

SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DE EVENTOS EXTREMOS NA BACIA DO ALTO RIO IGUAÇU

André Luiz de Campos¹ & José Eduardo Gonçalves²

Palavras-Chave – modelagem hidrológica, eventos extremos, rio Iguaçu.

INTRODUÇÃO

A partir de 2020, o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) utiliza como ferramenta de suporte um índice para o monitoramento da evolução das condições hidrológicas em tempo real (Juliani *et al.*, 2020). Além do monitoramento ambiental, o SIMEPAR executa previsões, dentre elas as de vazão, sendo parte fundamental deste processo a manutenção de modelos hidrológicos bem calibrados. A combinação do índice com a modelagem hidrológica possibilita que a severidade de eventos extremos (cheias ou secas) seja classificada já na etapa de previsão, criando a oportunidade para os tomadores de decisão de uma mais efetiva prevenção e redução de riscos à população. Este trabalho apresenta a simulação de eventos extremos de seca e cheia identificados pelo índice na região da bacia do rio Iguaçu à montante da UHE Foz do Areia, que é o primeiro empreendimento na cascata de aproveitamentos hidroelétricos da bacia.

METODOLOGIA

A modelagem hidrológica foi feita por meio da aplicação do Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH), descrito mais recentemente por Pontes *et al.*, (2017). A bacia do alto rio Iguaçu foi discretizada de acordo com a aplicação de Campos (2021), resultando em 364 minibacias. As informações topográficas foram obtidas a partir da utilização do Modelo Digital de Elevação (DEM) desenvolvido pelo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 90 m, disponibilizados pelo Grupo Consultivo de Pesquisa Agrícola Internacional (CGIAR). As informações de tipo de solo, de uso e ocupação foram extraídas do mapa de unidades de resposta hidrológicas (URH) para a América do Sul (Fan *et al.*, 2015). Os parâmetros utilizados na ferramenta IPH-HydroTools foram de 100 km² de área de contribuição inicial para a definição da rede de drenagem, 10 km de comprimento para a segmentação em minibacias, um coeficiente de Manning de 0,030, e relações de largura e profundidade dos canais em função da área de contribuição obtidas da avaliação de 14 estações fluviométricas do SIMEPAR e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

As forçantes hidrometeorológicas do modelo consistiram em séries diárias de precipitação e normais climatológicas mensais (temperatura, umidade, pressão atmosférica, velocidade do vento e insolação). As séries de precipitação foram extraídas do produto de reanálise ERA5 do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas em Médio Prazo (ECMWF), cuja resolução espacial é 0,10°, resultando em 693 estações virtuais com dados entre 1961 e 2021. Em relação às normais climatológicas, foram consideradas 11 estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas na região de estudo e seu entorno. Para a simulação hidrológica, o MGB-IPH necessita que as informações de chuva e clima estejam disponibilizadas no centroide de cada minibacia e, por isso, utilizou-se o método da ponderação pelo inverso da distância para a interpolação destes dados. Os dados de vazão foram obtidos das 14 estações fluviométricas utilizadas na etapa de geoprocessamento do modelo, bem como a vazão naturalizada afluente ao reservatório de UHE Foz do Areia (ponto exutório da região de estudo), disponibilizada pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). A Figura 1 detalha a região do alto rio Iguaçu e indica as características da base de dados.

1) Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, DHS/UFPR, andre.campos@simepar.br

2) Doutor, Pesquisador no Sistema Meteorológico do Paraná, SIMEPAR, jose.eduardo@simepar.br

