall data from the National Water and Sanitation Agency (ANA) database, SRTM 30 x 30 terrain data and physiographic characteristics generated by HEC-HMS through the SRTM DEM were used. The results found were satisfactory and indicate good capacity of the model to represent the physical phenomena of the basin.

**Resumo:** Este trabalho visa colaborar com a comunidade científica enriquecendo os estudos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Iguaçu. Em seu leito principal estão localizadas seis usinas hidrelétricas que representam a principal fonte de geração de energia elétrica do sul do País. Com o avanço das tecnologias e a melhor observação dos eventos de chuva ou estiagem o aparelhamento para constituição da cognição em relação a estes eventos e as tomadas de decisão estão avançando continuamente. O modelo hidrológico é uma ferramenta importante para subsidiar diversas decisões para diferentes usos das águas, seja na melhor gestão de preservação dos recursos em casos de estiagem, seja para antecipação de ações no caso de eventos extremos de chuva. Este estudo focou na calibração do software HEC-HMS para o principal evento de cheia ocorrido na bacia, em 1983. Foram utilizados os dados pluviométricos do banco de dados da Agência Nacional das Águas e Saneamento (ANA), dados de terreno SRTM 30 x 30 e características fisiográficas geradas pelo HEC-HMS através do MDE SRTM. Os resultados encontrados foram satisfatórios e indicam boa capacidade do modelo de representar os fenômenos físicos da bacia.

**Palavras-Chave** – Previsão de vazão, modelo hidrológico, HEC-HMS

### **INTRODUÇÃO**

Com o passar dos anos estão sendo registrados eventos climatológicos extremos, sejam estiagens ou sejam cheias. Muito tem se discutido se estes eventos, registrados ao redor do mundo, estão relacionados com as possíveis mudanças climáticas. Dados apontam que a temperatura global está se elevando ano após ano, sendo veiculado na grande mídia assuntos como o aumento do derretimento de geleiras e da temperatura da superfície dos oceanos, evidenciando uma mudança no

1) Copel – Companhia Paranaense de Energia; Rua José Izidoro Biazetto, 158, Bloco E. (41) 3331-4286, rafael.pereira@copel.com

2) Unifei – Universidade Federal de Itajubá; Campus UNIFEI Itajubá, Bloco 8. Av. BPS 1303, Bairro Pinheirinho Itajubá / MG. 37500-903, (35) 3629-1449, silvabenedito@unifei.edu.br

comportamento do clima. Os impactos de diferentes ocorrências podem ser diversos. No caso de estiagem, a antecedência da previsibilidade a partir de determinadas condições podem contribuir com as ações necessárias para mitigar efeitos extremos, onde eventualmente exista a possibilidade de controlar ou regularizar armazenamentos. No caso de eventos extremos relacionados a cheias, a depender de onde ocorra, a previsibilidade pode não colaborar de maneira determinante e eventuais impactos indesejados podem ocorrer.

No sul do estado do Paraná está localizada a UHE Governador Bento Munhoz da Rocha Neto – UHE GBM, a qual tem reservatório de regularização, conhecido como Foz do Areia. Esta região é caracterizada por não haver sazonalidade pluviométrica definida, apesar de haver discussões sobre épocas mais ou menos chuvosas, nesta região podem ocorrer chuvas ou estiagens intensas a qualquer época do ano, segundo Hoffmann, *et al.* 2017.

Os eventos de cheias registrados na bacia hidrográfica do rio Iguaçu se caracterizam pela rápida ascensão dos hidrogramas, exigindo rápida resposta na tomada de decisão dos responsáveis pelos diversos usos. No caso dos reservatórios voltados para geração hidrelétrica, as decisões relacionadas a vertimentos em grandes cheias demandam agilidade e conhecimento dos possíveis impactos, para que sejam tomadas as melhores decisões e minimizar danos nas áreas de influência dos reservatórios.

Este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados da calibração do evento de cheia de 1983 do modelo hidrológico HEC-HMS - Hydrologic Modeling System de autoria do Corpo de Engenheiros Hidrólogos das Forças Armadas Americanas, para as sub-bacias do Alto rio Iguaçu até o reservatório de Foz do Areia.

