

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **APLICAÇÃO DE UM MODELO HIDROLÓGICO NO ALTO PARAÍBA DO SUL: UMA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE PRODUTOS DE PRECIPITAÇÃO**

*Felício Cassalho<sup>1</sup>; Camilo Daleles Rennó<sup>2</sup> & Benedito Cláudio da Silva<sup>3</sup>*

**RESUMO** – No Brasil, modelos hidrológicos de grande escala são amplamente utilizados dado as características do monitoramento hidrológico empregado e a escassez de dados disponibilizados. No presente trabalho, o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) foi implementado na bacia hidrográfica do alto Paraíba do Sul com o objetivo de avaliar a aplicabilidade de produtos de precipitação derivados de sensores remotos comparado a utilização de estações pluviométricas convencionais. Para tanto, o produto denominado MERGE/CPTEC, derivado de uma base de dados pluviométricos para a América do Sul composta por mais de 1500 estações pluviométricas e dados do *Tropical Rainfall Measure Mission* de resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  e temporal de 3 horas, foi utilizado para o período de 01/01/2000 a 31/12/2009. Segundo o Nash-Sutcliffe, Nash-Sutcliffe logaritmicado e o erro no volume, as vazões estimadas a partir de dados de precipitação de estações convencionais resultaram em um melhor ajuste as vazões observadas, quando comparada as vazões derivadas do MERGE/CPTEC. Entretanto, os produtos MERGE/CPTEC conseguiram representar o comportamento sazonal das vazões assim como picos e recessões do hidrograma, especialmente em bacias de maior área. Portanto, estes produtos se apresentam como uma alternativa viável para a modelagem hidrológica na bacia do alto Paraíba do Sul.

**Palavras-Chave** – MGB-IPH, MERGE/CPTEC

**ABSTRACT**– Large scale hydrological models are widely used in Brazil due to the characteristics of the hydrological monitoring as well as the scarce data availability. In the present study the large-scale hydrological model MGB-IPH was implemented to the upper Paraíba do Sul river basin with the goal of evaluating remote-sensing based precipitation products. The MERGE/CPTEC products, which are derived from 1500 gauge stations combined with the Tropical Rainfall Measure Mission with a spatial and temporal resolution of  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  and 3 hours, respectively, were considered for a period from 01/01/2000 a 31/12/2009. Based on the Nash-Sutcliffe, log Nash-Sutcliffe efficiency coefficients, and the relative volume errors the streamflow estimates derived from precipitation gauges obtained a better fit to the observed streamflows when compared to those derived from MERGE/CPTEC products. However, it is highlighted that when considering larger watersheds, the MERGE/CPTEC products were capable of representing the overall seasonal behavior of streamflows as well as its peaks and recessions. Therefore, these products stand out as an alternative to the hydrological modelling of the upper Paraíba do Sul basin.

**Keywords** – MGB-IPH, MERGE/CPTEC

1) Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Departamento de Sensoriamento Remoto/Ltid 1758, Avenida dos Astronautas 1758, Bairro Jardim da Granja, São José dos Campos, SP, Brasil, Ramal: 6437, [felicio.cassalho@inpe.br](mailto:felicio.cassalho@inpe.br).

2) Afiliação: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Departamento de Processamento de Imagens 1758, Avenida dos Astronautas 1758, Bairro, Jardim da Granja, São José dos Campos, SP, Brasil, Ramal: 6489, [camilo@dpi.inpe.br](mailto:camilo@dpi.inpe.br).

3) Afiliação: Universidade Federal de Itajubá, Rua São Judas Tadeu, 867, Bairro Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil, Telefone: (35) 3629-1449, [silvabenedito@gmail.com](mailto:silvabenedito@gmail.com).

## INTRODUÇÃO

A influência exercida pelo ser humano nos ciclos biogeoquímicos do planeta é potencializada pelo crescimento populacional, aumento na demanda por recursos naturais, desenvolvimento de tecnologias e consequente aumento da capacidade de geração de impactos. Dentre estes grandes ciclos, o hidrológico se mostra particularmente sensível aos processos de rápida urbanização, industrialização, desflorestamento, etc. observados nas últimas décadas (Devi *et al.* 2015). Neste contexto, modelos hidrológicos são amplamente utilizados como ferramenta de gestão e engenharia dos recursos hídricos e na avaliação dos impactos das mudanças climáticas, mudanças de uso e cobertura do solo, dos desastres naturais, dos eventos extremos e da qualidade da água sobre os processos hidrológicos (Lopes *et al.* 2018).

