

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

SIMULAÇÕES CHUVA-VAZÃO PELO MGB-IPH NA BACIA DO RIO TOCANTINS UTILIZANDO A BASE DE PRECIPITAÇÃO CHIRPS

Mateus Seiji Saito¹; Leticia Sayuri Okamoto²; Daniel Henrique Marco Detzel³

Abstract: This study proposes an analysis of the applicability of CHIRPS data in the Tocantins River basin for daily-scale rainfall-runoff simulations. The selected model was MGB-IPH, as the study area is a large-scale basin with approximately 304,000 km² of drainage area. CHIRPS is a gridded precipitation dataset and can serve as an alternative to rain gauge data in regions with limited monitoring. Previous studies report that this dataset shows better agreement on monthly and annual scales, while being less accurate on a daily scale when compared to in-situ observations. However, some studies have shown good results using CHIRPS data for daily-scale rainfall-runoff simulations. The main reason for this is that calibration in hydrological models can compensate for observed biases in the data. To perform the simulations, two calibrations were tested: the first calibration was conducted using rain gauge data, while the second used CHIRPS data. The results show that this dataset performed better in simulating low-flow discharges, with average NSE-log and NSE values of 0,826 and 0,481, respectively, during the validation period.

Resumo: Neste estudo é realizada uma análise da aplicabilidade dos dados do CHIRPS na bacia do rio Tocantins para simulações do tipo chuva-vazão, em escala diária. O modelo escolhido foi o MGB-IPH, uma vez que a área de estudo se trata de uma bacia de grande escala, com aproximadamente 304.000 km² de área de drenagem. O CHIRPS é um conjunto de dados de precipitação disponibilizado na forma de *grid*, e pode ser uma alternativa para substituir dados de estações pluviométricas em locais com monitoramento escasso. Estudos anteriores relatam que essa base de dados apresenta ajustes superiores na escala mensal e anual, sendo pouco precisos em escala diária, quando comparados com observações *in-situ*. No entanto, alguns estudos evidenciam bons resultados em aplicações com o CHIRPS em simulações chuva-vazão na escala diária. A principal razão para isso, é que a calibração dos modelos hidrológicos possibilita compensar tendências observadas nos dados. Para realizar as simulações, foram testadas duas calibrações para o modelo: a primeira calibração foi realizada com dados de estações pluviométricas, enquanto a segunda, foi realizada por meio dos dados do CHIRPS. Os resultados demonstram que essa base de dados apresentou desempenhos melhores na simulação das vazões de pequena intensidade, com valores médios de NSE-log e NSE de 0,826 e 0,481, respectivamente, para o período de validação.

Palavras-Chave – Modelagem hidrológica; CHIRPS; MGB-IPH.

INTRODUÇÃO

A modelagem hidrológica é uma das ferramentas utilizadas para representar os processos relacionados aos sistemas hidrológicos. Entre as alternativas de modelos, os do tipo chuva-vazão podem ser aplicados para se obter séries de vazão em seções de rios onde não há dados de

1) UFPR. Av. Cel. Francisco H. dos Santos nº 100, mateussaito@ufpr.br

2) UFPR. Av. Cel. Francisco H. dos Santos nº 100, okamosayuri06@gmail.com

3) Departamento de Hidráulica e Saneamento, UFPR, detzel@ufpr.br

monitoramento disponíveis. Essa aplicação de modelos chuva-vazão, pode ser utilizada para elaborar estudos de disponibilidade hídrica, eventos extremos, impactos na mudança da cobertura e uso do solo, entre outros.

No Brasil, a forma mais comum de se obter dados de precipitação é por meio de estações pluviométricas, disponibilizados por órgãos como a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No entanto, em muitas regiões do território brasileiro a quantidade de estações pode ser bastante escassa. Assim, o desempenho de modelos chuva-vazão nestas localidades pode ser afetado pela pouca quantidade de dados.

Para esses casos, bases alternativas de chuva podem ser utilizadas. Entre as opções, uma base de dados investigada em estudos prévios é o CHIRPS (*Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations*), desenvolvido pelo *United States Geological Survey* (USGS) e o *Climate Hazards Group* da Universidade da Califórnia, Santa Barbara (UCSB) (FUNK *et al.*, 2015). Este conjunto de dados pluviométricos é obtido com base em imagens estimadas por sensores infravermelhos de satélite, estimativas climáticas e dados de estações (observações *in-situ*). O CHIRPS possui uma série de dados de mais de 30 anos, disponibilizada em escala *quasi-global* (50°N – 50°S) e precisão espacial de 0,05° (aproximadamente 5 km).

