

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO MURIAÉ PARA PREDIÇÃO DE CHEIAS

Carolina Marques Sampaio¹; Francisco Eustáquio Oliveira e Silva²

Abstract: Hydrological modeling is a fundamental tool for understanding the behavior of the hydrological cycle and, in particular, for predicting extreme events. In this study, a model was made for the Muriaé River watershed, a region with a recurrent history of critical events. Two widely used methods for continuous simulations, aimed at estimating effective precipitation, were employed: Soil Moisture Accounting (SMA) and Deficit and Constant (DC). Parameter calibration was performed using observed data from October 2003 to September 2008, and validation was conducted from October 2008 to September 2014. Model performance was evaluated using statistical metrics and the analysis of critical flood periods. It is acknowledged that the developed models may be used to characterize the hydrological regime of the referred basin, especially during flood periods.

Resumo: A modelagem hidrológica representa uma ferramenta fundamental para a compreensão do comportamento do ciclo hidrológico e, especialmente, para a previsão de eventos extremos. Neste estudo, foi elaborado um modelo para bacia hidrográfica do rio Muriaé, região com histórico recorrente de eventos críticos. Foram empregados dois métodos amplamente utilizados em simulações contínuas, voltados à estimativa da precipitação efetiva: Soil Moisture Accounting (SMA) e Deficit and Constant (DC). A calibração dos parâmetros foi conduzida com dados observados entre outubro de 2003 e setembro de 2008, e a validação entre outubro de 2008 e setembro de 2014. A qualidade do ajuste foi avaliada por meio de métricas estatísticas e pela análise de períodos críticos de inundação. Admite-se que os modelos aplicados possam ser empregados para caracterização do regime hidrológico da referida bacia, em especial, em períodos de inundação e dimensionamento de obras hidráulicas.

Palavras-Chave – Modelo hidrológico, *deficit and constant*, *soil moisture accountings*.

1) Engenheira Civil pela UFMG; Engenheira de Recursos Hídricos na BVP Geotecnia e Hidrotecnia - R. Tomé de Souza, 616 - Savassi, Belo Horizonte - MG, CEP 30140-131 – email: carolinasampaio@ufmg.br

2) Professor do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos e do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia, ambos da UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte - MG 31270-901 - email: fcoeustaquio@ufmg.br

INTRODUÇÃO

Eventos hidrológicos como tempestades convectivas e sistemas frontais em que elevadas alturas de chuva sejam verificadas podem suscitar eventos de inundações naturais. No Brasil, as regiões Sul e o Sudeste, são comumente atingidas por eventos extremos (SALVIANO, 2018). Segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, a bacia do rio Muriaé, localizada entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, tem registrado em seu histórico problemas relacionados a inundações desde 1925, mas eventos recentes datados entre 2008 e 2012 motivaram a criação de um sistema de alerta hidrológico contra inundações.

O aumento do número de impactos relacionados a inundações é consequência de vários fatores, dentre os quais o crescimento urbano desordenado associado a problemas socioeconômicos e as mudanças climáticas (MOREIRA E KOBAYAMA, 2021). Nesse contexto, modelos hidrológicos são usualmente empregados para caracterização desse fenômeno dado a sua capacidade de prever os impactos desses eventos extremos. Todavia, a modelagem requer a aplicação de um inventário de informações hidrometeorológicas, o qual utiliza conhecimento dos processos pertinentes ao ciclo hidrológico, como precipitação, evaporação, transpiração, interceptação e infiltração para simulação do fenômeno de transformação da chuva em vazão (SANTOS E FONTES, 2013).

Para estimar os impactos desses eventos na referida bacia, dois métodos distintos para estimativa de precipitação efetiva, foram avaliados para a simulação contínua em um período em que há registros de elevadas vazões de pico nas estações de monitoramento fluviométrico disponíveis. O HEC-HMS (Hydrological Engineering Center - Hydrologic Modeling System), software gratuito desenvolvido pelo USACE (United States Army Corps of Engineers) e comumente utilizado pela comunidade técnica para transformação chuva-vazão, foi empregado para esse fim.