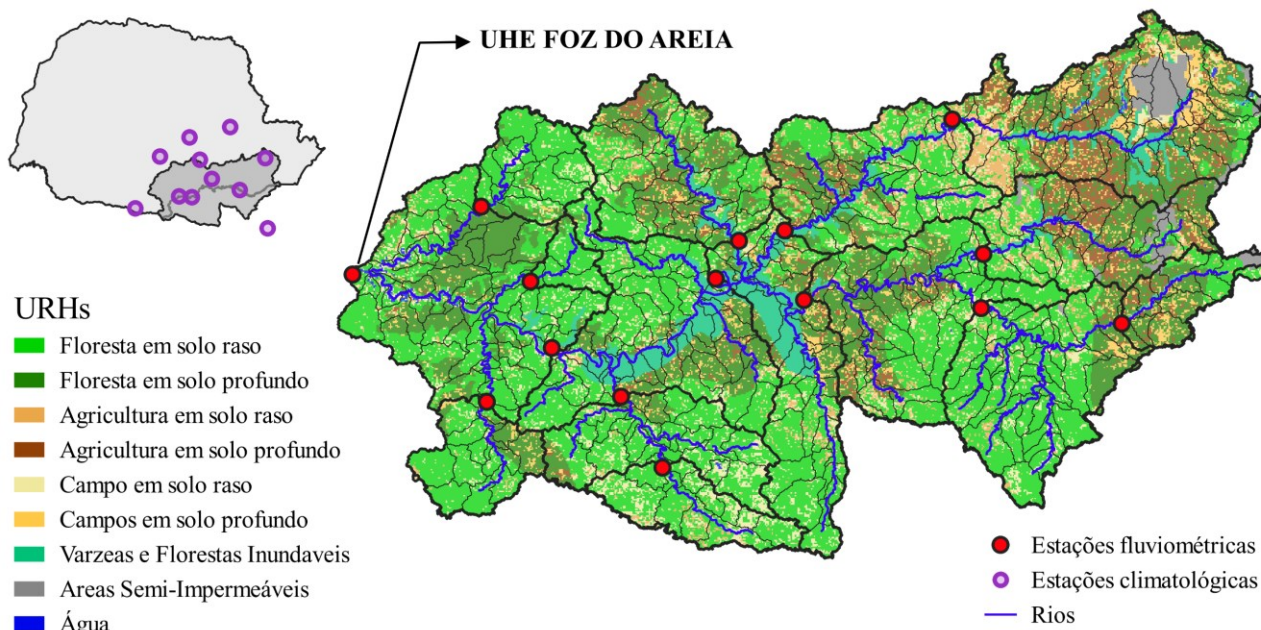


Figura 1. A bacia do alto rio Iguazu. Fonte: autoria própria.

As vazões simuladas pelo modelo ainda passaram por um pós-processamento utilizando um método baseado no mapeamento quantil-quantil (Lozano *et. al*, 2021), que corrige as vazões partindo das funções de distribuição acumuladas (FDAs). Neste método, utilizou-se a distribuição empírica para a construção de uma FDA das vazões simuladas (FDA_{sim}). Ao mesmo tempo, construiu-se uma FDA para as vazões observadas de todo o histórico, excetuando-se o ano do período em análise (FDA_{obs}). Finalmente, converte-se a vazão simulada do evento analisado substituindo-a pela vazão observada equivalente que tenha a mesma probabilidade de não-excedência. A calibração do modelo MGB-IPH foi executada no período de 1969 a 1999, e a validação de 2000 a 2020. As métricas avaliadas foram NSE, NSElog e BIAS.

Em relação aos parâmetros do índice, utilizou-se como vazão de referência (Q_{ref}) os valores de 5% e 95% de excedência para cheias e secas, respectivamente. Além disso, o tempo mínimo entre dois eventos distintos (t_c) foi de 15 dias e a duração mínima do evento (d_c) de 5 dias. A partir dos eventos detectados, identificou-se o início da ascensão dos hidrogramas e fim de suas recessões, sendo os excessos e déficits hídricos recalculados considerando esta duração. Foram selecionados cinco eventos de cheia e de secas para este trabalho, que são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Eventos de cheia e seca selecionados.

CHEIAS EXTREMAS					SECAS EXTREMAS				
ANO	Início	Fim	Duração	Excesso Hídrico (hm ³)	ANO	Início	Fim	Duração	Déficit Hídrico (hm ³)
1983	15 de abril	30 de agosto	137 dias	24769	1985	07 de agosto	18 de janeiro	164 dias	229
1992	11 de maio	11 de setembro	123 dias	12242	2006	06 de junho	31 de agosto	86 dias	213
1998	20 de fevereiro	02 de junho	102 dias	11114	2020 _A	19 de outubro	15 de novembro	27 dias	185
2010	21 de março	17 de junho	88 dias	8976	1979	20 de janeiro	24 de fevereiro	35 dias	141
2014	22 de maio	16 de julho	55 dias	7628	2020 _B	25 de janeiro	05 de junho	132 dias	94

RESULTADOS

A Figura 2 apresenta os resultados da calibração (1969 – 1999) e validação (2000 – 2020) do modelo MGB-IPH. As métricas NSE e NSElog apresentaram valores considerados muito satisfatórios (maiores que 0,85), e o erro no volume em ambas etapas foi menor que 8%, indicando uma pequena subestimação do modelo considerando todo o período de dados.