## **METODOLOGIA**

### **O Modelo hidrológico**

O modelo hidrológico chuva-vazão é uma ferramenta amplamente utilizada para representar matematicamente os reflexos resultantes do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, que é basicamente comportamento do escoamento superficial. Um dos objetivos principais da modelagem hidrológica é a capacidade de gerar dados futuros a partir de informações de previsão de chuva ou de reconstituição de séries para estudos hidrológicos. Segundo Tucci (1998), é uma ferramenta utilizada para representar os processos que ocorrem na bacia hidrográfica e prever as consequências das diferentes ocorrências em relação aos valores observados.

O HEC-HMS, conforme HEC-HMS User's Manual (2022) foi projetado para simular o processo chuva-vazão de sistemas que compõem as bacias hidrográficas. O software tem se mostrado robusto para representar matematicamente os fenômenos físicos das bacias hidrográficas brasileiras, pois diversos estudos têm sido realizados e artigos científicos produzidos, além de diversas empresas implementando a ferramenta em suas rotinas.

Por ser de fácil manipulação, com interfaces intuitivas e com diversas possibilidades de quantificar os diferentes fenômenos, este software se torna atrativo devido a agilidade de alteração de parametrização e por consequência, fácil calibração de parametrização para diferentes eventos.

Para representação do terreno, é possível inserir um MDE – Modelo Digital de Elevação e a partir dele extrair as características fisiográficas. Para este estudo se utilizou o SRTM 30 x 30 por ser uma discretização espacial aceitável diante da área de drenagem da bacia hidrográfica, 30.100km<sup>2</sup>.

O cálculo automático de área de drenagem realizado pelo software a partir de cada seção de controle escolhida foi confrontada com os dados cadastrais da ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento e os desvios foram considerados desprezíveis. Deste modo, as características fisiográficas geradas pelo software foram adotadas sem alterações.

O modelo, da maneira que foi trabalhado neste estudo, é classificado como: 1) complexo, por representar os processos físicos; 2) semi-distribuído, pois é dividido por sub-bacia; 3) contínuo em relação a discretização temporal, mesmo que o objetivo seja a representação de evento de cheia.

A partir de parametrização de total de perdas (evapotranspiração, infiltração), métodos de transformação chuva-vazão, padrão de vazão de base e propagação ao longo dos trechos de rio, é possível verificar a chuva efetiva e os hidrograma simulados para os pontos de interesse.

## Calibração do modelo

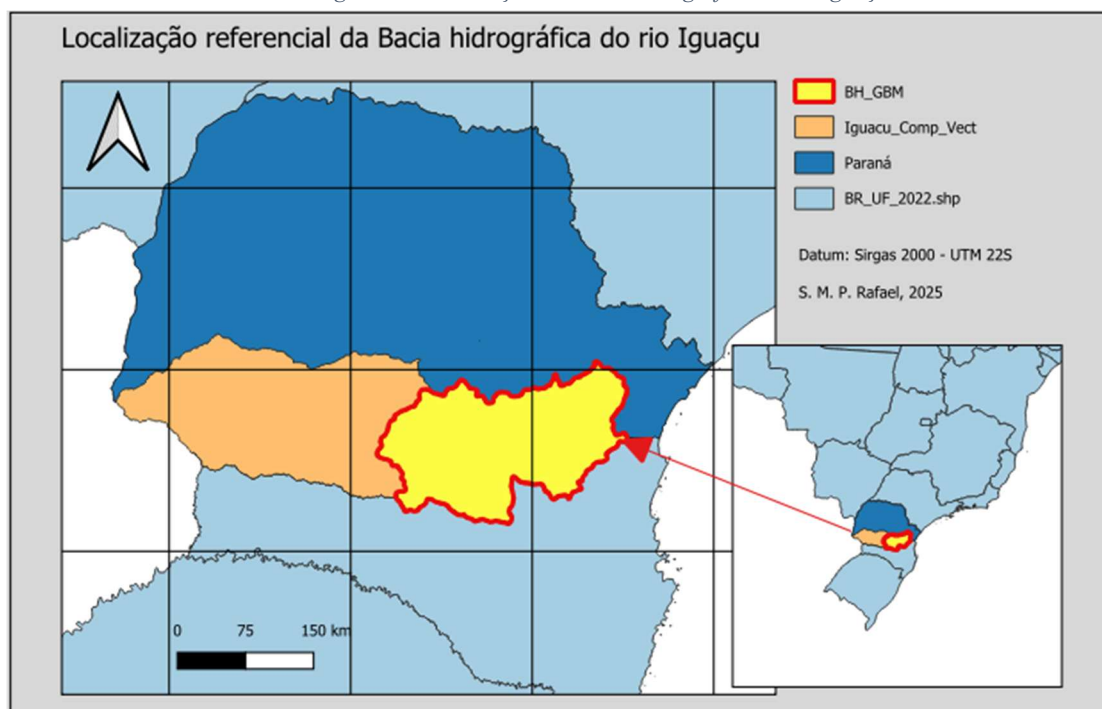
Segundo Bravo, *et al.* (2007), a calibração é uma técnica de otimização na qual os valores dos parâmetros de um modelo hidrológico são modificados pelo usuário ou através de uma técnica numérica, com o objetivo de encontrar uma boa concordância entre os valores calculados (simulados) e os valores observados das variáveis de saída (por exemplo, a vazão nos rios).

