

# SIMULAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO MGB-IPH PARA AS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO PIRANGA E PIRACICABA – MG

*Marllus Henrique Ribeiro de Paiva<sup>1</sup>; Aníbal da Fonseca Santiago<sup>2</sup>; Lívia Cristina Pinto Dias<sup>3</sup>;  
Ana Letícia Pilz de Castro<sup>4</sup> & Paula Cristine Silva Gomes<sup>5</sup>*

**RESUMO** – A bacia hidrográfica do rio Doce (BHRD) sofre com alterações importantes no uso e cobertura do solo que potencialmente podem provocar mudanças significativas nas dinâmicas hidrológicas da região. A carência de séries históricas hidroclimáticas na bacia dificulta a compreensão de fenômenos ambientais e gera dificuldades para avaliações e apoios às tomadas de decisão concernentes ao uso e gestão de recursos hídricos. A simulação hidrológica permite, através de representações matemáticas, a possibilidade de analisar e prever a disponibilidade hídrica nas bacias mediante diversos cenários. O estudo objetiva-se na aplicação do Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH) com acoplamento do tipo rígido na plataforma QGIS para as sub-bacias do rio Piracicaba e Piranga localizadas na porção leste da BHRD, em Minas Gerais, no período de 1990 a 2020. Utilizou-se como dados de entrada o Modelo Digital de Elevação (MDE), resolução de 30 m, variáveis hidroclimáticas diárias e mapa de Unidade de Resposta Hidrológica (UHR). O modelo foi calibrado para três estações fluviométricas encontradas em cada sub-bacia. O desempenho avaliado pelos índices estatísticos de NashSutcliffe (NASH e NASH-Log) e porcentagem de volumes (BIAS) demonstrou bons ajustes entre vazões simuladas e observadas, indicando boa capacidade do modelo simular comportamentos hidrológicos nas áreas de interesse.

**ABSTRACT**– The Rio Doce watershed (BHRD) suffers from important changes in land use and cover that can potentially cause significant changes in the hydrological dynamics of the region. The lack of hydroclimatic historical series in the basin makes it difficult to understand environmental phenomena and creates difficulties for assessments and support for decision-making concerning the use and management of water resources. The hydrological simulation allows, through mathematical representations, the possibility of analyzing and predicting the water availability in the basins through different scenarios. The study aims to apply the Large Basin Model (MGB-IPH) with rigid coupling in the QGIS platform for the Piracicaba and Piranga river sub-basins located in the eastern portion of the BHRD, in Minas Gerais, in the 1990s. to 2020. The Digital Elevation Model (DEM), 30 m resolution, daily hydroclimatic variables and Hydrological Response Unit (UHR) map were used as input data. The model was calibrated for three fluvimetric stations found in each sub-basin. The performance evaluated by the statistical indices of NashSutcliffe (NASH and NASH-Log) and percentage of volumes (BIAS) showed good adjustments between simulated and observed flows, indicating a good capacity of the model to simulate hydrological behavior in the areas of interest.

**Palavras-Chave** – Modelagem hidrológica de vazão; MGB-IPH; Calibração;

1) Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – ProAmb, marllus.paiva@aluno.ufop.edu.br

2) Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – ProAmb, anibal@ufop.edu.br

3) Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – ProAmb, livia.dias@ufop.edu.br

4) Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – ProAmb, anacastro@ufop.edu.br

5) Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – ProAmb, paula.cristine@aluno.ufop.edu.br

## INTRODUÇÃO

O processo de modificação da paisagem natural e usos do solo para produção de atividades agropastoris, desenvolvimento de núcleos urbanos, construções de estradas, dentre outras atividades antrópicas, envolve o acesso à água (Melo, 2016). O crescimento populacional e, consequentemente o aumento da demanda por alimentos, fibras e energia, somada às incertezas sobre os cenários das mudanças climáticas, resultaram em um aumento bastante significativo tanto da demanda, quanto dos conflitos relacionados aos recursos hídricos, tornando-se necessário, mais do que nunca, a busca de um equilíbrio entre os diferentes usos da água (Ghoraba, 2015).

Do ponto de vista ambiental, a simulação hidrológica para a previsão da distribuição dos recursos hídricos sob diferentes condições e cenários de antropização, representa uma importante ferramenta de avaliação no contexto de articulação de gestão hídrica, planejamento ambiental da bacia hidrográfica e conflitos de usos do recurso hídrico. Uma das formas mais comuns de avaliação e análise do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas consiste no desenvolvimento e aplicação de modelos (Easton et al. 2008), capazes de equacionar, representar matematicamente e simular os diversos processos físicos e fenômenos naturais presentes no ciclo hidrológico (Tucci, 1998) como a transformação de chuva em escoamento, a evapotranspiração, o armazenamento de água no solo e nos aquíferos e a propagação de ondas de cheias ao longo da rede de drenagem de bacias hidrográficas (Pontes et al. 2015).