Por ser uma base de dados que corrige as estimativas de satélite utilizando dados de observações *in-situ*, o CHIRPS pode apresentar desempenhos melhores em simulações chuva-vazão, em relação a outros conjuntos de precipitação obtidos unicamente por satélite (CORREA *et al.*, 2017). A principal razão para isso é que a calibração com dados de estações auxilia a reduzir a incerteza associada as estimativas via satélite. Alguns estudos indicam que o CHIRPS apresenta melhor capacidade em representar a precipitação em escala mensal e anual, não tendo um bom desempenho em escala diária, e que a subestimativa ou superestimativa dos dados pode variar com a localização e sazonalidade (BÖCK *et al.*, 2023; ULIANA *et al.*, 2024). Outros autores também reportam uma tendência do CHIRPS em subestimar a chuva durante os meses chuvosos e superestimar durante os períodos de estiagem (PAREDES-TREJO *et al.*, 2017; DU *et al.*, 2023).

Quanto à aplicabilidade do CHIRPS em simulações hidrológicas, apesar de terem sido verificadas as limitações descritas no parágrafo anterior, alguns estudos demonstram resultados satisfatórios em simulações chuva-vazão nessa escala temporal (SHAHID *et al.*, 2021; LUO *et al.*, 2019). Uma das razões para explicar isso, pode estar associada à calibração dos parâmetros dos modelos hidrológicos, sendo possível reduzir as incertezas dos dados e compensar tendências observadas nas séries simuladas.

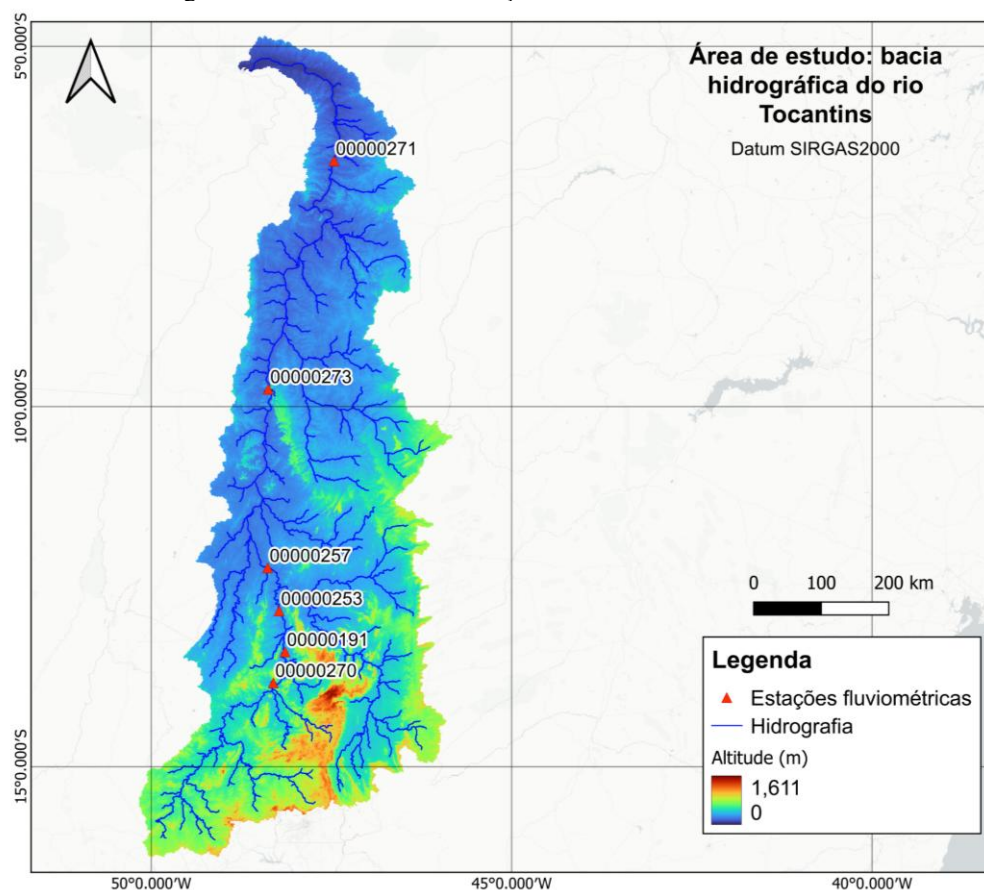
O presente trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação da aplicabilidade dos dados do CHIRPS para modelagem hidrológica, em escala diária, em uma bacia de grande escala, neste caso, a bacia do rio Tocantins. Para realizar as simulações foi escolhido o MGB (Modelo de Grandes Bacias), desenvolvido pelo IPH (Instituto de Pesquisas Hidráulicas) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, uma vez que esse modelo é indicado para aplicações em bacias de grande escala com áreas de drenagem superiores a 1.000 km² (COLLISCHONN *et al.*, 2007). A área de estudo, foi escolhida com base no estudo realizado por Ávila *et al.* (2022). A bacia do rio Tocantins possui uma área de drenagem de aproximadamente 304.000 km², se estendendo pelos estados do Maranhão, Tocantins, Goiás e Distrito Federal. Possui grande relevância para a geração de energia do Brasil, sendo o berço para grandes usinas hidrelétricas como UHE Serra da Mesa, UHE Cana Brava, UHE Peixe-Angical, entre outras. Ela é uma sub-bacia da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, a qual possui grande importância hídrica, ambiental e socioeconômica (ANA, 2009).