O modelo hidrológico semi-distribuído e contínuo construído, empregou dois métodos distintos para estimativa da precipitação efetiva: o Soil Moisture Accounting (SMA) e o Deficit and Constant (DC). O método SMA utiliza cinco camadas para representar a dinâmica do movimento da água acima e dentro do solo. Essas camadas incluem a camada de interceptação da chuva pela vegetação, o armazenamento de depressão na superfície, solo, camada saturada e camada não-saturada. As condições iniciais para as cinco camadas de armazenamento devem ser especificadas como a porcentagem de água em cada camada de armazenamento antes do início da simulação (CHEA, 2018). O método Deficit and Constant, utiliza uma camada hipotética de solo para explicar as mudanças no teor de umidade do solo, e permite a simulação contínua se considerado os processos hidrológicos de interceptação e armazenamento em depressões.

Como a complexidade e a parametrização desses métodos difere significativamente, buscou-se investigar se uma descrição física mais fidedigna, no presente caso representado pelo SMA, permite o alcance de uma maior similaridade entre vazões observadas e modeladas. Diante desse contexto o estudo se propõe a calibrar e validar um modelo hidrológico contínuo e semi-distribuído para a bacia do rio Muriaé, com ênfase na capacidade preditiva durante os eventos de cheia registrados.

MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia do rio Muriaé está localizada na região sudeste e possui uma área de cerca de 8.126 km², sendo 45% pertencente ao estado de Minas Gerais e 55% pertencentes ao estado do Rio de Janeiro. Os principais afluentes são os rios Preto, Glória e Carangola e seu principal curso d'água é o Rio Muriaé que afluí ao rio Paraíba do Sul antes de sua foz no Oceano Atlântico. O histórico de inundações da bacia Muriaé registra dois grandes eventos antes do rompimento de barragem de rejeitos de mineração no município de Mirai/MG ocorrido em 2007, os quais aconteceram

respectivamente em 1925 e 1945. Posteriormente houve grandes inundações nos anos de 2008 e 2012, os quais foram produzidas por chuvas abundantes na cabeceira da bacia.

Em 2018 três cidades pertencentes a bacia, Carangola/MG, Porciúncula/RJ e Patrocínio do Muriaé/MG, sofreram com inundações, e os marcos de monitoramento atingiram a cota das marcas de cheia. Já em 2020 outros cinco municípios foram atingidos por eventos de cheia e 4 mil pessoas ficaram desalojadas segundo reportado pela CPRM. A Figura 1 mostra os detritos sobre a PCD existente do rio Carangola e uma área urbana atingida pela inundação.

Figura 1: Detritos na PCD de Carangola causado por enchentes e transbordamento do Rio Carangola – Fonte CPRM (2021)



Informações hidrológicas e características físicas

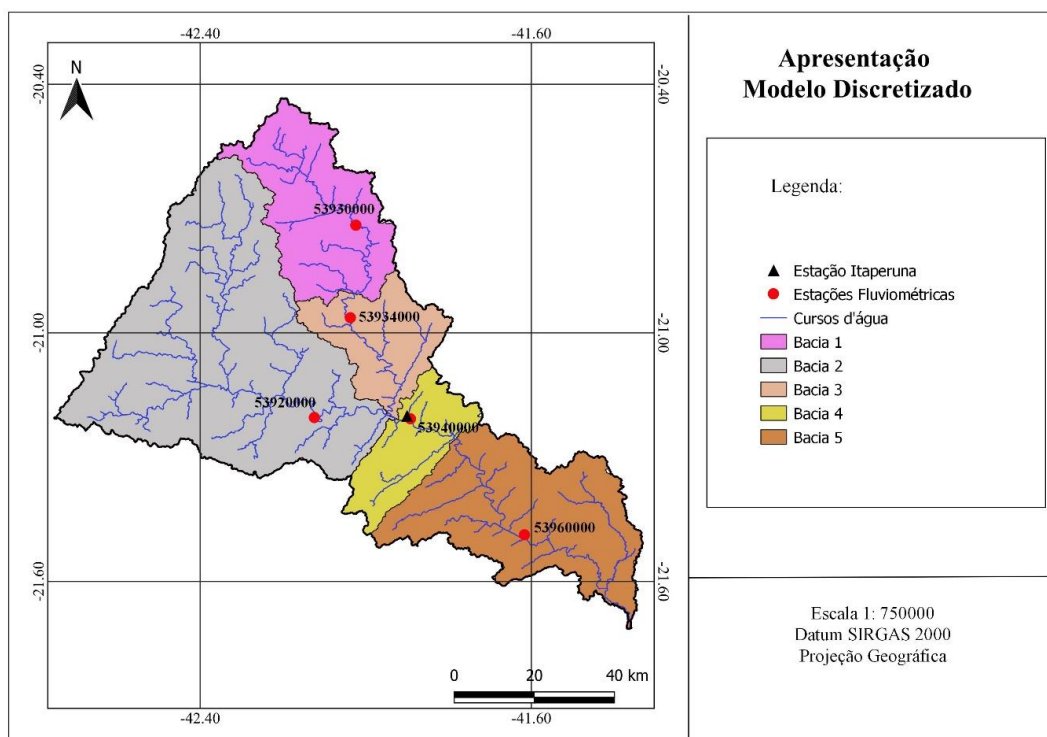
A caracterização física e hidrológica da sub-bacia do Rio Muriaé foi realizada através das informações disponíveis nos bancos de dados disponibilizados de órgão públicos como a CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), e ANA (Agência Nacional de Águas) e publicações científicas. Os dados de precipitação em formato grid foram obtidos através do banco de dados produzidos no estudo “*Brazilian Daily Weather Gridded Data*” elaborado por Xavier (2022) em escala diária. A análise dos dados de chuvas mencionados revelou que regime hidrológico é marcada por estações secas (abril a setembro) e chuvosas (outubro a março) bem definidas.