Os modelos hidrológicos utilizam representações simplificadas dos processos hidrológicos, permitindo que sejam realizadas estimativas de variáveis hidrológicas a partir de generalizações derivadas de dados observacionais e parâmetros representativos. Beskow *et al.* (2013) destacam que o monitoramento hidrológico no Brasil é limitado, se concentrando, em sua maioria, a grandes bacias hidrográficas com elevado potencial econômico, especialmente no que diz respeito a geração de energia, irrigação e abastecimento urbano. Esta característica do monitoramento, aliada a escassez de dados e ao princípio da parcimônia faz com que modelos hidrológicos de grande escala sejam uma alternativa viável para o desenvolvimento de estudos dos recursos hídricos. No Brasil, o Modelo de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (MGB-IPH) (Collischonn *et al.* 2007; Paiva *et al.* 2013) é amplamente utilizado para a simulação hidrológica. Entretanto, a maiorias das aplicações do modelo se dão em grandes bacias tropicais, majoritariamente coberta por áreas de vegetação nativa, pouco ou não ocupadas pelo homem, como a bacia Amazônica ou em bacias sob maior influência da ocupação agrícola, como as bacias dos rios Uruguai, São Francisco, Grande, Paraná, Doce e Tocantins.

Portanto, levando em conta a escassez de dados hidrológicos no país e a necessidade de compreensão dos processos hidrológicos em bacias hidrográficas sob forte influência urbana o presente trabalho avalia a aplicabilidade do modelo MGB-IPH na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul (BHPS) quando alimentado com estimativas de precipitação *in situ* e estimativas derivadas de produtos de sensoriamento remoto corrigidos para a América do Sul.

## ÁREA DE ESTUDO

O rio Paraíba do Sul é formado pelas confluências dos rios Paraitinga e Paraibuna, estendendo-se por aproximadamente 1.150 km até a sua foz entre os municípios de São João da Barra e São Francisco de Itabapoana no norte do Estado do Rio de Janeiro (Marques *et al.* 2017). A BHPS é altamente urbanizada, abrangendo uma área de aproximadamente 57.000 km<sup>2</sup>, o que equivale a 6%

da área total da região sudeste do país, cobrindo cerca de 63% do Estado do Rio de Janeiro, 5% de São Paulo e 4% de Minas Gerais (Kahn *et al.* 2017). Ao analisarem as séries históricas de vazão (de 1920 a 2004) para a BHPS, Marengo e Alvares (2005) observaram uma significativa tendência de diminuição nas vazões especialmente após o ano de 1955, fortemente correlacionadas com intervenções e demandas antrópicas como a: construção de barragens e usos industriais e agrícolas. De modo a avaliar as regiões mais antropizadas, no presente estudo será considerada apenas a região do alto Paraíba do Sul, com seções de controle na Barragem de Jaguari (1435,46 km<sup>2</sup>), Barragem de Santa Branca (5368,38 km<sup>2</sup>) e Usina Hidrelétrica de Funil (14481,14 km<sup>2</sup>) (Figura 1), englobando partes da região metropolitana de São Paulo, os municípios de Jacareí (231.863 habitantes), São José dos Campos (713.943 habitantes), Taubaté (311.854 habitantes), Pindamonhangaba (166.475) e Guaratinguetá (121.073) (IBGE 2019).

O clima do alto Paraíba do Sul é classificado como Cfa (úmido subtropical sem estação seca e com verões quentes) nas regiões a montante e Cwa (úmido subtropical com invernos secos e verões quentes) e Cfb (úmido subtropical sem estação seca e com verões temperados) nas proximidades da seção de controle. A bacia é majoritariamente composta por morros altos e alongados, com trechos de serra e escarpas próximo aos divisores de água e planícies e tabuleiros nas regiões mais urbanizadas e próximas ao rio Paraíba do Sul (AGEVAP 2014). O uso predominante é pastagem com áreas florestadas nas regiões de mais altitude da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira e o solo composto majoritariamente por Cambissolos Háplicos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelo (AGEVAP 2014).