O evento de 1983 foi selecionado por ser considerada a cheia de maior repercussão devido à chuva ocorrida e magnitude dos impactos da cheia.

## Ferramentas e dados utilizados

A bacia hidrográfica do rio Iguaçu está localizada predominantemente no estado do Paraná e tem suas nascentes na face oeste da Serra do Mar. Suas águas correm no sentido oeste e desaguam no rio Paraná, na cidade de Foz do Iguaçu, especificamente na divisa dos países Brasil, Argentina e Paraguai. A área de interesse no presente estudo é a região do Alto Iguaçu, trecho onde predomina a baixa declividade e grandes armazenamentos nas várzeas. A Figura 1 ilustra a geolocalização da bacia hidrográfica do rio Iguaçu, com destaque em amarelo para a região do Alto Iguaçu, que compreende a área de drenagem do ponto em análise, o reservatório de Foz do Areia da UHE Governador Bento Munhoz da Rocha Netto. Ainda, para o presente estudo, este trecho foi subdividido em três regiões: trecho alto, trecho médio e trecho baixo.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Iguaçu



O trecho alto compreende a região mais a leste da bacia, onde estão localizadas as nascentes formadoras do rio Iguaçu. Este trecho tem variação em relação a declividade ao longo das sub-bacias, pois as nascentes estão localizadas na Serra do Mar, com grande declividade e sujeitas a eventos de

precipitação distintas do restante da bacia. Estes eventos distintos são provenientes de condições atmosféricas influenciadas pelo Oceano Atlântico.

O trecho médio se caracteriza por regiões de pouca declividade e existência de várzeas com grande armazenamento. Modelar este trecho representa um grande desafio devido as grandes áreas de armazenamento laterais e suas velocidades de enchimento e esvaziamento, influenciando diretamente na velocidade da ascensão, duração de pico e tempo de recessão.

O trecho baixo, áreas próximas ao reservatório, se caracteriza pelo rápido tempo de resposta e grande produção de escoamento superficial.

A Figura 2 detalha a divisão em trechos contemplando as sub-bacias analisadas. No trecho alto estão contempladas as sub-bacias de Porto Amazonas, São Bento e Rio Negro. No trecho médio estão localizadas as sub-bacias de São Mateus do Sul, Pontilhão do Potinga, Divisa e Fluiúpolis. No trecho baixo estão as sub-bacias de União da Vitória (Incremental), Santa Cruz do Timbó, Jangada do Sul e Foz do Areia (Incremental).

*Figura 2 - Divisão da bacia hidrográfica em trechos*



Para levantamento das estações de chuva localizadas nas sub-bacias, foi utilizado o software QGIS, especificamente o Plugin ANA, que permite identificar as estações hidrométricas localizadas em uma determinada região delimitada por polígono e exportar suas informações de código, coordenadas, data de início e fim dos dados, para, posteriormente consultar o banco de dados da Agência Nacional das Águas e Saneamento - ANA para seleção das estações elegíveis.

Após esse filtro, no QGIS é possível realizar a seleção dos pontos das estações aptas a fazerem parte do estudo. Após esse processo é realizado o download dos dados e a análise da série para determinação final das estações a serem utilizadas. Depois, os pontos destas estações retornam ao QGIS para verificação da representatividade de área pelo método de Thiessen, possibilitando estimar as proporções em relação as áreas das sub-bacias, visando a maior densidade e melhor distribuição de estações com dados considerados bons.