Existem diversos modelos para simular os processos hidrológicos no tempo e no espaço, dentre eles o Modelo de Grandes Bacias (MGB), desenvolvido e proposto pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGRS) para a transformação de chuva em vazão. O MGB-IPH, é um modelo distribuído (ou semi-distribuído) desenvolvido para simular o processo de transformação da chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas (Collischonn, 2001), sendo aplicado com sucesso em diversas bacias brasileiras com diferentes características (Felix e Paz 2016). O modelo considera as variabilidades das características físicas da bacia no processo de discretização dividindo a rede de drenagem em trechos fixos, desde a cabeceira da bacia até o seu exutório em áreas menores. Quanto menor o comprimento do trecho, mais discretizado será o modelo e, portanto, mais preciso o resultado. Porém, o custo computacional pode se elevar em muito, não justificando tal refinamento (Muller et al. 2019).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho consistiu em realizar a calibração e avaliação de desempenho do modelo MGB-IPH, para as condições ambientais das bacias do rio Piracicaba e Piranga – sub-bacias da BHRD de modo a servir como ferramenta de apoio à decisão aos atores locais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

A BHRD é uma das principais bacias brasileiras, sendo bastante estratégica para a região sudeste, com uma área de drenagem de 86.715 km<sup>2</sup>, dos quais 86% estão localizadas na porção Leste do estado de Minas Gerais (MG) e 14% parte Nordeste do Espírito Santo (ES). Em termos econômicos, as atividades da bacia que mais se destacam são a agricultura, indústria, mineração, comércios e serviços, e geração de energia elétrica. Apesar dessas potencialidades, a área apresenta elevada heterogeneidade no tocante ao desenvolvimento econômico dos municípios que dela fazem parte (Reis et al. 2010), uma longa história de degradação ambiental e uso não planejado da terra e água (Santos, 2020) e um crescimento contínuo de demanda de água, apresentando índices pluviométricos abaixo da média (Comério e Ribeiro, 2019).

Dentre as sub-bacias que compõem a BHRD, escolheu-se por trabalhar como unidade de estudo as sub-bacias do rio Piracicaba (5.465,38 km<sup>2</sup>) e do Rio Piranga (6.611,46 km<sup>2</sup>) situadas entre os paralelos -19,226 e -21,293 de latitude sul e os meridianos -43,896 e -42,407 de longitude oeste (Figura 1) por apresentarem áreas, tipos de solo - predominantemente solos latossolos e argissolos, condições de clima e uso e cobertura de solo semelhantes, bem como por oferecer, durante a fase de levantamento de séries históricas de precipitação, vazão e qualidade de água no Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e no HIDROWEB da ANA, um maior número de postos com dados disponíveis.

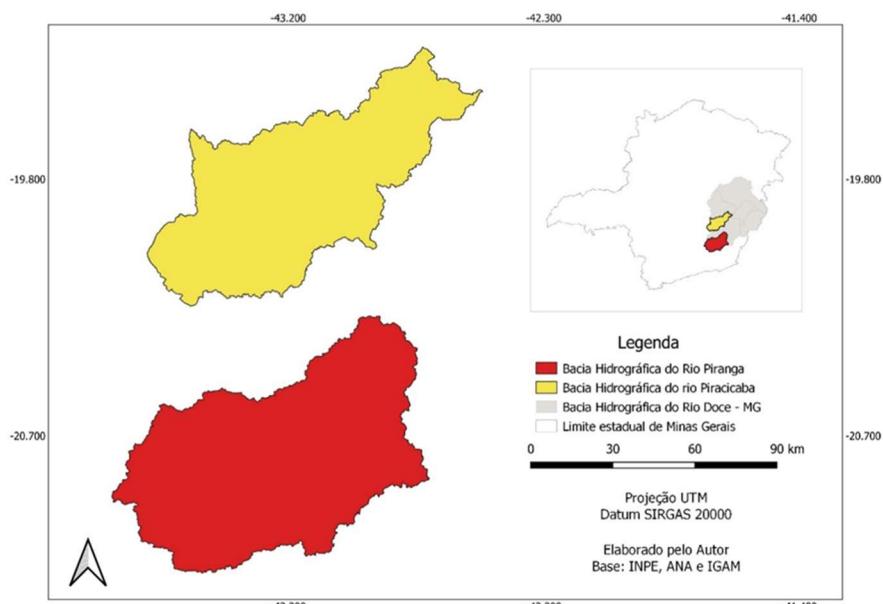


Figura 1 – Mapa de localização das sub-bacias do rio Piracicaba e Piranga – MG

## MGB-IPH e dados de entrada

O estudo baseou-se no acoplamento do tipo rígido entre o modelo hidrológico distribuído MGB-IPH versão 4.6 no formato plugin e a plataforma de SIG gratuita QGIS versão 3.16 para simulação e calibração do comportamento hidrológico de vazões das sub-bacias hidrográficas do rio Piracicaba e Piranga – MG (Figura 2). A avaliação do desempenho do modelo (Tabela 1) ocorreu por meio da utilização dos coeficientes estatísticos de Nash Sutcliffe (NASH), da forma logarítmica do coeficiente de Nash Sutcliffe (NASH-log) e do erro percentual de volumes (BIAS) (Moriasi et al. 2007)