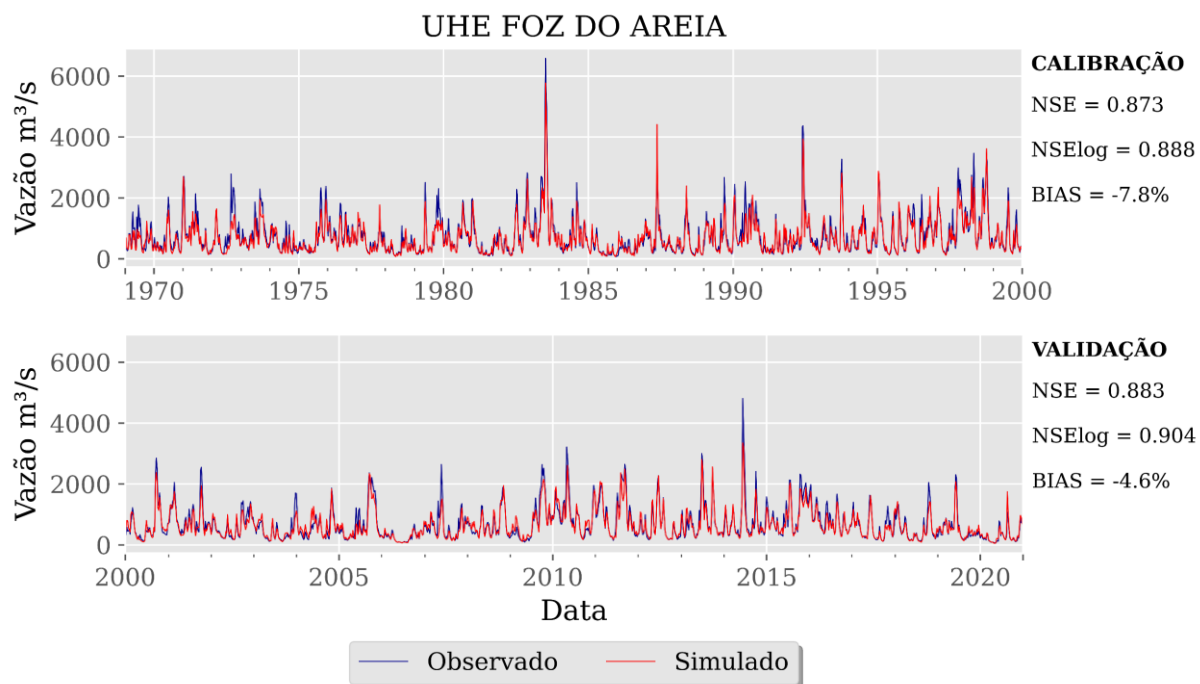


Figura 2. Calibração e validação do modelo MGB-IPH em UHE Foz do Areia. Fonte: autoria própria.

A Tabela 2 apresenta os valores simulados de excesso e déficit hídrico para os eventos selecionados, além de indicar a avaliação qualitativa de capacidade de representação dos eventos, baseada na classificação de Moriasi *et al.* (2015). O modelo MGB-IPH teve uma maior capacidade em simular os excessos hídricos, apresentando inclusive resultados bastante expressivos como é o caso da cheia de 1992. Por outro lado, o evento de seca melhor representado foi o de 2006, mas que, no entanto, foi classificado como insatisfatório por representar apenas 78% do déficit ocorrido naquele ano. Ainda nas secas, o modelo foi incapaz de simular os eventos de 1985 e o 2020_B, uma vez que indicou a ocorrência de excessos hídricos. Cabe notar que ambos os eventos são os de maior duração dentre os que apresentaram déficit hídrico, e esta característica pode indicar uma limitação no conjunto de parâmetros do solo responsáveis pelo escoamento de base.

Tabela 2 – Resultados das simulações dos eventos.

Evento	EVENTOS DE CHEIA			Evento	EVENTOS DE SECA		
	Excesso Hídrico (hm ³)		Capacidade de Representação		Déficit Hídrico (hm ³)		Capacidade de Representação
	Observado	Simulado			Observado	Simulado	
1983	24769	20218	82% ■	1985	229	-395	Incapaz
1992	12242	11818	97% ■	2006	213	167	78% ■
1998	11114	9836	89% ■	2020_A	185	88	48% ■
2014	7628	5453	71% ■	1979	141	51	37% ■
2010	8976	7636	85% ■	2020_B	94	-264	Incapaz

■ Muito bom (≥ 95%)
 ■ Bom (90% a 95%)
 ■ Satisfatório (85% a 90%)
 ■ Insatisfatório (< 85%)

De forma geral, o modelo calibrado foi melhor na representação dos eventos de cheia, apresentando uma leve subestimação dos volumes. No que se refere às secas, as vazões simuladas foram em sua maioria superestimadas. A utilização de um mesmo conjunto de parâmetros para representação de ambos os extremos hidrológicos associado às incertezas nos dados utilizados justifica os resultados obtidos. Eles sugerem, ainda, que os parâmetros selecionados sejam mais adequados para situações em que a bacia armazene maiores volumes.