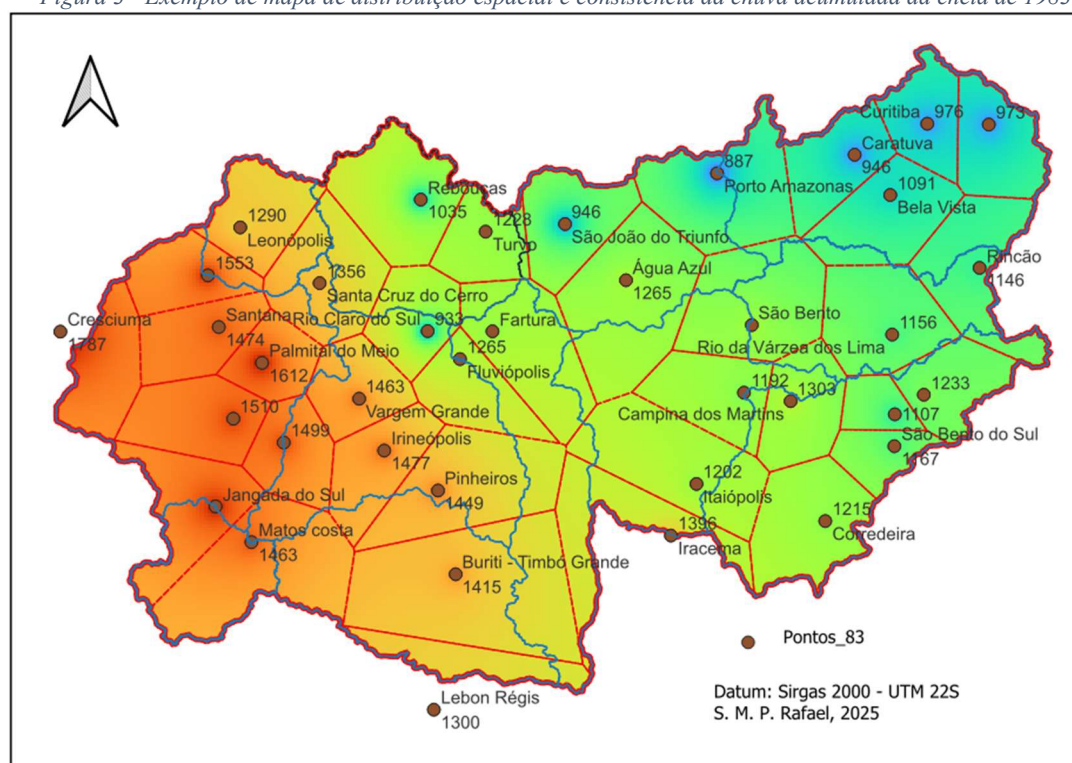
Para adoção das chuvas médias das sub-bacias no presente trabalho, foram realizadas análises



das precipitações acumuladas por período representativo anterior até o fim do evento e, ainda, a análise gráfica de distribuição espacial através da geração dos mapas de isoietas, possibilitando assim a detecção e análise de eventuais distorções nas respostas do escoamento superficial esperado.

A Figura 3 ilustra a distribuição dos postos pluviométricos utilizados, as sub-bacias analisadas e os polígonos de Thiessen traçados. Em média cada polígono das estações pluviométricas representou em torno de 2,56% ou 1 estação para cada 770 km<sup>2</sup> em relação a área de drenagem total, o que se considerou satisfatório segundo os padrões sugeridos pela Organização Mundial de Meteorologia – OMM (2008). Para regiões com as características similares ao estudo de caso, a densidade de pluviômetros recomendada é de 1 pluviômetro para 575 km<sup>2</sup>.

Figura 3 - Exemplo de mapa de distribuição espacial e consistência da chuva acumulada da cheia de 1983



## A Cheia de 1983

O evento de cheia que ocorreu em 1983 é considerado o de maior repercussão desde que a usina entrou em operação, quando houve o registro da maior vazão média diária afluente ao reservatório, 7830 m<sup>3</sup>/s no dia 09/07/1983, quando o reservatório de Foz do Areia havia entrado em operação há apenas 3 anos. As chuvas iniciaram em maio e persistiram ao longo dos meses de junho e julho. Entre os dias 18 e 20/05 houve chuva bem distribuída pela bacia, com média de 100 mm, que elevou a vazão de 1300 para 4000 m<sup>3</sup>/s. No evento principal, a vazão estava em torno de 1600 m<sup>3</sup>/s no dia 04/07 e se elevou para 7830 m<sup>3</sup>/s no dia 09/07. A distribuição da chuva foi a seguinte: no trecho alto o acumulado foi de 238 mm, no trecho médio foi de 321mm e no trecho baixo foi de 373 mm.