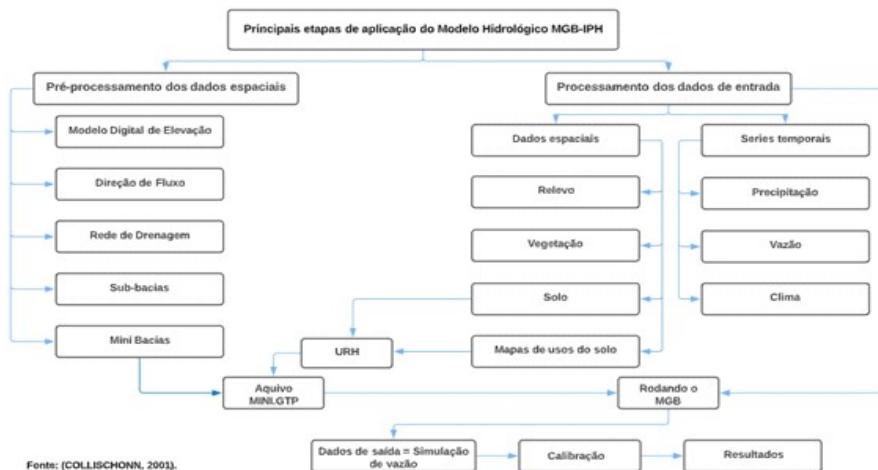


Figura 2 – Fluxograma da aplicação do modelo MGB em relação aos dados de entrada e as etapas de geoprocessamento no QGIS.

Tabela 1 – Valores de referência dos coeficientes estatísticos NASH, NASH-Log e BIAS.

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

Fonte: MORIASI et al. 2007

A discretização da bacia hidrográfica ocorre pela divisão em unidades menores, segmentação em trecho de 10 km, denominadas mini-bacias (Fan e Collischonn, 2014) definidas a partir de dados do relevo representados pelo MDE (Getirana et al. 2010) com resolução espacial de 30 m do INPE – projeto Topodata (Figura 3). As URHs são definidas, tipicamente, a partir da combinação de mapas de tipos de solos e de vegetação ou de classes de uso da terra com comportamento hidrológico similar (Pontes et al. 2015). No entanto, neste estudo, utilizou-se a derivação da URH da América do Sul (Fan et al. 2015) com recortes para as sub-bacias de interesse.

As séries temporais de precipitação, vazão e clima necessárias para a simulação hidrológica (tabela 2 e 3) foram disponibilizadas pelas estações fluviométricas, pluviométricas e climatológicas

nos repositórios HIDROWEB da ANA e da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) respectivamente. O período usado para a testagem inicial e para calibração do modelo MGB-IPH foi de 01/01/1990 a 31/12/2020.