METODOLOGIA

Estações fluviométricas

Para realizar as simulações na bacia hidrográfica do rio Tocantins, foram utilizadas as vazões naturalizadas disponibilizadas no portal de dados abertos do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Ordenando as estações de montante para jusante, as estações selecionadas foram: 00000270 (Serra da Mesa – SM), 00000191 (Cana Brava – CB), 00000253 (São Salvador – SAO), 00000257 (Peixe Angelical – PA), 00000273 (Lajeado – LJ) e 00000271 (Estreito – EST), conforme apresentado na Figura 1. Como citado anteriormente, a bacia do rio Tocantins possui diversos barramentos, os quais foram desconsiderados neste estudo, sendo adotadas vazões naturalizadas da ONS. Essas vazões naturalizadas são calculadas por meio de dados hidráulicos de barragens e permitem avaliar as vazões de um ponto sem a influência do barramento de usinas e outorgas de uso de água, sendo especialmente úteis para avaliar o desempenho de simulações hidrológicas.

Figura 1 – Área de estudo e estações fluviométricas selecionadas



Na Tabela 1 estão apresentadas as estatísticas de vazões para o histórico de dados e nos períodos de calibração e validação. Por meio dos dados é possível observar que o período de calibração apresenta valores de vazões com magnitude bem próximas ou acima dos valores observados no histórico, sendo um período de vazões mais elevadas onde na maioria das estações foi registrada a máxima histórica. O período de validação, por sua vez, parece ser um período de vazões médias mais baixas, em comparação ao histórico.

Tabela 1 – Estatísticas das vazões do histórico e períodos de calibração e validação

Estação	Histórico (2000-2024)			Calibração (2019-2024)			Validação (2014-2019)		
	Méd. (m ³ /s)	Mín. (m ³ /s)	Máx. (m ³ /s)	Méd. (m ³ /s)	Mín. (m ³ /s)	Máx. (m ³ /s)	Méd. (m ³ /s)	Mín. (m ³ /s)	Máx. (m ³ /s)
SM	602	48	5464	569	55	4856	434	60	4230
CB	673	13	5627	646	73	5627	484	71	4350
SAO	745	72	6406	722	89	6406	533	79	4652
PA	1289	126	13431	1323	171	13431	916	126	8212
LJ	1879	128	19432	1953	230	19432	1325	172	11699
EST	3313	269	22017	3342	643	22017	2589	494	14615

Modelo MGB-IPH

Em pequenas bacias hidrográficas, é comum considerá-la como homogênea, adotando um mesmo valor de precipitação, cobertura vegetal, entre outros parâmetros que interferem no escoamento, sem que haja um grande impacto nos resultados. No entanto, quando se trata de grandes bacias, fazer essa simplificação pode resultar em um desempenho mais baixo (ÁVILA *et al.*, 2022). Portanto, o IPH desenvolveu o MGB, que é uma ferramenta utilizada para modelagem hidrológica do tipo chuva-vazão semi-distribuído, voltado para grandes bacias. Este modelo utiliza equações físicas e conceituais para simular o ciclo hidrológico. Nele, a bacia é dividida em mini-bacias delimitadas por segmentos de cursos d'água. Estas, por sua vez, são divididas em Unidades de Resposta Hidrológica (URHs), que possuem seus respectivos processamentos de precipitação, evapotranspiração, topografia, cobertura vegetal e parâmetros do solo. A ferramenta do IPH realiza um balanço hídrico nessas URHs, e representa a propagação dos escoamentos superficiais, sub-superficiais e subterrâneos. Para detalhamentos metodológicos e equacionamentos, recomenda-se consulta a Collischonn *et al.* (2007).

Calibração e Validação

A calibração do modelo MGB-IPH é realizada por meio dos parâmetros de solo do modelo, podendo ser feita por meio de tentativa e erro ou de forma automática. Uma descrição dos processos de calibração do MGB-IPH, pode ser encontrada em Jardim *et al.* (2017). A utilidade do período de calibração é ajustar os dados simulados aos observados. No caso de um modelo chuva-vazão, são realizados ajustes nos parâmetros de calibração para aproximar as vazões simuladas às observadas. O período de validação, por sua vez, tem a função de testar a capacidade de generalização do modelo para simular dados em um período ou cenário diferentes do utilizado na calibração. No presente trabalho, os períodos de calibração e de validação foram apresentados anteriormente na Tabela 1.

Quanto às calibrações realizadas, foram testadas duas alternativas para realizar em simulações utilizando os dados do CHIRPS. A primeira calibração (calibração 1) foi realizada com base nas simulações utilizando dados de chuva provenientes de estações pluviométricas. A segunda calibração (calibração 2), foi realizada por meio das simulações realizadas utilizando o próprio conjunto de dados CHIRPS.