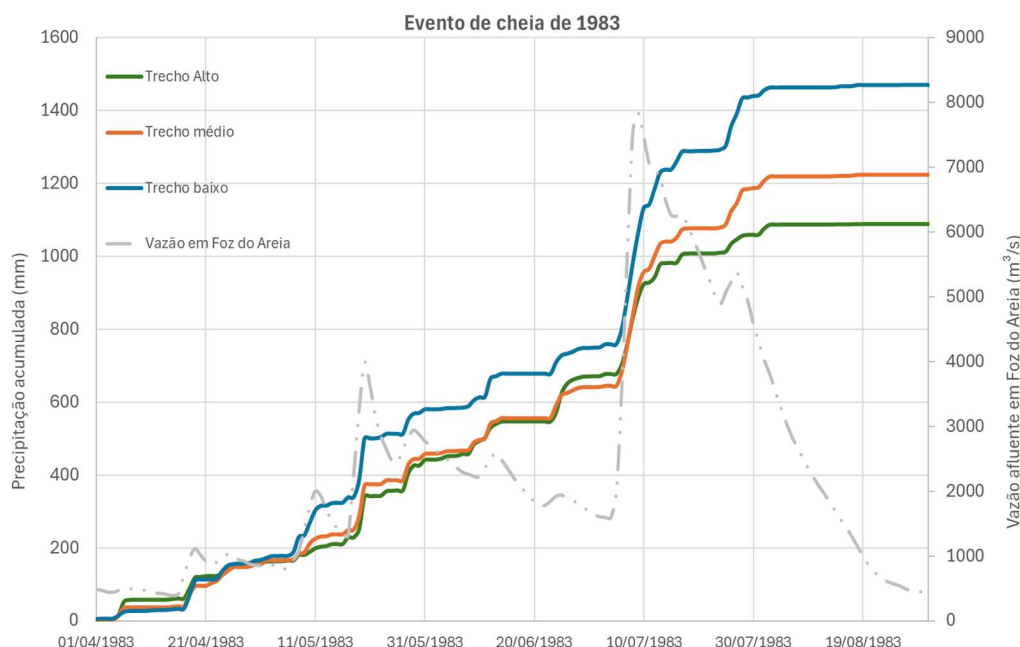
As chuvas observadas neste evento foram mais significativas na região baixa da bacia, onde a resposta na vazão é mais rápida. Como forma de comparativo, no dia de registro de maior vazão afluente ao reservatório, dia 09/07/1983, o registro foi de 7830 m<sup>3</sup>/s em Foz do Areia e 3677 m<sup>3</sup>/s em União da Vitória. O que chama atenção é que a área de drenagem incremental entre estes pontos é de

5900 km<sup>2</sup>, o que possibilita estimar a vazão específica para a região do trecho baixo de 703 l/s/km<sup>2</sup> e para os trechos médio e alto de 151 l/s/km<sup>2</sup>.

Este evento foi o escolhido para calibração do modelo hidrológico, tendo em vista o acumulado e as características da ocorrência da chuva, a umidade antecedente ao evento de chuva principal e os valores de vazão observados.

A figura 4 ilustra o acumulado e a distribuição da chuva do evento de 1983 e as vazões afluentes ao reservatório de Foz do Areia. Nota-se um acumulado em torno de 800 mm entre os meses de abril e junho, o que diminui a capacidade de retenção do solo, facilitando o escoamento superficial. Em julho, houve a chuva principal, com acumulados de superiores a 400 mm nos trechos médio e baixo, acarretando e rápida ascensão do hidrograma.