Finalmente, a Figura 3 apresenta as simulações dos eventos melhor representados dentre os eventos de cheia e seca selecionados.

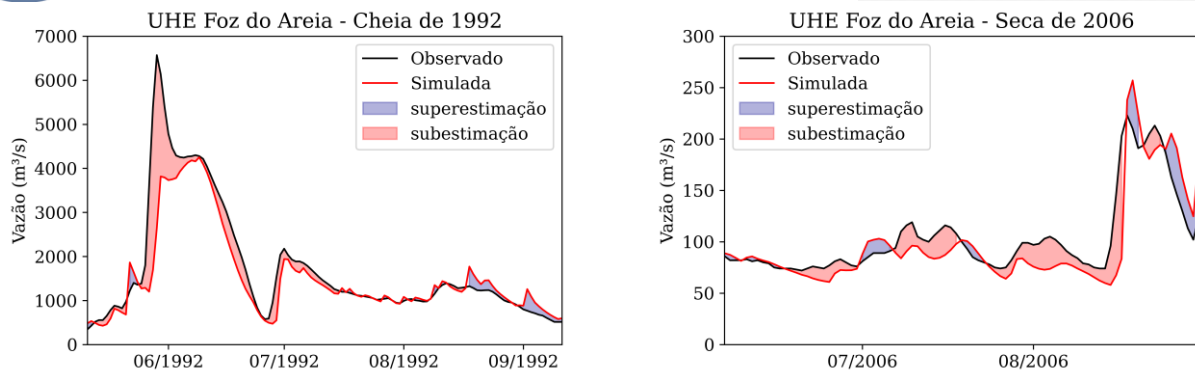


Figura 3. Simulação dos eventos de 1992 (cheia) e 2006 (seca). Fonte: autoria própria.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram o desafio que é a simulação de eventos extremos como inundações e secas. Especialmente na bacia do rio Iguaçu, que não possui sazonalidade definida, a variabilidade espaço-temporal das precipitações corrobora para uma maior complexidade na obtenção de um conjunto de parâmetros adequados para a representação dos processos hidrológicos. Apesar disto, alguns eventos, em especial os de cheia, tiveram resultados satisfatórios tendo em vista suas magnitudes e sua raridade, implicando assim em uma maior confiança na ferramenta de suporte ao monitoramento hidrológico deste tipo de extremo.

Neste sentido, recomenda-se que, para a construção de uma ferramenta robusta, outras fontes de dados, técnicas de calibração e pós-processamento, e principalmente uma maior diversificação de modelos hidrológicos sejam utilizados. As etapas seguintes deste trabalho consideram a investigação dos dados do ERA5 durante o período destes eventos, a consideração de outras distribuições estatísticas na correção das vazões simuladas (uma vez que a distribuição empírica dificulta a extrapolação), a adequação dos parâmetros de escoamento subterrâneo, e a avaliação de outros modelos hidrológicos para a representação da bacia.

REFERÊNCIAS

- CAMPOS, A. L. (2021). *Calibração de um modelo hidrológico de grandes bacias com um sistema integrado de estimativa de chuvas*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 274.
- FAN, F.M.; BUARQUE, D.C.; PONTES, P.R.M.; COLLISCHONN, W. (2015). “Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul” in Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, 2015, pp. 1-8.
- JULIANI, B. H. T.; CAMPOS, A. L.; ALMEIDA, A. S.; LEITE, E. A. (2020). “Índice Operacional para o Monitoramento de Seca Hidrológica no Alto Iguaçu” in Anais do II Encontro Nacional de Desastres, 2020, pp. 1-4.
- LOZANO, J. S.; BUSTAMANTE, G. R.; HALES, R. C.; NELSON, E.J.; WILLIAMS, G. P.; AMES, D. A.; JONES, N. L. (2021). “A streamflow bias correction and performance evaluation web application for GEOGloWS ECMWF streamflow services”. *Hydrology* 8(2):71.
- MORIASI, D. N.; GITAU, M. W.; PAI, N.; DAGGUPATI, P. (2015) “Hydrologic and water quality models: performance measures and evaluation criteria”. *Transactions of the ASABE*. 58(6), pp. 1763-1785.
- PONTES, P. R. M.; FAN, F. M.; FLESCHMANN, A. S.; CAUDURO, R. D. (2017). “MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS”. *Environmental Modelling and Software* 94, pp. 1-20.

AGRADECIMENTOS

Os resultados deste trabalho fazem parte do 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).