Os dados de evapotranspiração utilizados foram obtidos através do banco de dados de Normais Climatológicas fornecidas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) mais especificamente das relativas a estação Itaperuna, única contida dentro os limites da bacia. A Tabela 1 apresenta um resumo das informações empregadas. Por fim, a bacia foi subdividida conforme a localização das cinco estações fluviométricas, operadas pela CPRM e disponível no banco de dados da ANA, disponíveis. As estações empregadas e a representação semi-distribuída da bacia hidrográfica Muriaé, estão apresentadas na Figura 2.

Tabela 1: Informações hidrológicas e físicas empregadas

Tipo de Dado	Descrição (Período adotado)	Fonte
Referencial Topográfico	Modelo Digital de Elevação (30m x 30m)	Copernicus (OpenTopography)
Pluviometria	Dados espacializados de chuva Período - (1960 a 2020)	Xavier (2022)
Evapotranspiração	Estação disponível para coleta – Itaperuna (1991 a 2020)	INMET (Instituto Nacional de Meteorologia)
Vazão	Estações (58920000, 58930000, 58934000, 58940000, 58960000) Período - (1960 a 2020)	ANA (Agência Nacional de Águas)
Dados físicos	Vegetação, uso e ocupação do solo Período - (2000 a 2020)	IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico)

Figura 2: Discretização da Bacia Muriaé



Representação dos processos físicos

Para a estimativa das perdas por interceptação, adotou-se o método dinâmico, o qual requer como parâmetros de entrada a condição inicial de armazenamento e a capacidade máxima de retenção da vegetação. No que se refere às perdas por armazenamento em depressões do terreno, foi utilizado o método simplificado. Os parâmetros de entrada para este processo são análogos aos da interceptação, consistindo na condição inicial de armazenamento e na capacidade máxima de retenção das depressões superficiais. A Tabela 2 mostra os valores dos parâmetros adotados para os processos.

Tabela 2: Parâmetros de entrada representativos para consideração dos processos físicos associados as abstrações hidrológicas (intercepção e armazenamento em depressões)

Perdas Iniciais		
Processo	Parâmetros	
	Condição Inicial (%)	Capacidade Máxima (mm)
Intercepção	0	0,1
Armazenamento em Depressões		

Para transformação da chuva efetiva em escoamento direto foi utilizado o método do Hidrograma Unitário de Clark, o qual requer dois parâmetros de entrada, o tempo de concentração e um coeficiente de armazenamento (R). O tempo de concentração, foi calculado para cada sub-bacia através da fórmula de Kirpich que, apesar de ter sido desenvolvida a partir de bacias com áreas inferiores a 0,45km², a formulação se mostrou adequada para bacias rurais com até 12.000km², como destaca Silvera (2005). Por fim, a estimativa do fluxo de base se deu a partir do modelo reservatório linear.