Para avaliar o desempenho das simulações hidrológicas, foi utilizada a métrica de eficiência Nash-Sutcliffe (NSE), sua forma logarítmica (NSE-log) e a porcentagem de viés médio (BIAS). O NSE (equação 1) é uma métrica que é comumente utilizada para avaliar o desempenho de simulações hidrológicas e varia de $-\infty$ a 1, sendo 1 o valor ótimo. O NSE-log (equação 2) é a versão logarítmica do NSE e é aplicado para avaliar as simulações sem tanta influência de valores mais elevados de vazão, tendo em vista que a função logarítmica achata os picos do hidrograma. O BIAS (equação 3) mede as tendências percentuais médias, variando entre $-\infty$ e $+\infty$, sendo que os valores positivos

indicam tendências médias de superestimativa, enquanto valores negativos indicam subestimativas. Nas equações abaixo, Q_{sim} representa os valores de vazão simulada, Q_{obs} são os valores de vazão observada e $\overline{Q_{obs}}$ é a média das vazões observadas.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T [Q_{sim}(t) - Q_{obs}(t)]^2}{\sum_{t=1}^T [Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}}]^2} \quad (1)$$

$$NSE - log = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T [\ln(Q_{sim}(t)) - \ln(Q_{obs}(t))]^2}{\sum_{t=1}^T [\ln(Q_{obs}(t)) - \ln(\overline{Q_{obs}})]^2} \quad (2)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{sim}(t) - Q_{obs}(t))}{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}(t))} \quad (3)$$

Essas métricas foram posteriormente classificadas de acordo com os critérios apresentados na Tabela 2 (MORIASI *et al.*, 2007).

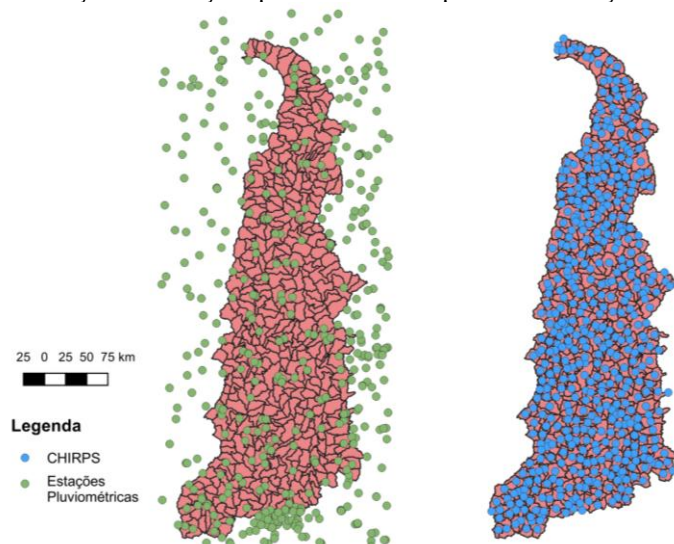
Tabela 2 – Critérios para avaliar o desempenho de simulações hidrológicas

Classificação	NSE e NSE-log	BIAS
Muito bom	$0,75 < NASH \text{ e } NASH\text{-log} \leq 1,00$	$BIAS \leq \pm 10$
Bom	$0,65 < NASH \text{ e } NASH\text{-log} \leq 0,75$	$\pm 10 \leq BIAS \leq \pm 15$
Satisfatório	$0,50 < NASH \text{ e } NASH\text{-log} \leq 0,65$	$\pm 15 \leq BIAS \leq \pm 25$
Insatisfatório	$NASH \text{ e } NASH\text{-log} \leq 0,50$	$BIAS \geq \pm 25$

Bases de precipitação utilizadas

Para a elaboração deste artigo foram utilizadas duas bases de precipitação. A primeira base utilizada foi de estações pluviométricas obtidas junto ao portal HIDROWEB, disponibilizado pela ANA. Os dados de estações pluviométricas foram utilizados para gerar simulações de referência, no comparativo entre as métricas de desempenho calculadas. A segunda base utilizada foi o conjunto de dados de precipitação CHIRPS. Na Figura 2 está apresentada a localização das estações pluviométricas selecionadas e dos pontos de dados do conjunto CHIRPS.

Figura 2 – Localização das estações pluviométricas e pontos de extração dos dados do CHIRPS



Os dados de estações pluviométricas foram obtidos por meio da ferramenta *Ana Data Acquisition*, integrada ao *Quantum Gis* (QGIS) na forma de um complemento. Os dados do CHIRPS foram obtidos por meio do *Google Earth Engine* (GEE) utilizando a técnica pixel-a-ponto. Nessa técnica as informações são extraídas do *grid* de precipitações por meio de pontos. Para extração dos dados do CHIRPS foi inserido um ponto no centroide de cada mini bacia definida por meio do MGB-IPH.

RESULTADOS

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados das métricas de desempenho durante os períodos de calibração e validação, para as simulações realizadas com dados de estações pluviométricas e da base CHIRPS.