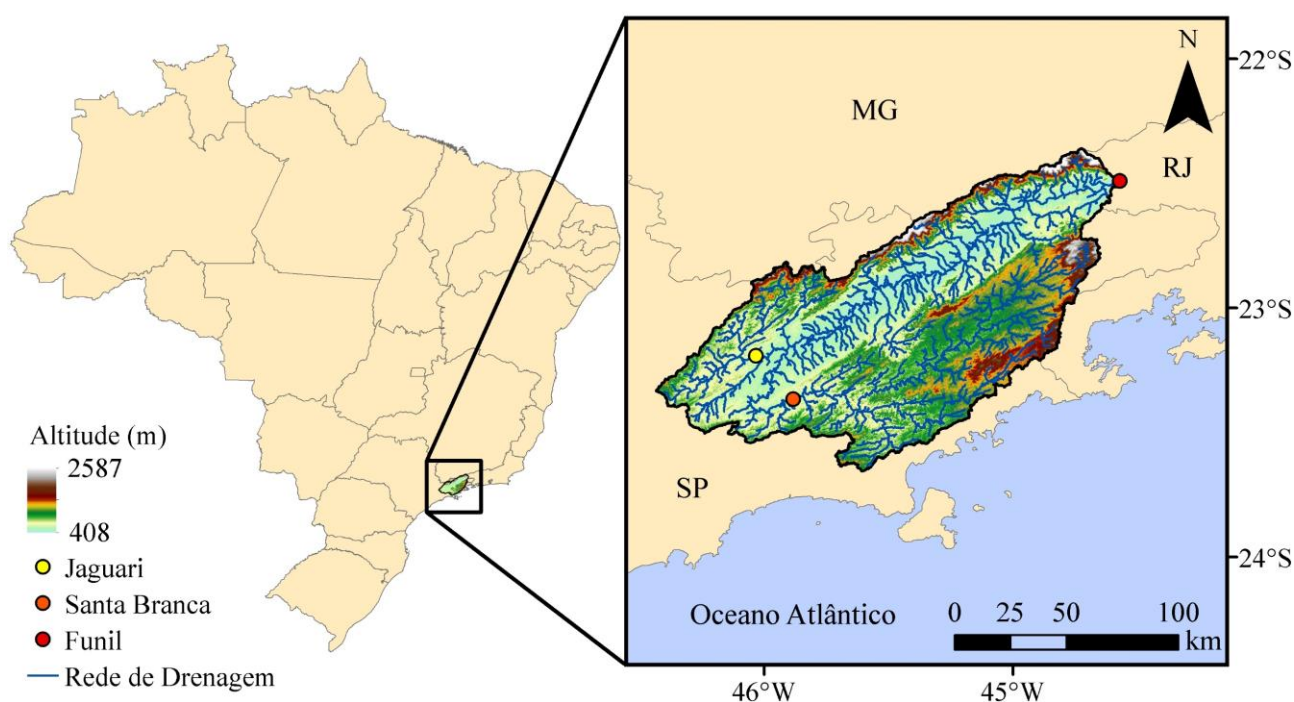


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do alto Paraíba do Sul e das seções de controle consideradas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### MGB-IPH

O MGB-IPH é composto por 4 módulos principais necessários para o cálculo do balanço hídrico, da evapotranspiração, da propagação do escoamento até a rede de drenagem e da propagação do escoamento na rede de drenagem (Collischonn *et al.* 2007). O modelo foi formulado a partir da representação da bacia hidrográfica em minibacias (Paiva *et al.* 2013), cada uma contendo um trecho da rede de drenagem associado a uma planície de alagamento e balanço hídrico vertical (Fleischmann *et al.* 2018) e unidades de resposta hidrológica (URH) definidas através de combinações entre uso e cobertura e tipo de solo em cada minibacia (Siqueira *et al.* 2018).

O balanço hídrico é então computado para cada URH e o escoamento gerado para as diferentes URHs que compõem a minibacia é propagado para a rede de drenagem (Collischonn *et al.* 2007). O balanço hídrico para cada URH calculado como:

$$W_{i,j}^k = W_{i,j}^{k-1} + (P_i - ET_{i,j} - Dsup_{i,j} - Dint_{i,j} - Dbas_{i,j})\Delta t \quad (1)$$

onde  $k$ ,  $i$  e  $j$  são índices relacionados com o passo de tempo, célula ou minibacia e URH, respectivamente;  $\Delta t$  é o intervalo de tempo considerado;  $W_{i,j}^k$  (mm) é a quantidade de água armazenada na camada de solo ao final do passo de tempo  $k$  da URH  $j$  da minibacia  $i$ ;  $W_{i,j}^{k-1}$  (mm) é o armazenamento de água na camada de solo no passo de tempo anterior;  $P_i$  é a precipitação em atinge a superfície (mm);  $ET_{i,j}$  (mm) é a evapotranspiração; e  $Dsup_{i,j}$ ,  $Dint_{i,j}$  e  $Dbas_{i,j}$  são os escoamentos superficial, subsuperficial e de base, respectivamente (Figura 2a). Uma vez realizado o balanço hídrico, o escoamento é propagado até a rede de drenagem por três reservatórios linear simples (um para cada camada de solo) (Figura 2b), de modo que:

$$Qsup_i = \frac{1}{TKS_i} Vsup_i^k \quad (2)$$

$$Qint_i = \frac{1}{TKI_i} Vint_i^k \quad (3)$$

$$Qbas_i = \frac{1}{TKB_i} Vbas_i^k \quad (4)$$

onde  $Qsup_i$  ( $m^3 s^{-1}$ ) é a vazão de saída do reservatório superficial;  $Qint_i$  ( $m^3 s^{-1}$ ) é a vazão de saída do reservatório subsuperficial;  $Qbas_i$  é a vazão de saída do reservatório de base;  $Vsup_i^k$ ,  $Vint_i^k$ ,