Foram empregados dois métodos amplamente utilizados em simulações contínuas, voltados à estimativa da precipitação efetiva: SMA e Deficit and Constant DC. O modelo SMA, o qual estima a altura de chuva disponível para formação dos escoamentos direto e de base e as perdas devido a evapotranspiração, segue o modelo do sistema de modelagem de precipitação e escoamento proposto por Leavesley (1983). Seu emprego admite que, altura de chuva disponível para infiltração, são os outputs dos modelos utilizados para representação da intercepção e do armazenamento em depressões, observada a estimativa da evapotranspiração real. A Tabela 3 expressa os valores iniciais, limites de parâmetros adotados para o método, nesse estudo, bem como os valores calibrados para cada sub-bacia.

Tabela 3: Parâmetros iniciais adotados para o método SMA, limites extremos considerados e valores calibrados

Parâmetros e Limites Adotados										
Método	Parâmetros	Valor Inicial	Limite Inferior	Limite Superior	Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Estado Final
SMA	Soil (%)	45,00	0	100.0	70.0	50.0	80.0	75.0	65.0	Calibrado
	Groundwater 1 (%)	0,00	0	100.0	0.0	12.0	21.0	12.0	0.0	Calibrado
	Groundwater 2 (%)	0,00	0	100.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	Calibrado
	Max Infiltration (mm/h)	15,00	0	300.0	10.0	52.5	10.0	15.0	13.0	Calibrado
	Soil Storage (mm)	35,00	0	500.0	92.0	99.0	25.0	40.0	40.0	Calibrado
	Tension Storage (mm)	20,00	0	500.0	80.0	48.0	21.0	25.0	25.0	Calibrado
	Soil Percolation (mm/h)	50,00	0	300.0	96.0	74.0	46.0	64.0	74.0	Calibrado
	GW1 Storage (m ³ /s)	58,00	0	150.0	35.0	3.9	38.0	53.0	26.0	Calibrado
	GW1 Percolation (mm/h)	0,50	0	10.0	2.1	1.1	1.1	0.5	0.7	Calibrado
	GW2 Storage (m ³ /s)	74,00	0	150.0	85.0	124.4	75.0	82.0	52.0	Calibrado
	GW2 Percolation (mm/h)	0,04	0	10.0	0.1	2.5	2.5	0.0	1.1	Calibrado

O método *Deficit and Constant*, utiliza uma camada hipotética de solo para explicar as mudanças no teor de umidade, e permite a simulação contínua se considerado os processos hidrológicos de intercepção e armazenamento em depressões. Assim como no modelo SMA, a altura de chuva encontra-se disponível para infiltração quando alcançada a capacidade máxima de

armazenamento. A Tabela 4 expressa os limites inferior e superior dos parâmetros adotado pelo método Deficit and Constant, e os valores calibrados para as sub-bacias. Destaca-se que em ambos os modelos foram adotados os mesmos valores iniciais e limites de parâmetros para as cinco sub-bacias, estimados inicialmente segundo suas características fisiográficas.

Tabela 4: Parâmetros iniciais adotados para o método DC, limites extremos considerados e valores calibrados

Parâmetros e Limites Adotados										
Método	Parâmetros	Valor Inicial	Limite Inferior	Limite Superior	Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Estado Final
Deficit and Constant	Inicial Deficit (mm)	25,00	0	500	57.9	15.2	73.3	15.0	10.0	Calibrado
	Maximum Deficit (mm)	50,00	0	500	60.7	17.0	100.8	36.0	52.0	Calibrado
	Constant Rate (mm/h)	0,01	0	300	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	Calibrado

Calibração e validação

Segundo Chea (2018), um modelo é considerado útil se for capaz de representar os registros hidrométricos disponíveis de forma suficientemente acurada. Para a calibração do modelo foi utilizada uma combinação de técnicas de otimização automática disponíveis no HEC-HMS, procedidos ajustes manuais, uma vez que o processo automatizado nem sempre conduzia a resultados satisfatórios. No período de calibração selecionado encontram-se registrados eventos extremos, i.e., períodos com elevadas alturas precipitadas e vazões de pico expressivas nos cursos d'água monitorados. Os períodos de calibração e validação foram, respectivamente, 01 de junho de 2003 a 31 de maio de 2008 e 01 junho de 2008 a 31 de maio de 2014.