Tabela 3 – Métricas de desempenho para o período de calibração e validação para simulações com dados de estações pluviométricas e CHIRPS

Análise	Estação	Calibração (2019-2024)				Validação (2014-2019)			
		NSE	NSE-log	BIAS (%)	Classificação	NSE	NSE-log	BIAS (%)	Classificação
Estações Pluviométricas (Calibração 1)	SM	0,907	0,946	-0,64	Muito Bom	0,873	0,914	-1,94	Muito Bom
	CB	0,918	0,955	2,39	Muito Bom	0,884	0,919	4,56	Muito Bom
	SAO	0,937	0,962	-1,99	Muito Bom	0,893	0,925	1,74	Muito Bom
	PA	0,939	0,957	-0,024	Muito Bom	0,919	0,925	4,96	Muito Bom
	LJ	0,940	0,970	-2,22	Muito Bom	0,875	0,929	6,72	Muito Bom
	EST	0,929	0,970	1,49	Muito Bom	0,936	0,941	-2,26	Muito Bom
CHIRPS (Calibração 1)	SM	0,680	0,885	-23,44	Satisfatório	0,753	0,865	2,54	Muito Bom
	CB	0,758	0,915	-17,12	Satisfatório	0,751	0,865	9,89	Muito Bom
	SAO	0,739	0,917	-19,98	Satisfatório	0,778	0,881	6,79	Muito Bom
	PA	0,845	0,925	-6,33	Muito Bom	0,632	0,803	29,01	Insatisfatório
	LJ	0,831	0,949	-6,27	Muito Bom	0,314	0,843	29,90	Insatisfatório
	EST	0,876	0,948	-5,82	Muito Bom	0,621	0,883	20,65	Satisfatório
CHIRPS (Calibração 2)	SM	0,803	0,908	-2,49	Muito Bom	0,51	0,790	29,09	Insatisfatório
	CB	0,846	0,921	1,20	Muito Bom	0,500	0,791	32,26	Insatisfatório
	SAO	0,851	0,930	-4,17	Muito Bom	0,609	0,825	26,62	Insatisfatório
	PA	0,872	0,941	-3,581	Muito Bom	0,537	0,831	31,44	Insatisfatório
	LJ	0,849	0,949	-3,241	Muito Bom	0,216	0,845	33,59	Insatisfatório
	EST	0,866	0,935	-2,494	Muito Bom	0,518	0,877	24,46	Satisfatório

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3, observa-se que as métricas para as simulações com os dados do CHIRPS, tanto para a calibração 1 como para a calibração 2, foram em sua maioria bem classificadas de acordo com seu desempenho nas simulações no período de calibração. As únicas estações que apresentaram um desempenho um pouco inferior às demais, foram as estações SM, CB e SAO, na calibração 1, onde os valores de NSE e BIAS apresentaram os piores desempenhos. No entanto, quando aplicados para o período de Validação, as métricas de desempenho foram, de forma geral, insatisfatórias para a maior parte das estações na calibração 2. Em relação a calibração 1, as estações mais a montante apresentaram métricas com classificação melhores que as de jusante. Na calibração e validação a métrica que apresentou o melhor desempenho foi o NSE-log, indicando que as vazões ficaram melhor representadas quando o peso dos picos foi atenuado nos cálculos.

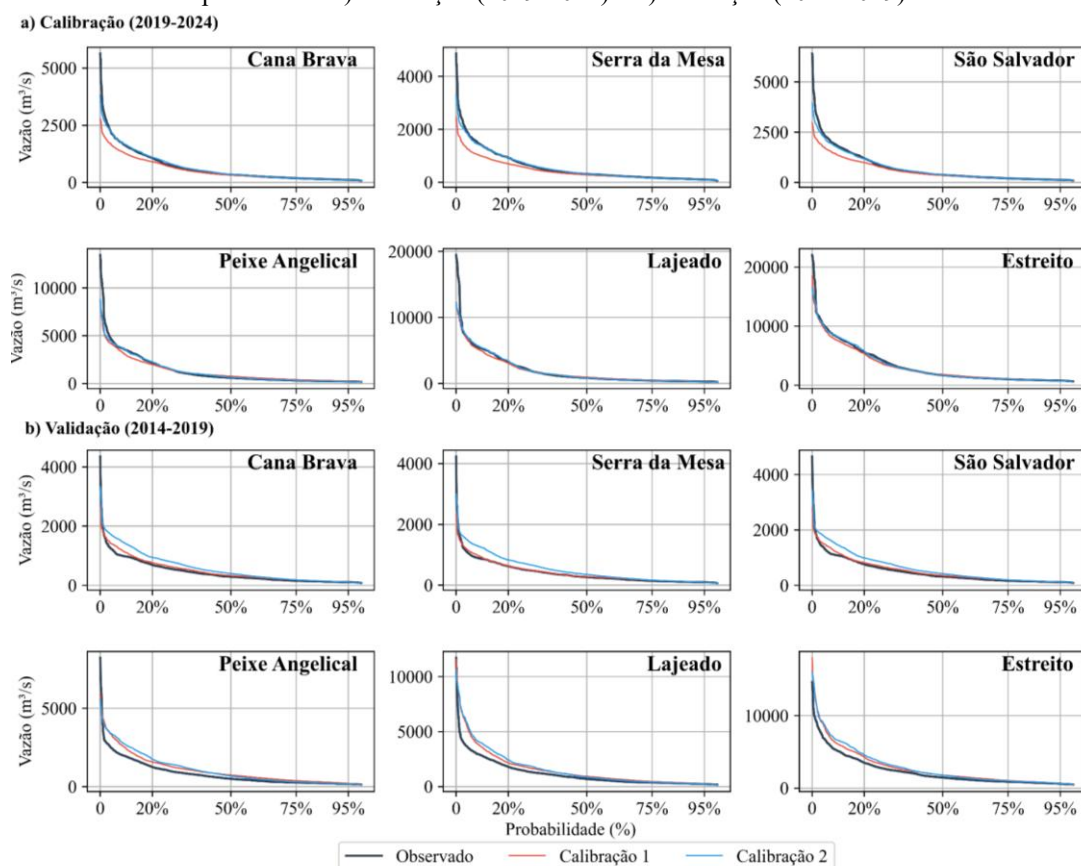
Em relação aos valores de NSE durante o período de calibração, na calibração 1 os valores de NSE variaram entre 0,680 (Bom) e 0,876 (Muito Bom), enquanto na calibração 2, essa métrica apresentou melhora, principalmente nas estações SM, CB e SAO, e variou entre 0,803 e 0,872, ambos classificados como um resultado muito bom. Quanto aos valores de NSE-log, as métricas variaram entre 0,885 e 0,949 na calibração 1 e para a calibração 2, os valores de NSE-log também apresentaram melhoras em relação a primeira calibração, com valor mínimo de 0,908 e máximo de 0,949. Os