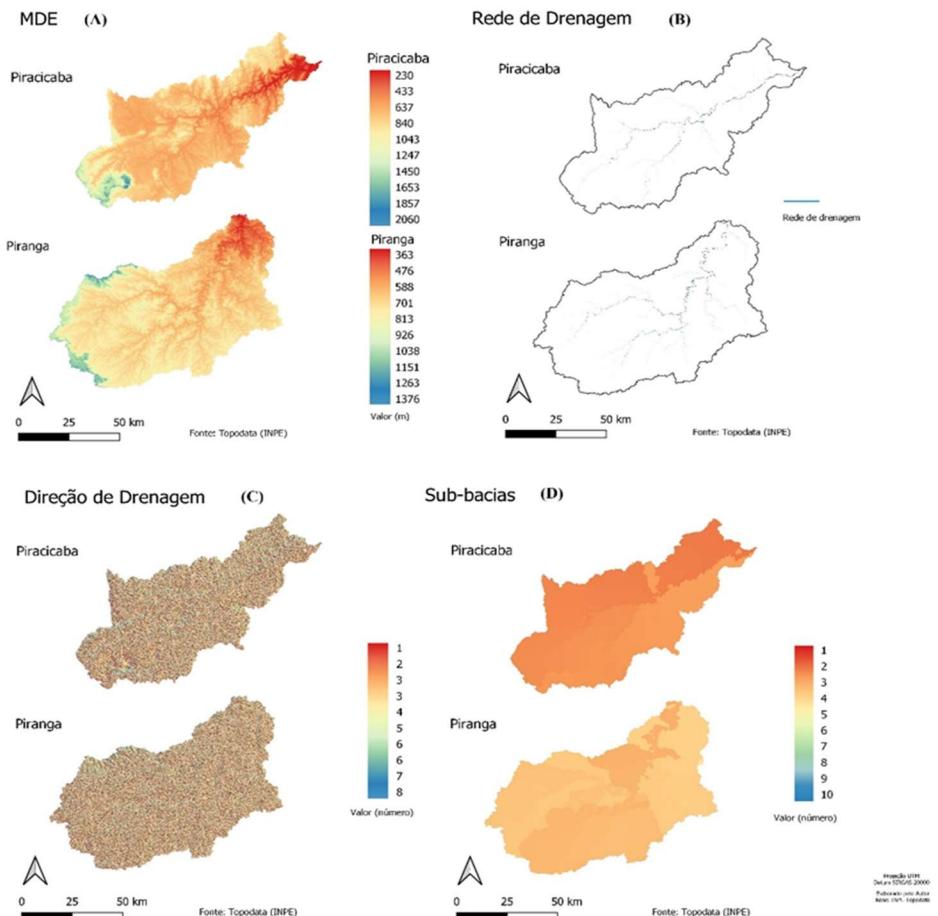


Figura 2 – Mapa do MDE (A), rede de drenagem (B), direção do fluxo de drenagem (C), e sub-bacias (D) usando cenas do Topodata do INPE, resolução de 30,0 m.

Tabela 2 – Estações de séries temporais prospectadas da sub-bacia hidrográfica do rio Piracicaba – MG.

Código	Estação	Tipo	Latitude	Longitude	Área de Drenagem	Altitude
<b>56610000</b>	Piracicaba	Fluviométrica	-19,9317	-43,1731	1160 km <sup>2</sup>	x
<b>56659998</b>	Nova Era IV	Fluviométrica	-19,7656	-43,0328	3060 km <sup>2</sup>	x
<b>56696000</b>	Mário de Carvalho	Fluviométrica	-19,5247	-42,6408	5270 km <sup>2</sup>	x
<b>1942026</b>	Coronel Fabriciano	Pluviométrica	-19,5167	-42,6167	x	210 m
<b>1942029</b>	Mário de Carvalho	Pluviométrica	-19,5247	-42,6442	x	232 m
<b>1943100</b>	Nova Era Telemétrica	Pluviométrica	-19,7667	-43,0261	x	595 m
<b>1943058</b>	João Monlevade	Pluviométrica	-19,8333	-43,1167	x	860 m
<b>1943001</b>	Rio Piracicaba	Pluviométrica	-19,9228	-43,1778	x	623 m
<b>2043062</b>	Santa Bárbara	Pluviométrica	-20,1500	-43,4000	x	720 m
<b>83591</b>	João Monlevade	Meteorológica	-19,8330	-43,1170	x	x
<b>83590</b>	Itabira	Meteorológica	-19,6270	-43,2170	x	x
<b>835,94</b>	Usiminas	Meteorológica	-19,4830	-42,5330	x	x

Fonte: ANA e INMET (2022)

Tabela 3 – Estações de séries temporais prospectadas da sub-bacia hidrográfica do rio Piranga– MG.

Código	Estação	Tipo	Latitude	Longitude	Área de Drenagem	Altitude
56028000	Piranga	Fluviométrica	-20,6905	-43,2994	1400 km <sup>2</sup>	x
56075000	Porto Firme	Fluviométrica	-20,6703	-43,0881	4260 km <sup>2</sup>	x
56110005	Ponte Nova Jusante	Fluviométrica	-20,3839	-42,9028	6230 km <sup>2</sup>	x
2043010	Piranga	Pluviométrica	-20,6906	-43,2994	x	620 m
2043014	Porto Firme	Pluviométrica	-20,6703	-43,0881	x	598 m
2043025	Usina da Brecha	Pluviométrica	-20,5167	-43,0167	x	529 m
2042018	Ponte Nova Jusante	Pluviométrica	-20,3847	-42,9028	x	350 m
83642	Viçosa	Meteorológica	-20,754	-42,854	x	x

Fonte: ANA e INMET (2022)

Os parâmetros de vegetação e solo utilizados foram propostos por Collishonn (2001) e Alves et. al. (2020), a saber: **Vegetação:** albedo (Ra); índice de área foliar (IAF); altura da vegetação (AV) (em m); e resistência superficial em boas condições de umidade do solo (RS em s/m). **Solo:** capacidade de armazenamento de água no solo (Wm (mm)); relação de armazenamento e saturação (b); parâmetro de escoamento subterrâneo (Kbas (mm/dia)); parâmetro de drenagem sub-superficial (Kint (mm/dia)); índice de distribuição do tamanho dos poros (XL); parâmetro de fluxo ascendente de umidade do lençol freático (CAP); limite de armazenamento para fluxo ascendente ou descendente (WC (mm)).

## RESULTADOS

As figuras 3 a 8, apresentam os resultados da simulação hidrológica para as sub-bacias do rio Piracicaba e Piranga – MG. Os hidrogramas demonstram a relação do comportamento da vazão no tempo e as curvas de permanência expressam a frequência das ofertas de vazões no corpo hídrico.