Para avaliação dos modelos foram utilizados três índices para avaliação da qualidade do ajuste: o coeficiente de eficiência de *Nash-Sutcliffe* (NSE), *Percent Bias* (PBIAS) e o coeficiente de determinação (R^2). Conforme sugerido por Moriase *et al.* (2015), na Tabela 5 um sumário geral dos índices considerados é descrito.

Tabela 5: Índices de qualidade de ajuste e performance considerados para avaliação dos modelos hidrológicos

Performance	Código	R^2	NSE	PBIAS
Muito Boa	Dark Green	$0,85 < R^2 \leq 1$	$0,8 < NSE \leq 1$	$PBIAS < (+/-)5$
Boa	Light Green	$0,75 < R^2 \leq 0,85$	$0,70 < NSE \leq 0,80$	$(+/-)5 < PBIAS \leq (+/-)10$
Satisfatória	Orange	$0,60 < R^2 \leq 0,75$	$0,50 < NSE \leq 0,70$	$(+/-)10 < PBIAS \leq (+/-)15$
Insatisfatória	Red	$R^2 \leq 0,6$	$NSE \leq 0,50$	$PBIAS \geq (+/-)15$

É válido mencionar que a calibração de cada sub-bacia considerou as informações de vazões disponíveis à montante de cada área incremental, i.e., as vazões afluentes observadas foram propagadas e somadas às produzidas (modeladas) na área incremental. Já na validação, os índices de qualidade de ajuste foram calculados considerando-se somente as vazões modeladas. Em outras palavras, nesta etapa não foram consideradas quaisquer informações observadas.

RESULTADOS

A análise dos resultados permitiu identificar um comportamento padrão no que tange aos índices de qualidade de ajuste: as bacias localizadas nas cabeceiras apresentaram índices, em geral,

inferiores àquelas situadas nas porções média e baixa da bacia do rio Muriaé. Já a relação entre esses índices e os métodos empregados para estimativa da precipitação efetiva, SMA e DC, não indicou uma diferença expressiva da capacidade preditiva dos modelos, como resumido na Tabela 6. Considera-se a simulação em escala temporal horária.

Tabela 6: Índices de qualidade de ajuste, área de drenagem e tempo de concentração das sub-bacias durante o período de calibração, em função das técnicas empregadas para estimativa da precipitação efetiva

Parâmetros e Índices de Ajuste					
Parâmetros	Valores				
	Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5
Áreas de Contribuição (km ²)	1.271,9	3.658,0	746,4	631,6	1.782,3
Tempo de Concentração (h)	26,92	55,21	55,34	65,50	110,70
SMA					
NSE	0,65	0,62	0,70	0,86	0,87
PBIAS	-7,48	8,67	2,30	0,58	0,83
R ²	0,66	0,55	0,71	0,86	0,88
Deficit and Constant					
NSE	0,65	0,54	0,70	0,86	0,87
PBIAS	3,82	1,41	2,5	1,15	2,12
R ²	0,65	0,54	0,70	0,86	0,88

De fato, presume-se que a melhoria desses índices de qualidade em direção a jusante esteja relacionada à discretização temporal das informações hidrométricas disponíveis (diária) e ao tempo de concentração das bacias. Em síntese, infere-se que as informações fluviométricas empregadas não permitem uma descrição suficientemente acurada dos volumes escoados diariamente, já que a magnitude da sua variação intradiária possivelmente não é capturada para uma série de eventos modelados. Nas Figura 3 a Figura 5, apresentadas na sequência, os hidrogramas observados e modelados para três (das cinco sub-bacias) são descritos. Elas representam os comportamentos intermediário (sub-bacia 1) e extremos (pior: sub-bacia 2; melhor: sub-bacia 5) associados aos índices analisados. Destaca-se que as vazões modeladas descritas no período de validação, nesse caso, foram obtidas a partir da soma das vazões incrementais modeladas às observadas propagadas, sempre que uma estação de monitoramento existia à montante do exutório da referida sub-bacia.