$Vbas_i^k$  são os volumes ( $m^3$ ) dos respectivos reservatórios e  $TKS_i$ ,  $TKI_i$ ,  $TKB_i$ , são parâmetros relacionados ao tempos de retardo exercido pelos reservatórios. A propagação das vazões na rede de drenagem é realizada com base em uma variação do método de propagação da onda cinemática de Muskingum-Cunge que considera uma relação bi-unívoca entre o nível e a vazão permitindo a estimativa da vazão no tempo  $j + 1$  e seção  $i + 1$  (Figura 2c), por:

$$Q_{i+1}^{j+1} = C_1 Q_i^{j+1} + C_2 Q_i^j + C_3 Q_{i+1}^j \quad (5)$$

onde  $Q_i^{j+1}$  é a vazão na seção  $i$  no tempo  $t + 1$ ;  $Q_i^j$  é a vazão na seção  $i$  no tempo  $t$ ;  $Q_{i+1}^j$  é a vazão na seção  $i + 1$  no tempo  $t$ ;  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  são simplificações da equação de continuidade.

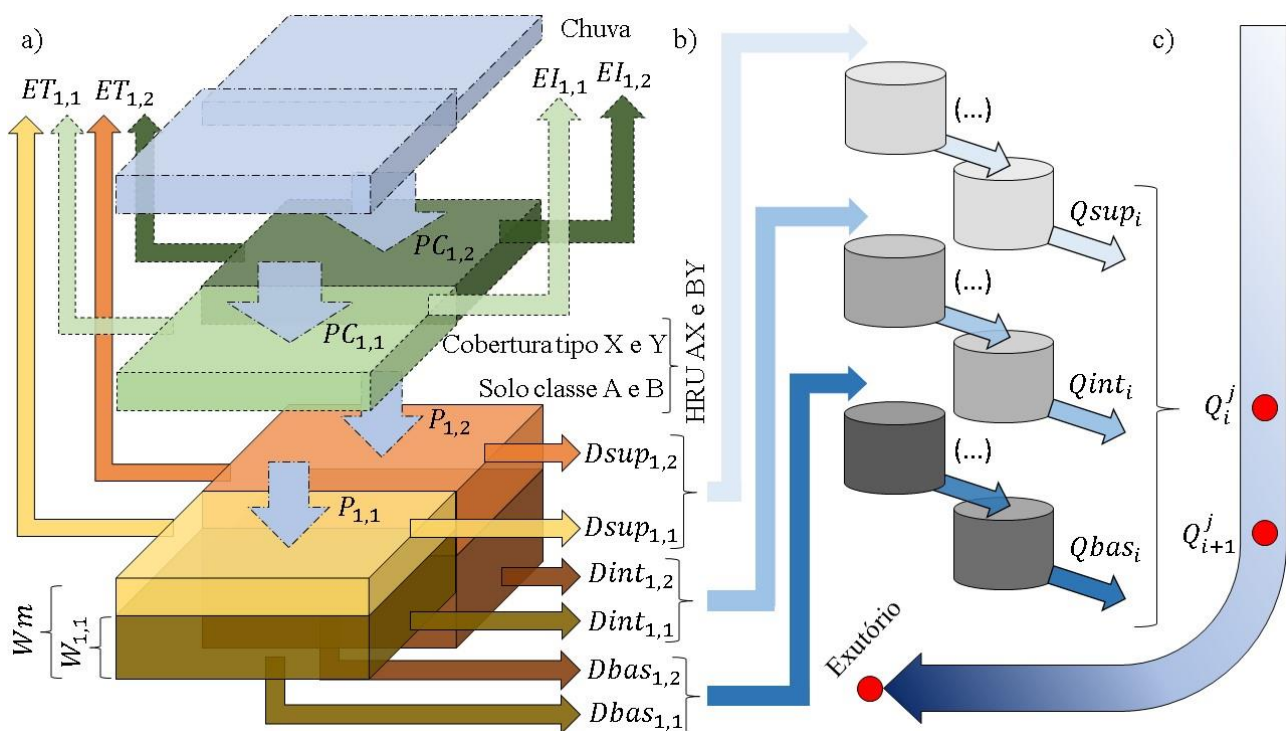


Figura 2. Representação esquemática do modelo MGB-IPH.  
Fonte: adaptado de Collischonn *et al.* (2007)