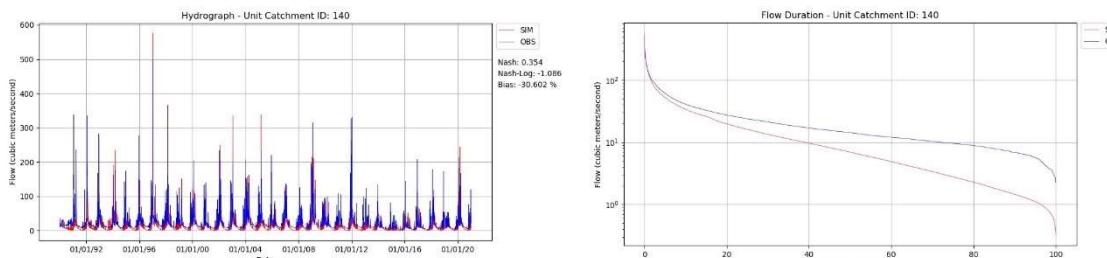


Figura 3 – Resultado da simulação na mini-bacia 140, posto fluviométrico 56610000, sub-bacia do Rio Piracicaba.

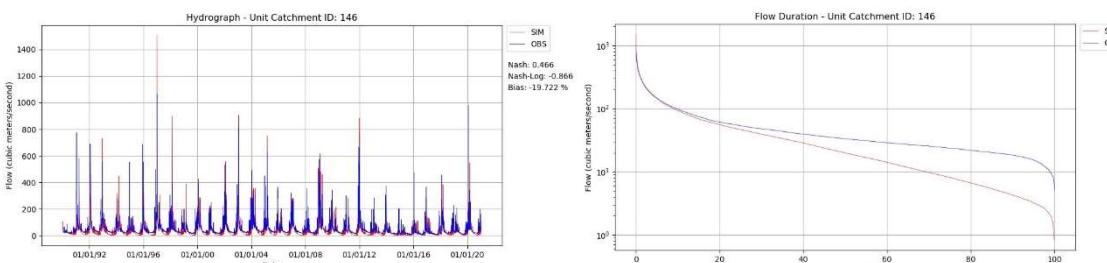


Figura 4 – Resultado da simulação na mini-bacia 146, posto fluviométrico 56659998, sub-bacia do Rio Piracicaba.

# I SIMPÓSIO NACIONAL DE MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA

Agosto/2022 – Ouro Preto/MG

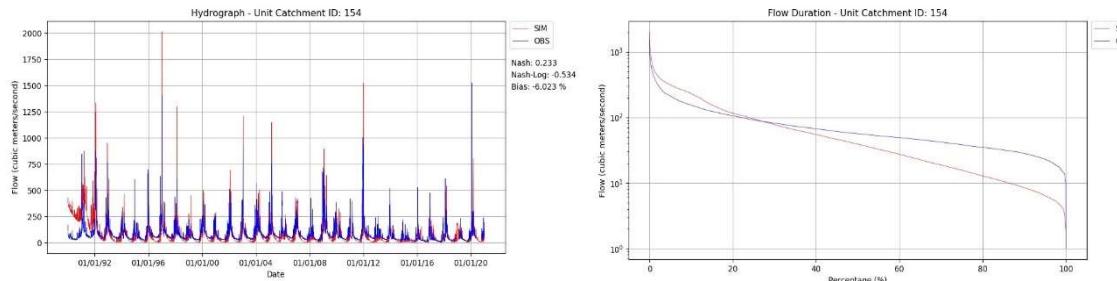


Figura 5 – Resultado da simulação na mini-bacia 154, posto fluviométrico 56696000, sub-bacia do Rio Piracicaba.

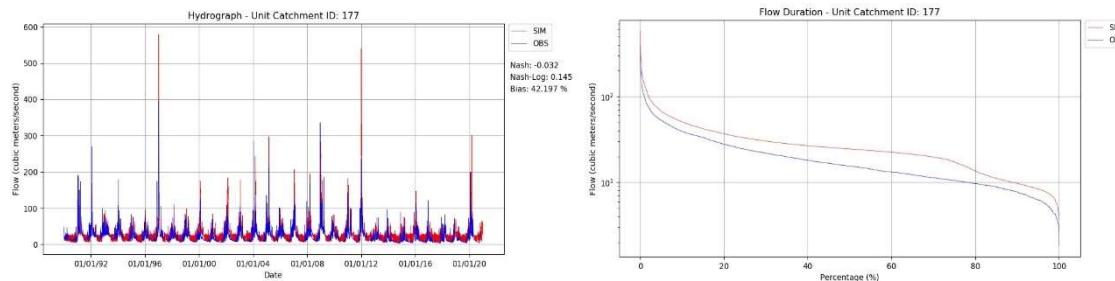


Figura 6 – Resultado da simulação na mini-bacia 177, posto fluviométrico 56028000, sub-bacia do Rio Piranga.