Figura 3: Vazões observadas e modeladas para os períodos de calibração e validação na sub-bacia 1, função das técnicas empregadas para estimativa da precipitação efetiva: SMA (esquerda) e Déficit e Constant (direita)

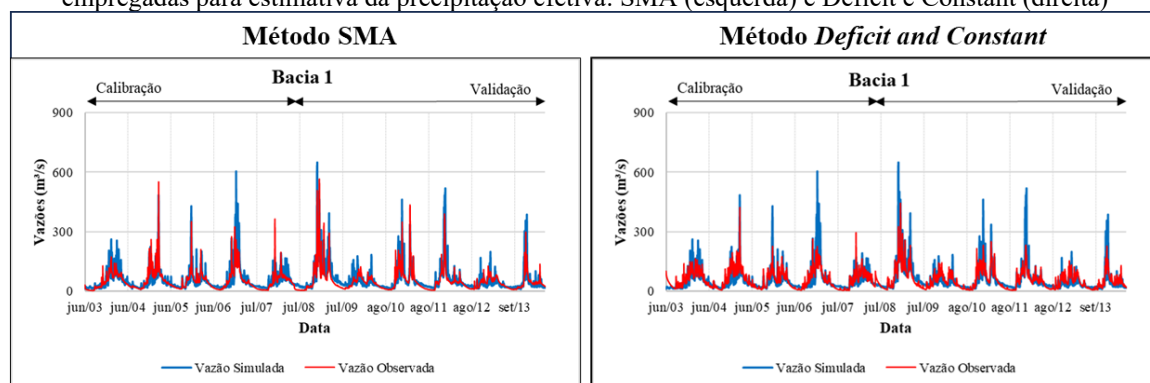


Figura 4: Vazões observadas e modeladas para os períodos de calibração e validação na sub-bacia 2: SMA (esquerda) e Déficit e Constant (direita)

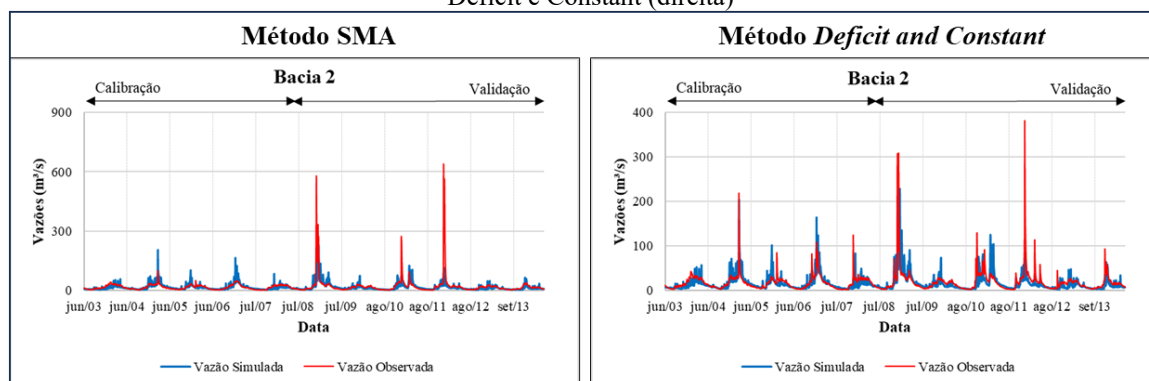
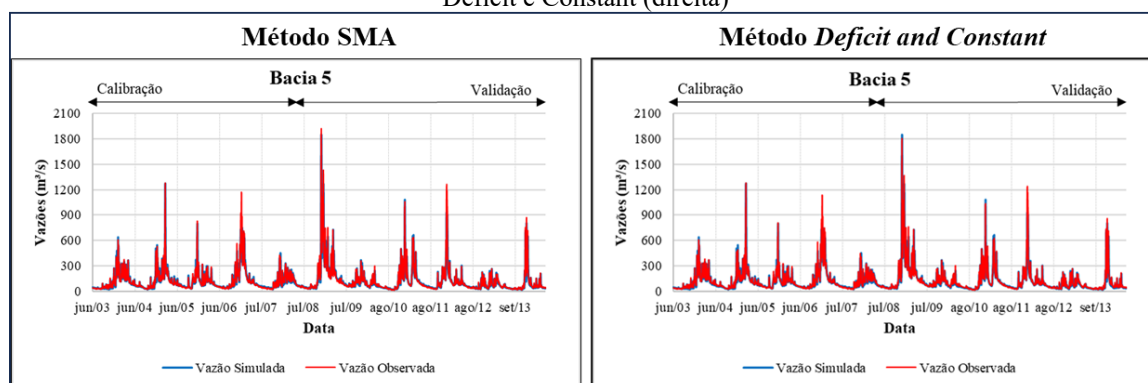