### Dados de entrada para o modelo

A precipitação é principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica. Devido a sua grande variabilidade espacial e temporal, a precipitação é uma das variáveis atmosféricas de mais difícil medição. No presente trabalho, estimativas de precipitação por estações pluviométricas foram utilizadas na calibração do modelo. A aplicabilidade de um produto de precipitação derivado de sistemas orbitais ao modelo MGB-IPH foi então avaliada em termos de ajuste das vazões estimadas. Diversos produtos de precipitação por sensores orbitais são disponibilizados. Dentre estes produtos, o *Tropical Rainfall Measure Mission* (TRMM) tem sido amplamente utilizado em estudos hidrológicos. Os produtos de precipitação do TRMM, disponíveis de 1998 a 2015, foram

desenvolvidos por meio de uma técnica multissensores que combina dados de microondas passivo de satélites de baixa órbita e de dados coletados para a faixa do infravermelho por uma constelação internacional de satélites de órbita geossíncrona. Rozante *et al.* (2010) destacam que os produtos TRMM tendem a subestimar precipitações provindas de nuvens de mais elevada temperatura, como observado no nordeste brasileiro, e superestimar precipitações em regiões cobertas por nuvens de menor temperatura, comuns entre o Brasil, Argentina e Paraguai. Os autores então desenvolveram um produto denominado MERGE/CPTEC, derivado de uma base de dados pluviométricos para a América do Sul composta por mais de 1500 estações pluviométricas e dados TRMM de resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  e temporal de 3 horas. No presente estudo foi considerado a resolução temporal de 1 dia de modo a permitir comparações com os dados de estações convencionais.

As demais entradas do modelo foram: i) modelo digital de elevação gerado pela *Shuttle Radar Topographic Mission* – SRTM, de resolução espacial de 30 metros; ii) mapa de uso e cobertura gerado pelo projeto MapBiomas (resolução espacial de 30 metros); iii) mapa de solos – gerado pelo projeto RADAM com escala de 1:250.000; iv) estimativas diárias das vazões naturalizadas dos reservatórios de Santa Branca, Jaguarí e de Funil disponibilizadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS); e v) normais climatológicas dos atributos necessários para o cálculo da evapotranspiração disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

## Calibração

O modelo MGB-IPH utiliza um algoritmo de calibração automática multi-objetivo, denominado *Multiple-Objective Complex Evolution – University of Arizona* (MOCOM-UA) a partir do qual as seguintes funções de Nash-Sutcliffe (*NS*), sua versão logarítmica ( $NS_{log}$ ) e o erro no volume ( $\Delta V$ ) foram consideradas:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n [Q_{obs}(t) - Q_{est}(t)]^2}{\sum_{t=1}^n [Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs}]^2} \quad (6)$$

$$NS_{log} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n \{\log[Q_{obs}(t)] - \log[Q_{est}(t)]\}^2}{\sum_{t=1}^n \{\log[Q_{obs}(t)] - \overline{\log(Q_{obs})}\}^2} \quad (7)$$

$$\Delta V = \frac{\sum_{t=1}^n [Q_{est}(t)] - \sum_{t=1}^n [Q_{obs}(t)]}{\sum_{t=1}^n [Q_{obs}(t)]} \cdot 100 \quad (8)$$

onde  $t$  é o passo de tempo, i.e. o dia respectivo;  $n$  é o número total de passos de tempo considerados;  $Q_{obs}$  são as vazões observadas e  $Q_{cal}$  as vazões estimadas. O *NS* pode chegar a um valor máximo

igual a 1 quando o hidrograma estimado se iguala ao observado. Usualmente o ajuste do hidrograma estimado é classificado como “Muito bom” para  $0,75 < NS \leq 1,00$ , “Bom” para  $0,65 < NS \leq 0,75$ , “Satisfatório” para  $0,50 < NS \leq 0,65$  e “Insatisfatório” para  $NS \leq 0,50$  (Moriasi *et al.* 2007). O  $NS_{log}$  também pode chegar a valores iguais a 1, sendo que quanto mais próximo deste, melhor as simulações dos períodos de recessão do hidrograma. Valores negativos de  $\Delta V$  representam subestimativas e valores positivos de  $\Delta V$  representam superestimativas da vazão, sendo que ajustes perfeitos apresentarão  $\Delta V = 0$ . Ajustes cujo erro de volume sejam  $\leq \pm 10\%$  podem ser classificados como “Muito bom”, já para  $\pm 15\% \leq \Delta V < \pm 10\%$  classifica-se como “Bom”, para  $\pm 25\% \leq \Delta V < \pm 15\%$  classifica-se como “Satisfatório”, e para  $\Delta V > \pm 25\%$  classifica-se como “Insatisfatório” (Van Liew *et al.* 2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A calibração do modelo permite que os resultados sejam gerados para os 3 reservatórios do alto Paraíba do Sul (Figura 3). Foi considerado um período de 01/01/2000 a 31/12/2009 para a calibração do modelo. Tendo em vista que o propósito do presente estudo é a avaliação das aplicabilidade dos produtos de precipitação não há a necessidade de se separar diferentes períodos para calibração e validação, uma vez que considera-se que os dados de precipitação que resultarem na melhor calibração irão apresentar a melhor performance na validação (Collischonn *et al.* 2008). É possível observar uma melhora no ajuste das vazões estimadas em função do aumento da área de captação da bacia (Figura 3). Essa característica pode ser atribuída à própria natureza do modelo de grandes bacias que por definição devem ser aplicados em regiões: i) de grandes tempos de concentração onde os processos de translação e atenuação são significativos; ii) onde os processos hidrológicos e características da bacia não podem ser considerados homogêneos; iii) onde a separação entre águas superficiais e subterrâneas pode ser negligenciada.