Figura 4 - Evento de cheia de 1983



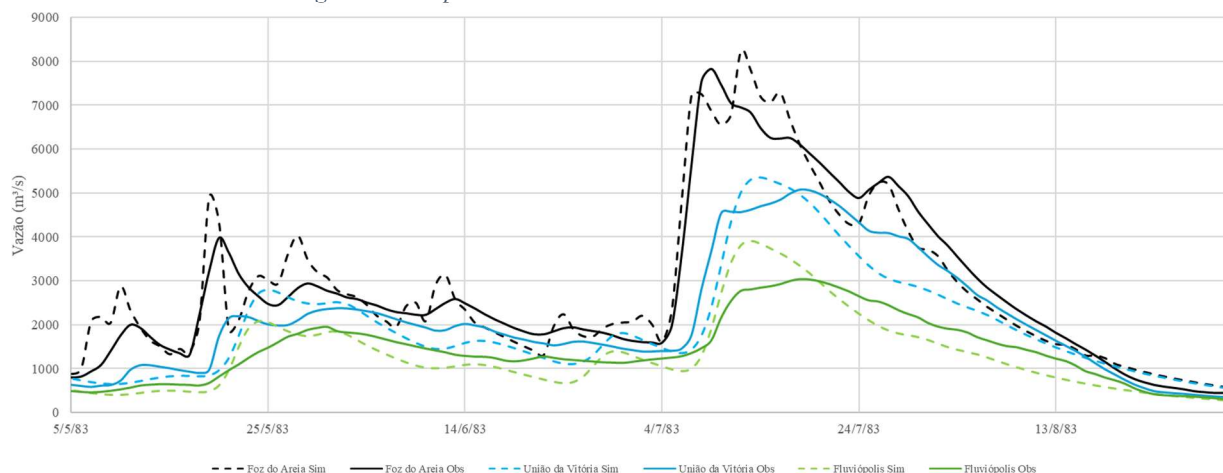
## RESULTADOS

Os resultados obtidos através da metodologia escolhida são considerados, de modo geral, satisfatórios. A calibração foi realizada visando reproduzir cheias históricas com discretização diária, com foco no volume de escoamento superficial gerado pelo software contemplando as fases de ascensão, pico e recessão, além da taxa de ascensão desde a condição inicial até o dia de maior valor.

Como forma de apresentação dos resultados foram escolhidas as sub-bacias que compreendem os trechos médio e baixo da área de interesse, Fluviópolis, União da Vitória e Foz do Areia, onde os resultados compreendem a propagação ao longo da bacia, os quais estão expostos na Figura 5.

É possível verificar que na fase de ascensão o modelo capturou bem o comportamento, com exceção de Fluviópolis, onde o hidrograma da vazão simulada superestimou o volume do pico.