Figura 5: Vazões observadas e modeladas para os períodos de calibração e validação na sub-bacia 5: SMA (esquerda) e Déficit e Constant (direita)



Ainda que uma diferença expressiva da capacidade preditiva dos modelos avaliados não seja imediatamente percebida nas Figuras 3 a 5, uma avaliação pormenorizada dos principais eventos de cheia indicou que o modelo que empregou o SMA para estimativa da precipitação efetiva representou melhor as vazões de pico observadas. A Figura 6 e a

Figura 7, resumem essa observação. A primeira, revela uma diferença no comportamento das vazões modeladas por essas técnicas para vazões de maior magnitude presentes no período de análise. Já a segunda, reitera essa interpretação ao descrever o comportamento de ambos os modelos para o evento que apresentou a maior vazão de pico na série temporal analisada.

Figura 6: Comportamento das vazões modeladas (pontos) em relação às observadas (reta de 45°) para os modelos analisados na sub-bacia 5: SMA (esquerda) e Déficit e Constant (direita)

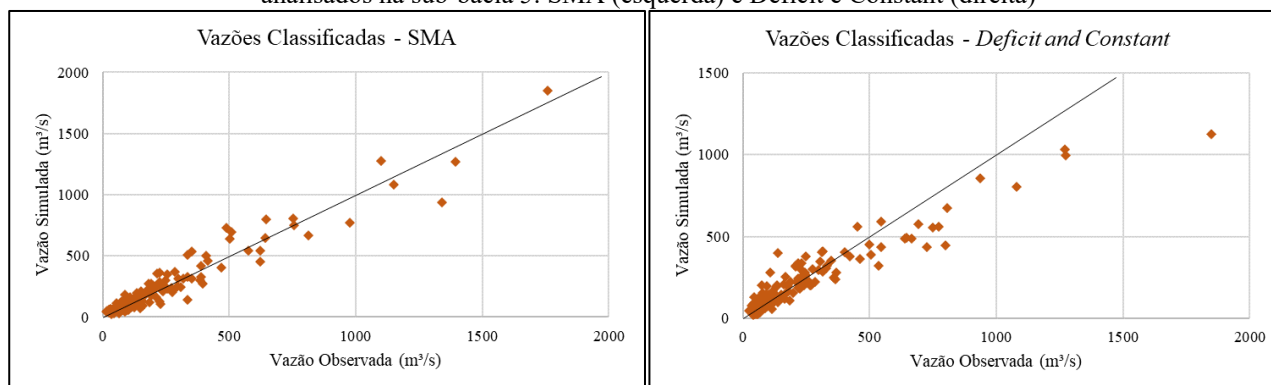
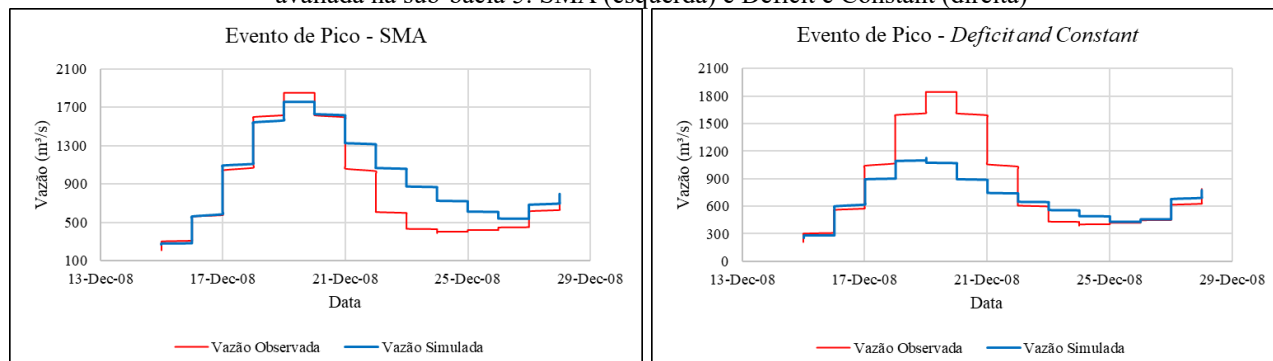


Figura 7: Hidrogramas observados e modelados para o evento que apresentou a maior vazão de pico na série temporal avaliada na sub-bacia 5: SMA (esquerda) e Déficit e Constant (direita)



Por fim, a Tabela 7 apresenta os índices de qualidade de ajuste somente para o modelo que considerou o SMA para estimativa da precipitação efetiva e para o período de validação. Destaca-se que esses índices foram estimados sem o emprego de quaisquer vazões observadas em estações à montante do exutório das referidas sub-bacia.