É possível observar também que as diferenças entre as vazões estimadas e observadas gradativamente diminuem com o passar do tempo. Essa diferença pode ser atribuída a maior memória das grandes bacias, em especial aquelas como a do alto Paraíba do Sul compostas por grandes planícies fluviais. Afim de contornar essa característica observada na área de estudo aplicações mais específicas e futuras do modelo devem separar um período de aproximadamente 1 a 2 anos para o “aquecimento” do modelo.

Com base nos ajustes para a barragem de Jaguari e de Santa Branca, as vazões derivadas dos produtos MERGE/CPTEC são superestimadas ao longo de todo o período analisado. Esta característica pode ser atribuída aos próprios produtos TRMM que tendem a superestimar as precipitações diárias nas proximidades da área de estudo (Nogueira *et al.* 2018). Entretanto, para a bacia de maior área correspondente a barragem de Funil, os produtos MERGE/CPTEC tendem a

subestimar as vazões. Para todos os casos, os ajustes derivados do MERGE/CPTEC são considerados “Insatisfatórios” em termos de erro no volume, ou seja, as superestimativas ou subestimativas geradas extrapolam os limites considerados aceitáveis na literatura. Em contraponto, as vazões estimadas a partir de dados derivados de pluviômetros convencionais apresentam erro de volume nitidamente menores. Para as estações pluviométricas, somente a bacia de Jaguari pode ser classificada com um erro de volume “Insatisfatório”, enquanto que para a seção de Santa Branca, o erro de volume é classificado como “Muito bom” e para Funil como “Bom”.

O coeficiente logaritmizado de Nash-Sutcliffe também aponta para um melhor ajuste dos dados derivados das estações pluviométricas. Neste caso, todas as bacias apresentam o  $NS_{log}$  superior a 0,75, ou seja, o hidrograma estimado é capaz de representar muito bem as vazões mínimas. Já para os produtos MERGE/CPTEC, esta classificação só pode ser atribuída a seção de Funil, enquanto Santa Branca pode ser classificado como “Satisfatório” e Jaguari “Insatisfatório”. O ajuste insatisfatório das vazões mínimas limita a aplicabilidade do modelo quando alimentado com os produtos MERGE/CPTEC para estudos sobre a disponibilidade de água, gestão de secas e irrigação, dado a dependência de estimativas adequadas dos períodos de recessão do hidrograma.

Os resultados para o coeficiente de Nash-Sutcliffe se mostram inferiores aos do coeficiente logaritmizado, indicando que, para ambos os casos, foram obtidos melhores ajustes para as vazões mínimas do que para as máximas. Os erros nas estimativas dos picos de vazão são ainda mais nítidos na sub-bacia de menor área, referente a barragem de Jaguari, onde o  $NS$  para o MERGE/CPTEC se aproxima de zero, indicando um ajuste insatisfatório dos picos de vazão. As superestimativas observadas na Figura 3a corroboram os valores de erro no volume  $\Delta V$  que apontam para uma grande superestimativa das vazões. De maneira análoga, a Figura 3b explicita a grande diferença na qualidade do ajuste das vazões estimadas dada em termos do coeficiente de  $NS$ . Já para a seção de Funil, o ajuste das vazões estimadas a partir das estações pluviométricas pode ser classificado como “Muito Bom” enquanto para os produtos MERGE/CPTEC o ajuste é considerado “Bom” (Figura 3c).