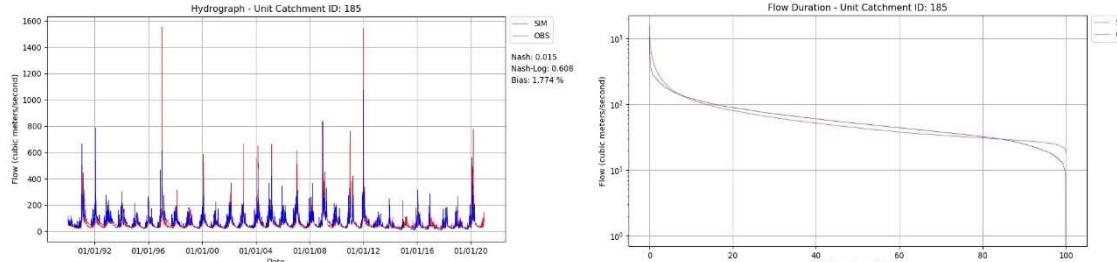


Figura 7 – Resultado da simulação na mini-bacia 185, posto fluviométrico 56075000, sub-bacia do Rio Piranga.

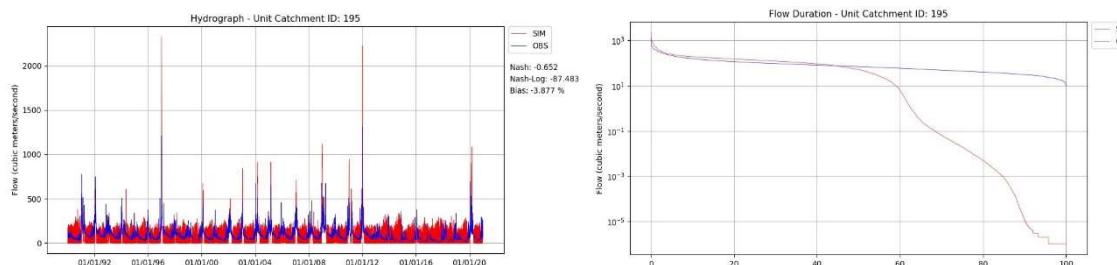


Figura 8 – Resultado da simulação na mini-bacia 195, posto fluviométrico 56110005, sub-bacia do Rio Piranga

As figuras 9 a 14, apresentam os resultados da simulação hidrológica para as sub-bacias analisadas após a calibração dos parâmetros de solo e a tabela 4 os coeficientes estatísticos obtidos.

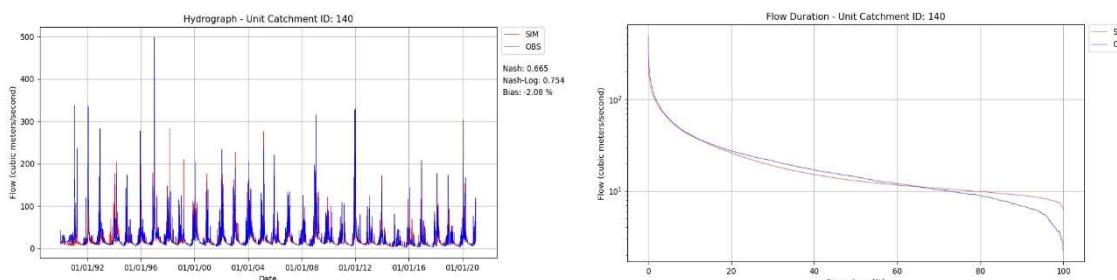


Figura 9 – Resultado da calibração na mini-bacia 140, posto fluviométrico 56610000, sub-bacia do Rio Piracicaba.

I SIMPÓSIO NACIONAL DE MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA  
Agosto/2022 – Ouro Preto/MG

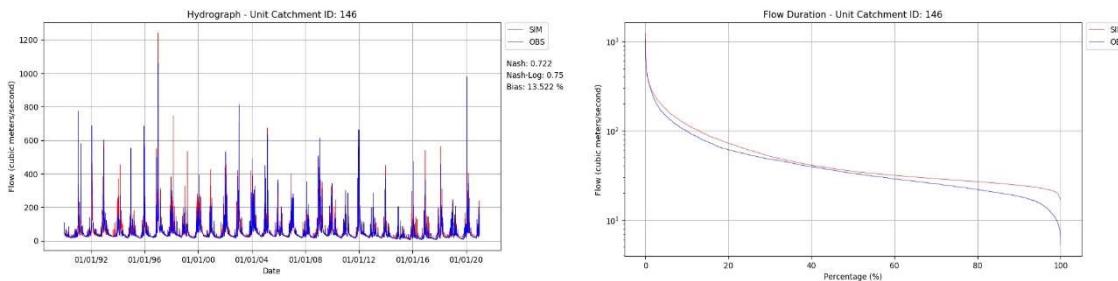


Figura 10 – Resultado da calibração na mini-bacia 146, posto fluviométrico 56659998, sub-bacia do Rio Piracicaba.