valores de referência obtidos por meio das simulações com dados de estações pluviométricas, variaram entre 0,907 e 0,940 para o NSE e os valores de NSE-log ficaram entre 0,946 e 0,970. Desse modo, apesar de estarem inferiores às métricas das simulações com os dados de referência, a métrica que apresentou os melhores resultados durante o período de calibração foi o NSE-log.

Em relação ao período de validação, os valores de NSE apresentaram uma redução bastante evidente do desempenho em relação ao período de calibração, variando entre 0,314 e 0,778, para a calibração 1, e 0,216 e 0,609, para a calibração 2. Os valores de NSE-log mantiveram o desempenho observado no período de calibração e variaram entre 0,803 e 0,883, com a calibração 1, enquanto na calibração 2 essa métrica apresentou resultados entre 0,790 e 0,877. Em relação às métricas de referência, na validação o NSE variou entre 0,873 e 0,936 e o NSE-log resultou entre 0,914 e 0,941. É possível observar que na calibração 1 e 2, os resultados foram pouco satisfatórios para o NSE durante a validação, com a calibração 1 apresentando desempenho um pouco melhor para essa métrica. Isso é um indicativo de que houve uma piora na representação dos picos nesse período. Em relação ao NSE-log, a calibração 1 e 2 apresentaram desempenhos similares e bastante satisfatórios. Ambas as métricas durante a validação, apresentaram desempenhos inferiores com simulações utilizando dados do CHIRPS, em relação a base de referência.

Na Figura 3 estão apresentadas as curvas de permanência para as simulações com o CHIRPS na calibração 1 e 2.

Figura 3 – Curvas de permanência para os dados observados e simulações com o CHIRPS na calibração 1 e 2 nos períodos de a) calibração (2019-2024) e b) validação (2014-2019)



Em relação aos vieses médios observados, na calibração houve predominância de subestimação dos dados, com valores de BIAS variando entre -5,28% e -23,44% para a calibração 1 e 1,20% e -4,17%, para a calibração 2. Enquanto na validação foi observada uma tendência média de