Apesar das limitações destacadas, o MERGE/CPTEC, quando utilizado junto ao modelo MGB-IPH, é capaz de reproduzir o comportamento sazonal das vazões, assim como a presença de picos de vazão. A melhor cobertura espacial desse produto pode ainda representar ganhos na descrição do processo de precipitação, especialmente em bacias pouco ocupadas, onde o monitoramento hidrológico é escasso. Portanto, o MERGE/CPTEC se apresenta como uma alternativa viável para a representação da precipitação e consequente obtenção de vazões estimadas pelo modelo MGB-IPH, desde que aplicado a grandes bacias, onde as generalizações intrínsecas dos modelos de grande escala permitem maior convergência entre vazões estimadas e observadas.



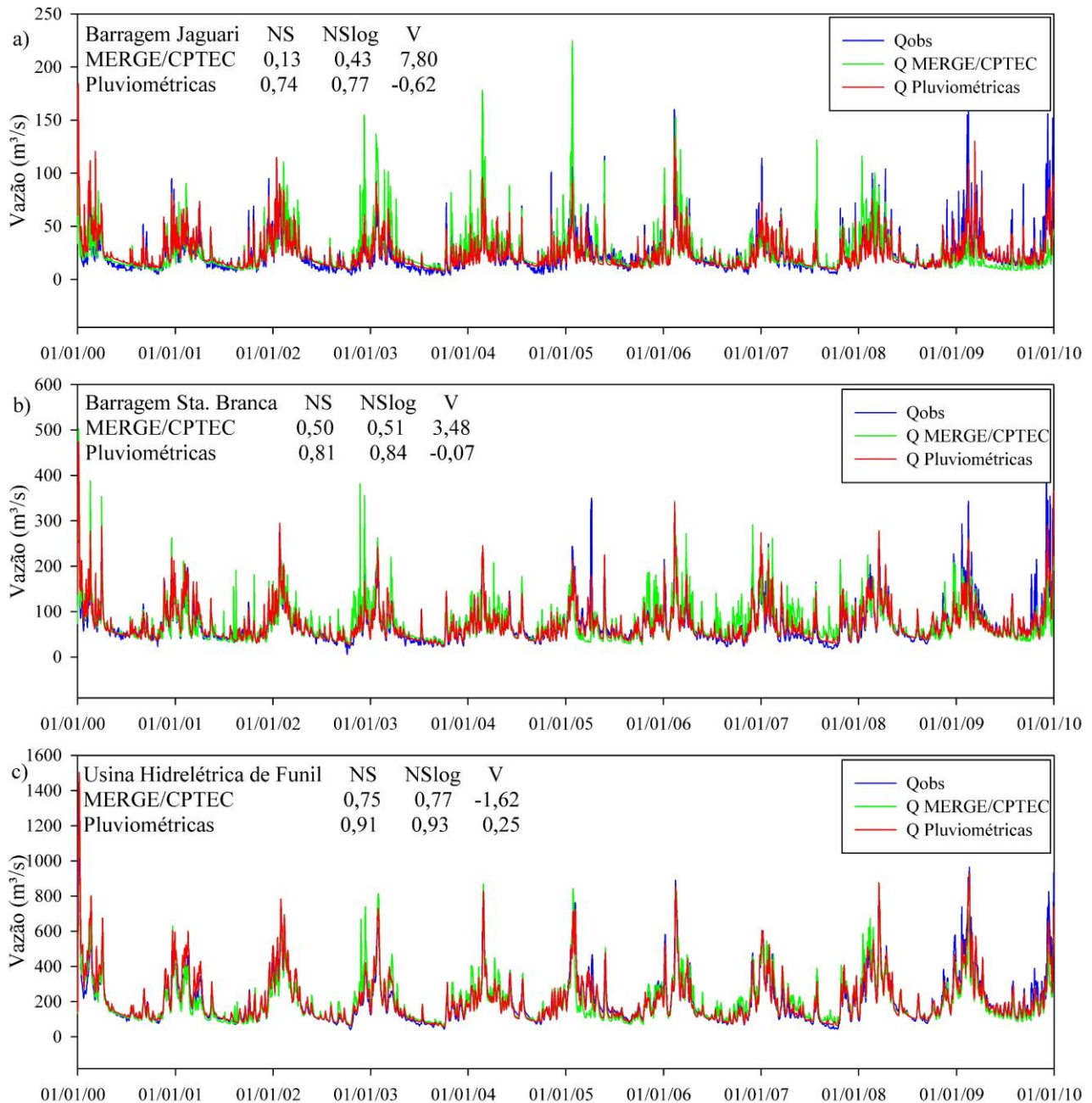


Figura 3. Hidrograma observado e estimado para as vazões derivadas das precipitações estimadas a partir de estações pluviométricas e dos produtos MERGE/CPTEC.