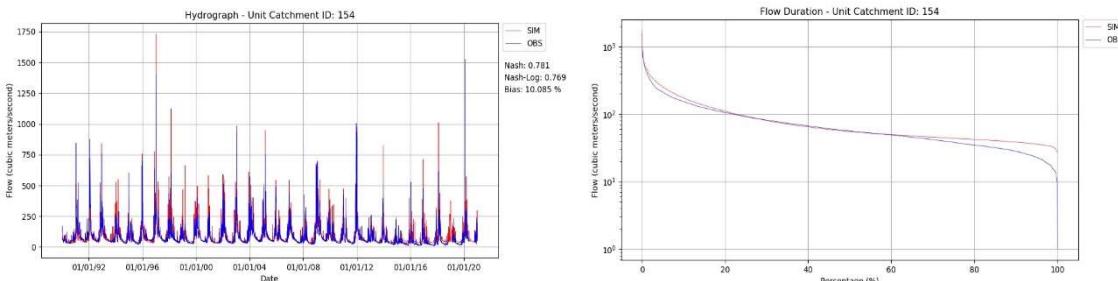


Figura 11 – Resultado da calibração na mini-bacia 154, posto fluviométrico 56696000, sub-bacia do Rio Piracicaba.

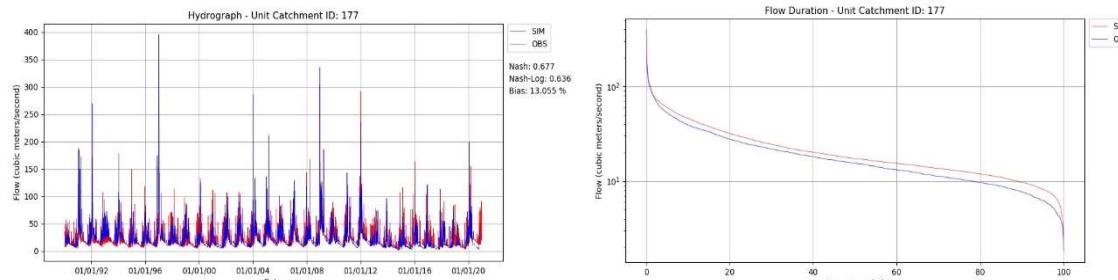


Figura 12 – Resultado da calibração na mini-bacia 177, posto fluviométrico 56028000, sub-bacia do Rio Piranga.

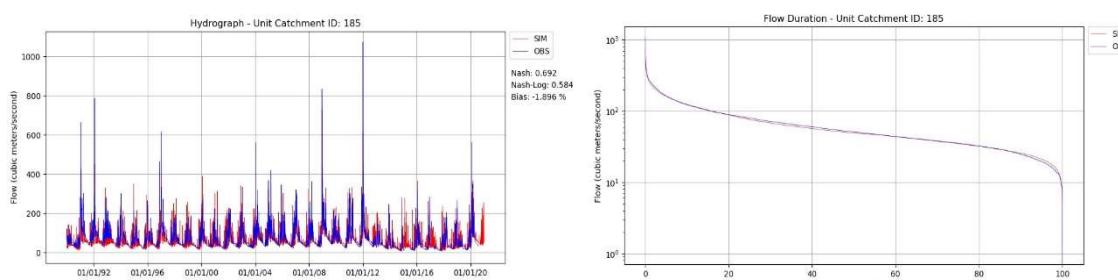


Figura 13 – Resultado da calibração na mini-bacia 185, posto fluviométrico 56075000, sub-bacia do Rio Piranga.

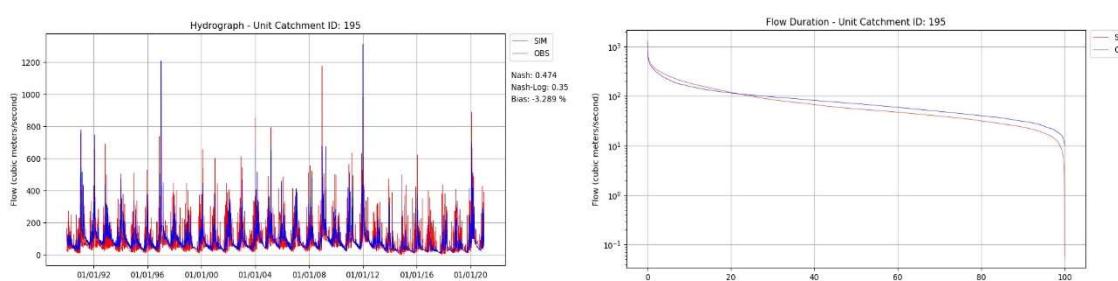


Figura 14 – Resultado da calibração na mini-bacia 195, posto fluviométrico 56110005, sub-bacia do Rio Piranga.

Tabela 4 – Avaliação de desempenho do modelo MGB-IPH – fase de calibração para a área de estudo.