Figura 5 - Comparativo das vazões observadas e simuladas de 1983

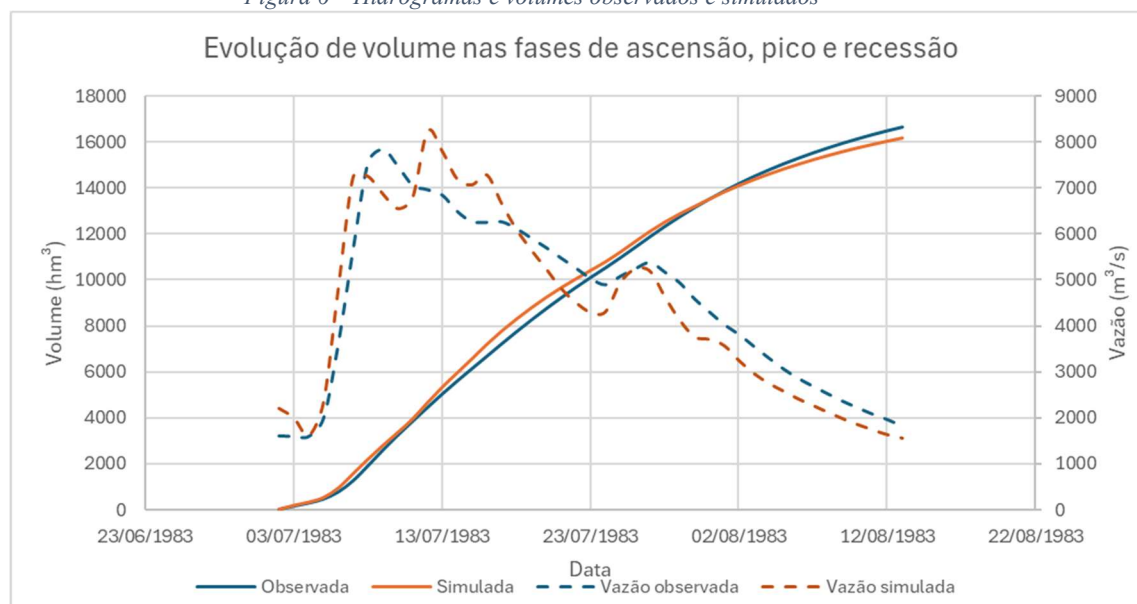


Na Figura 6 é possível verificar o comportamento das vazões da cheia observada, com foco nas fases de ascensão, pico e recessão do hidrograma e o volume de vazão afluente ao reservatório tanto para os dados observados quanto para a simulação para o ponto de controle do reservatório de Foz do Areia. A resposta da vazão no evento de chuva principal ocorreu com taxa de ascensão média diária de  $1546 \text{ m}^3/\text{s}/\text{dia}$ , sendo que a elevação do dia de maior vazão em relação ao dia anterior foi superior a  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Nota-se pela linha laranja a boa aderência dos dados simulados aos dados observados, o que traz o comparativo visual em relação aos métricas de avaliação como taxa de ascensão e volume acumulado.

O volume útil do reservatório de Foz do Areia é de  $3.804,69 \text{ hm}^3$  e no evento analisado este volume foi atingido no oitavo dia e o total afluente ao reservatório foi de 4,56 vezes o volume útil.

Figura 6 – Hidrogramas e volumes observados e simulados



O Quadro 1 ilustra as métricas de avaliação do comportamento do modelo, conforme publicado por Moriasi, et al. (2015). Nota-se que o modelo se enquadra, de forma geral, como satisfatório. Em alguns locais o software parece ter maiores desvios, como é o caso do posto Jangada do Sul, mas isso pode não ser necessariamente um problema para o objetivo a que a calibração de propõe.

*Quadro 1 – Métricas de avaliação de qualidade das simulações*

| Posto fluviométrico  | NSE   | PBias | RSR   |
|----------------------|-------|-------|-------|
| Porto Amazonas       | 0,848 | -2,99 | 0,4   |
| São Bento            | -     | -     | -     |
| Rio Negro            | 0,906 | -8,87 | 0,3   |
| São Mateus do Sul    | -     | -     | -     |
| Divisa               | 0,8   | -0,36 | 0,425 |
| Pontilhão do Potinga | -     | -     | -     |
| Fluviópolis          | 0,797 | -2,74 | 0,5   |
| Santa Cruz do Timbó  | -     | -     | -     |
| União da Vitória     | 0,884 | -1,56 | 0,3   |
| Jangada do Sul       | 0,534 | 36,86 | 0,7   |
| Madeira Gavazzoni    | 0,797 | 13,03 | 0,5   |
| Foz do Areia         | 0,880 | 8,95  | 0,3   |

- Problemas com dados observados.

|                         |
|-------------------------|
| <b>Muito bom</b>        |
| <b>Bom</b>              |
| <b>Satisfatório</b>     |
| <b>Não satisfatório</b> |

Fonte: Moriasi, et al. (2015).

## REFERÊNCIAS

- MORIASI, D.N.; GITAU, M. W.; DAGGUPATI, P. (2015). “*Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria*”. American Society of Agricultural and Biological Engineers, pp. 1763 – 1785.
- HOFFMANN, T. C. P.; MENDONÇA, F.; GOULARD, G. (2014). “*Eventos climáticos extremos: Inundação e gestão de riscos no Paraná*”, in *Riscos Climáticos: Vulnerabilidades e Resiliência Associados*. Org. por Mendonça, F. A. Paco Editorial, Jundiaí – SP, p. 223-260
- BARTLES, M.; BRAUER, T.; HO, D.; FLEMMING, M.; KARLOVITS, G.; PAK, J.; VAN, N.; WILLIS, J. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual. 2022
- TUCCI, C. E. M. (1998). Modelos hidrológicos, Ed. /UFRGS/Associação Universidade Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 668p.
- BRAVO, J. M.; ALLASIA, D. G.; COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C. E. M. (2007). “*Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais*” in Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, Nov. 2007.



WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Guide to Hydrological Practices: Hydrology - From Measurement to Hydrological Information. 6. ed. Geneva, Switzerland, 2008. v. 1, cap. 2, p. 24-27. (WMO - n. 168).