## CONCLUSÃO

As estimativas de vazão obtidas a partir do modelo MGB-IPH com dados de entrada de precipitação do MERGE/CPTEC se mostraram satisfatórias quanto ao ajuste dos picos e resseções do hidrograma, especialmente para bacias de maior área. Entretanto, erros insatisfatórios de volume foram obtidos para todas as seções consideradas, indicando uma possível superestimativa ou subestimativa das precipitações dos produtos MERGE/CPTEC. Apesar de vazões estimadas a partir de dados de pluviômetros convencionais apresentarem melhor ajuste as vazões observadas, as precipitações do MERGE/CPTEC se apresentam como uma alternativa viável para o uso em modelos

hidrológicos de grandes bacias no alto Paraíba do Sul. Estudos futuros devem analisar a influência da área de captação na qualidade do ajuste do modelo além de considerar alternativas recentes para a estimativa da precipitação como o *Global Precipitation Measurement* (GPM) e o *Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation* (MSWEP).

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado ao primeiro autor.

## REFERÊNCIAS

- AGEVAP. (2014). “Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e Planos de Ação de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes”. Associação Pró-Gestão das Águas da BHPS.
- BESKOW, S.; NORTON, L. D.; MELLO, C. R. (2013). “Hydrological Prediction in a Tropical Watershed Dominated by Oxisols Using Distributed Hydrological Model”. *Water Resources Management* 27, pp. 341-363.
- COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2008). “Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates”. *Journal of Hydrology* 360, pp. 207-216.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. (2007). “The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling”. *Hydrological Sciences Journal* 52, n. 5, pp. 878-895.
- DEVI, G.; GANASRI, B. P.; DWARAKISH, G. S. A (2015). “Review on Hydrological Models”. *Aquatic Procedia* 4, pp. 1001-1007.
- FLEISCHMANN, A.; SIQUEIRA, V.; PARIS, A.; COLLISCHONN, W.; PAIVA, PAIVA, R.; PONTES, P.; CRÉTAUX, J. F.; NGUYEN, M. B.; BIANCAMARIA, S.; GOSSET, M.; CALMANT, S.; TANIMOUN, B. (2018). “Modelling hydrologic and hydrodynamic processes in basins with large semi-arid wetlands”. *J. Hydrol.* 561, pp. 943-959.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. Acesso em: 17 de março de 2019. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br>.
- KAHN, J. R.; VÁSQUEZ, W. F.; REZENDE, C. E. (2017). “Choice modeling of system-wide or large-scale environmental change in a developing country context: Lessons from the Paraíba do Sul River”. *Science of the Total Environment* 598, pp. 488-496.
- LOPES, V. A. R.; FAN F. M.; PONTES, R. R. M.; SIQUEIRA, V. A.; COLLISCHONN, W.; MARQUES, D. M. (2018). “A first integrated modelling of a river-lagoon large-scale hydrological system for forecasting purposes”. *J. Hydrol* 565, pp. 177-196.
- MARQUES, J. S. J.; DITTMAR, T.; NIGGEMANN, J.; ALMEIDA, M. G.; GOMEZ-SAEZ, G. V.; REZENDE, C. E. (2017). “Dissolved Black Carbon in the Headwaters-to-Ocean Continuum of Paraíba do Sul River, Brazil”. *Frontiers in Earth Sciences* 5, n. 11.
- MARENCO, J. A.; ALVES, L. M. (2005) “Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul”. *Braz. J. Meteorol* 20(2), pp. 215-226.
- MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. (2007). “Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulation”. *Transactions of the ASABE* 50(3), pp. 885-900.
- PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C.; COLLISCHONN, W.; BONNET, M. P.; FRAPPART, F.; CALMANT, S.; MENDES, C. A. B. (2013). “Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling for the Amazon River basin”. *Water Resources Research* 49, pp. 1226-1243.
- NOGUEIRA, S. M. C.; MOREIRA, M. A.; VOLPATO, M. M. L. (2018) “Evaluating Precipitation Estimates from Eta, TRMM and CHIRPS Data in the South-Southeast Region of Minas Gerais State-Brazil”. *Remote Sensing* 10.
- ROZANTE, J. B.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G.; VILA, D. A. (2010). “Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America”. *Weather Forecasting* 25, pp. 885-894.
- SIQUEIRA, V. A.; PAIVA, R. C. D.; FLEISCHMANN, F. M.; RUHOFF, A. L.; PONTES, P. R. M.; PARIS, A.; CALMANT, S.; COLLISCHONN, W. (2018). “Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in South America”. *Hydrology and Earth System Sciences* 22, pp. 4815-4824.
- VAN LIEW, M. W.; ARNOLD, J. G.; GARBRECHT, J. D. (2003). “Hydrologic simulation on agricultural watersheds: choosing between two models”. *Transactions of the ASABE* 46, pp. 1539-1551.