Bacia Piracicaba									
Estações	56610000			56659998			56696000		
Coeficientes	NASH	NASH-Log	BIAS	NASH	NASH-Log	BIAS	NASH	NASH-Log	BIAS
1ª testagem	0.359	-1.094	30.892%	0.473	-0.874	-19.745%	0.238	-0.543	-6.050%
Calibração	0.665	0.754	-2.08%	0.722	0.750	13.522%	0.781	0.769	10.085%
Classificação	Bom	Muito bom	Muito Bom	Bom	Bom	Bom	Muito bom	Muito bom	Bom

Bacia Piranga									
Estações	56028000			56075000			56110005		
Coeficientes	NASH	NASH-Log	BIAS	NASH	NASH-Log	BIAS	NASH	NASH-Log	BIAS
1ª testagem	-0.039	0.153	42.213%	0.019	0.618	1.807%	-0.659	-87.499	-3.905%
Calibração	0.677	0.636	13.055%	0.692	0.584	-1.896%	0.474	0.35	-3.289%
Classificação	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Muito bom	Insatisfatório	Insatisfatório	Muito bom

## CONCLUSÕES

O modelo hidrológico MGB-IPH demonstrou bons ajustes entre as vazões simuladas e observadas dos rios Piracicaba e Piranga - MG, com boas reproduções de hidrogramas para cinco (5) das seis (6) estações fluviométricas utilizadas após o período de calibração indicando o potencial do modelo para simulações hidrológicas nas sub-bacias.

Os coeficientes NASH e NASH-Log apresentaram para as duas sub-bacias valores acima de 0,58 indicando desempenho satisfatório. Apenas a estação 56110005, próxima ao exutório da sub-bacia do rio Piranga apresentou coeficientes estatísticos insatisfatórios de NASH e NASH-log. Tal resultado pode estar atribuído a falta de dados hidroclimatológicos diários representativos, a baixa cobertura pluviométrica para região e a área de contribuição da mini-bacia vinculada a estação fluviométrica de análise ser considerada relativamente pequena. Trabalhos futuros irão investigar os motivos pelas quais a estação apresentou um ajuste ruim após a calibração.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, M. E.; MEYER, A. O.; FAN, F. M.; & PAIVA, R. C. D. (2020). “Manual de aplicação do modelo MGB utilizando o IPH-HYDRO Tools”. Manual Técnico, HGE, IPH, UFRGS, 2020.
- COLLISCHONN, N. (2001) “Simulação hidrológica de grandes bacias.” Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- COMÉRIO, A.; RIBEIRO, V. M. C. (2019) “Mobilização social para a produção de água e conservação de solo na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria do Rio Doce no Estado do Espírito Santo.” XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- EASTON, Z. M.; FOKA, D. R.; WALTER, M. T.; COWAN, D. M.; SCHNEIDERMAN, E. M.; STEENHUIS, T. S. (2008) “Re-conceptualizing the soil and water assessment tool (SWAT) model to predict runoff from variable source areas.” Journal of Hydrology, v.348, p.279-291.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W (2014) “*Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica.*” Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1, p. 243-254.

FELIX, V. S.; PAZ, A. R (2016). “*Representação dos processos hidrológicos em bacia hidrográfica do semiárido paraibano com modelagem hidrológica distribuída.*” Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p.556-569.

GETIRANA, A. C. V.; BONNET, M. P.; ROTUNNO FILHO, O. C.; COLLISCHONN, W.; GUYOT, J. L.; SEYLER, F.; MANSUR, W. J. (2010). “*Hydrological modelling and water balance of the Negro River basin: evaluation based on in situ and spatial altimetry data.*” Hydrological Processes. v.24, ed.22, p.3219-3236.

GHORABA, S. M. (2015) “*Hydrological modeling of the simly dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model.*” Alex. Eng. Journal. n. 54, p. 583–594, 2015.

MELO, F. P. de. (2016). “*Risco ambiental e ordenamento do território em Garanhuns-PE.*” 246 f. Tese (Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

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 simulations.*” Transactions of the ASABE, v. 50, n. 3, p. 885-900.

MULLER, Y. T.; MAINARDI, F. F.; BUFFON F. T.; MARCUZZO, F. F. N. (2019) “*Efeito da discretização na calibração do modelo MGB-IPH para a Bacia do rio Uruguai.*”

PONTES, P. R. M.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D. D.; BUARQUE, D. C. (2015). “*Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões.*” Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre, RS. Vol. 20, n. 4 (out./dez. 2015), p. 888-904, 2015.

REIS, P. R. C.; SILVEIRA, S. F. R.; COSTA, I. S.; (2010) “*Caracterização Socioeconômica da Bacia do Rio Doce: Identificação de Grupos Estratégicos por meio de Análise Multivariada*”. In: II ENCONTRO MINEIRO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, ECONOMIA SOLIDÁRIA E GESTÃO SOCIAL, 2010, Viçosa-MG. II Encontro Mineiro de Administração Pública, Economia Solidária e Gestão Social.

SANTOS, S.; SOUZA, M. M. P.; BIRCOL; GUILHERME, A. C.; UENO, H. M. (2020). “*Planos de gestão da bacia do rio e seus desafios: o caso da bacia do rio alto-tietê – estado de São Paulo, Brasil.*” Ambiente & Sociedade. Vol. 23.

TUCCI, C.E.M. (1998). “*Modelos Hidrológicos*”. Porto Alegre: Editora Universitária UFRGS, 1998.

**AGRADECIMENTOS** - O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.