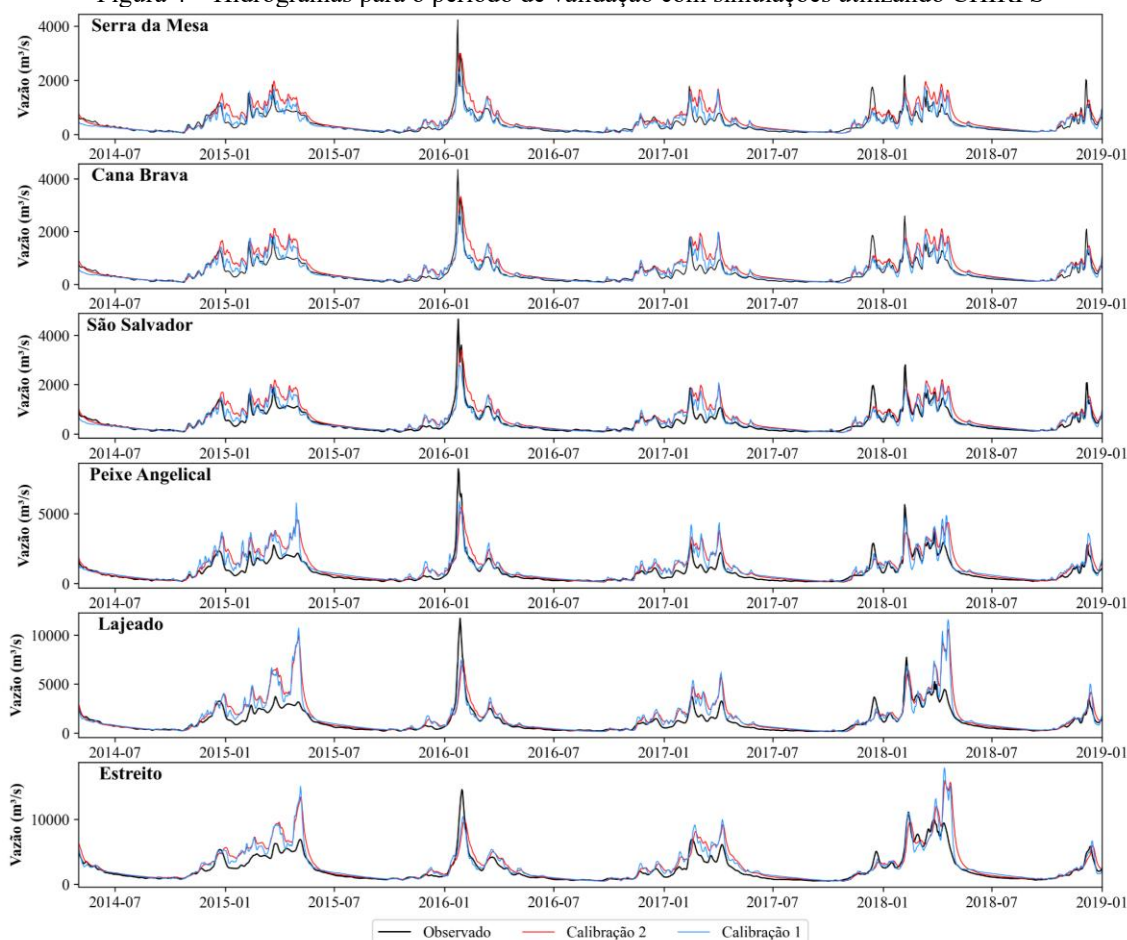
superestimação, com BIAS variando entre 2,54% e 29,90% na calibração 1 e 24,46% e 33,49% para a calibração 2. É possível observar que as estações que apresentaram os maiores vieses negativos durante o período de calibração (SM, CB e SAO, na calibração 1), apresentaram os melhores desempenhos na validação. De forma geral, os vieses médios em simulações com o CHIRPS apresentaram resultados piores em relação as simulações de referência.

Quanto às tendências gerais observadas nas curvas de permanência, é possível observar que as vazões simuladas com maiores probabilidades, como 95% e 99%, apresentaram os melhores ajustes em relação aos dados observados nos períodos de validação e calibração, tanto para os testes com a calibração 1 quanto calibração 2. Em relação a vazões de grande intensidade (superiores à permanência de 1%), houve uma tendência geral de subestimativa dos dados, com exceção da estação Estreito no período de validação, onde foi observada superestimativa.

Para a calibração 1, as estações CB, SM e SAO, apresentaram subestimativa mais evidentes das vazões com probabilidades entre 1% e 50%, no período de calibração. Na calibração 2 as subestimativas observadas nessas estações no período de calibração foram compensadas. No período de validação, as estações CB, SM e SAO na calibração 1, foram as estações que apresentaram os melhores ajustes de curva de permanência, em relação aos dados observados. Com exceção dessas estações, as outras simulações apresentaram uma tendência de superestimativa dos dados na calibração 1 e 2.

Os hidrogramas das simulações com o CHIRPS para as calibrações 1 e 2 estão apresentados na Figura 4 em conjunto com os dados observados.

Figura 4 – Hidrogramas para o período de validação com simulações utilizando CHIRPS



É possível verificar que o evento de vazão máxima, no ano de 2016, da série apresentou subestimação para todas as estações nas duas calibrações. Enquanto para os anos hidrológicos de 2015, 2017, 2018 e 2019 a principal tendência observada foi a de superestimação dos dados nos períodos chuvosos. Os períodos de estiagem ficaram melhor representados que os períodos chuvosos.

CONCLUSÃO

Durante este artigo foi relatada uma experiência com simulações chuva-vazão utilizando a base de precipitações CHIRPS. Os resultados obtidos demonstraram que a principal tendência observada nos períodos de calibração foi a de subestimação das vazões de maior magnitude. Essa tendência pôde ser observada principalmente por meio das curvas de permanência obtidas nas simulações do modelo. Quanto à validação, foi observada a subestimação do evento de vazão máxima do período, enquanto os outros períodos que foram de vazões menores ficaram superestimados, de modo que a tendência geral observada na validação foi a de superestimação.

Uma hipótese para explicar a diferença entre os desempenhos observados na calibração e validação nas simulações com o CHIRPS, pode ser a diferença entre as estatísticas de vazões desses dois períodos. Durante o período de calibração foram registradas as vazões máximas observadas no histórico das estações, além disso, as vazões mínimas e médias também ficaram próximas ou acima do registrado no histórico de dados. O período de validação, por sua vez, foi um período de vazões abaixo do histórico. Essa diferença penalizou principalmente a capacidade do modelo em representar as vazões de grande intensidade, uma vez que as métricas mais sensíveis a valores de pico, NSE e BIAS, apresentaram os piores resultados. Enquanto o NSE-log manteve um desempenho similar ao do período calibração, pois valores extremos têm um menor peso no cálculo dessa métrica. Para avaliar essa hipótese novas simulações de validação podem ser realizados para outros períodos com um comportamento de vazões mais próximo ao do período de calibração.

Por fim, com base nos resultados obtidos, os dados do CHIRPS apresentaram melhor capacidade para a simulação de vazões do período de estiagem na área de estudo, uma vez que em ambas as calibrações testadas as vazões menores apresentaram melhor desempenho nas simulações. Enquanto as vazões de picos apresentam tendência de subestimação na calibração e superestimação na validação. Nesse caso, a melhor aplicação para essa base de dados pode ser a simulação das vazões de pequena intensidade. Para aplicações desse tipo pode ser adotada uma estratégia de calibração direcionada no ajuste das vazões mínimas. No entanto, é importante ressaltar que essa tendência pode variar com a localização da área em estudo, de acordo com relatos da literatura. Portanto, recomenda-se realizar validações dos dados do CHIRPS baseadas na localização. Para estudos futuros, pode-se avaliar a aplicabilidade do CHIRPS focada na simulação de vazões mínimas e as áreas de estudo, podem ser outras bacias brasileiras de pequena, média e grande escalas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). (2009). *Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia*. ANA, Brasília, 256 p.

ÁVILA, L.; SILVEIRA, R.; CAMPOS, A.; ROGISKI, N.; GONÇALVES, J.; SCORTEGAGNA, A.; FREITA, C.; AVER, C.; FAN, F. (2022). “Comparative Evaluation of Five Hydrological Models in a Large-Scale and Tropical River Basin”. *Water*, 14(19).

- BÖCK, L. E.; DA SILVA, A. G.; SCARIOT, N.; MARTIN, V. T.; PIMENTEL, F.; TASSI, R.; ALLASIA, D. (2023). “*Comparação entre dados de precipitação de estimativas baseadas em satélites e monitorados por pluviômetros para diferentes regiões climáticas brasileiras*” in Anais do XXV Simpósio de Recursos Hídricos, Aracaju, Nov. 2023.
- COLLISCHONN W.; ALLASIA D.; SILVA B. C. DA; TUCCI C. E. M. (2007). “*The MGB-IPH model for large-scale rainfall—runoff modelling*”. Hydrological Sciences Journal, 52(5), pp. 878-895.
- CORREA, S. W.; PAIVA, R. C. D.; ESPINOZA, J. C.; COLLISCHONN, W. (2017). “*Reanalise hidrológica multi-decadal: eventos extremos na bacia amazônica*” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, Nov. 2017.
- DU, H.; TAN, M. L.; ZHANG, F.; CHUN, K. P.; LI, L.; KABIR, M. H. (2024). “*Evaluating the effectiveness of CHIRPS data for hydroclimatic studies*”. Theoretical and Applied Climatology, 155, pp. 1519-1539.
- FUNK, C. PETERSON, P. LANDSFELD, M. PEDREROS, D. VERDIN, J. SHUKLA, S. HUSAK, G. ROWLAND, J. HARRISON, L. HOELL, A. MICHAELSEN, J. (2015). “*The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes*”. Scientific Data 2.
- JARDIM, P. F.; FLEISCHMANN, A. S.; PELINSON, D.; OLIVEIRA, A. M.; SIQUEIRA, V. A.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. (2017). “*Manual de exemplo de aplicação do modelo MGB-IPH 2017 utilizando o IPH-Hydro Tools*”. HGE: Hidrologia de Grande Escala, 90 p.
- LUO X.; WU W.; HE D.; LI Y. (2019). “*Hydrological Simulation Using TRMM and CHIRPS Precipitation Estimates in the Lower Lancang-Mekong River Basin*” in Chinese Geographical Science, Feb. 2019, 29(1), pp. 13-25.
- MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. (2007). “*Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*”. Trans. ASABE, 50(3), pp. 885-900.
- PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L. (2017). “*Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil*”. Journal of Arid Environments 139, pp. 26-40.
- SHAHID, M.; RAHMAN, K. U.; HAIDER, S.; GABRIEL, H. F.; KHAN, A. J.; PHAM, Q. B.; MOHAMMADI B.; LIHN N. T. T.; ANH, D. T. (2021). “*Assessing the potential and hydrological usefulness of the CHIRPS precipitation dataset over a complex topography in Pakistan*” in Hydrological Sciences Journal, Set. 2021, 66(11), pp. 1664–1684.
- ULIANA, E. M.; SOUSA JUNIOR, M. F.; ARAUJO, J. A.; AIRES, U. R. V.; DA SILVA, D. D.; ZANUZO, M. R.; DA CRUZ, I. F. (2024). “*Validação e análise espaço-temporal de dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto CHIRPS para o estado de Mato Grosso, Brasil*”. Revista Brasileira de Climatologia, 35, pp. 633-654.