Tabela 7: Índices de qualidade de ajuste alcançados para as sub-bacias do rio Muriaé modeladas a partir do emprego do método SMA e sob a ausência de informações fluviométricas monitoradas

Método	Estatísticas de ajuste		Validação (01jun2008 a 01jun2014)				
			Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5
SMA	NSE	Valor	0,708	0,442	0,71	0,876	0,886
		Condição	Light Green	Insatisfatória	Light Green	Dark Green	
	PBIAS	Valor	-11,78	-0,23	-6,02	1,58	3,56
		Condição	Satisfatória	Dark Green	Light Green	Dark Green	
	R ²	Valor	0,72	0,52	0,71	0,88	0,91
		Condição	Satisfatória	Insatisfatória	Satisfatória	Dark Green	

Os índices de ajuste descritos nas Tabelas 6 e 7 não revelam uma diferença expressiva entre os períodos de calibração e validação descritos. Nota-se uma redução mais pronunciada dos índices para as sub-bacias de cabeceira. Independentemente, admite-se que a similaridade entre vazões modeladas e observadas alcançada instiga a extensão do estudo, sob a perspectiva de estender a validação do modelo sob diferentes cenários de cheias e por meio da integração de outras informações que permitam validar a representação física dos processos hidrológicos modelados.

CONCLUSÃO

A proposta do presente estudo foi aplicar um modelo hidrológico para a bacia do rio Muriaé, na qual se verificou uma série de eventos de inundação, em especial, ao longo da última década. A avaliação orientou-se pela comparação de dois modelos de base física, os quais possuíam uma estrutura conceitual semelhante e representavam os mesmos processos hidrológicos, à exceção do método utilizado para estimativa da precipitação efetiva. Os índices de qualidade de ajuste alcançados pelos modelos, os quais utilizaram o método SMA e Déficit e Constant, foram comparados. Tencionava-se avaliar se a representação física mais fundamentada do método SMA permitiria o alcance de índices de qualidade de ajuste superiores. Em geral, os resultados indicaram uma ligeira superioridade do modelo que se valeu dessa técnica.

Há de ponderar que a estrutura conceitual do modelo que considerou o método SMA exige a calibração de um número de parâmetros bastante superior à do modelo que empregou o método Déficit and Constant. No presente caso, a modelagem é motivada pela predição de eventos de cheia na bacia do rio Muriaé e, assim sendo, resta claro que o emprego do modelo que considera o SMA permite uma estimativa mais acurada. Entretanto, a seleção do modelo "ótimo" para esse fim deve-se apoiar na análise de critérios que estendem os objetivos do presente estudo. Dentre esses, destacam-se a capacidade preditiva do modelo de estimar adequadamente o tempo e a magnitude das vazões que superam determinado limiar, por exemplo, associados aos níveis que definem a transição do leito menor para a planície de inundação.

Os índices de qualidade de ajuste alcançados, os quais podem ser considerados satisfatórios, sugerem a extensão do estudo. Admite-se que uma estimativa adequada das incertezas presentes na modelagem e uma avaliação dos demais processos físicos preditos (ex.: umidade do solo) a partir de informações de sensoriamento remoto sejam as etapas subsequentes.

REFERÊNCIAS

- CHEA, Sophos; OEURN, Chantha. Flow simulation in an ungauged catchment of Tonle Sap Lake Basin in Cambodia: Application of the HEC-HMS model. EWRA -Water Utility Journal, [S. l.], p. 3-17, 12 fev. 2018.
- LEAVESLEY, G.H.; LICHTY, R.W.; Throutmene, B.M.; Saindon, L.G. Precipitation-runoffmodellingsystem:use(s manual. SI.: US Geological Survey Water Resources Investigations, 1983.
- MOREIRA, L.L; KOBAYAMA, M. Panorama de estudos sobre índice de vulnerabilidade às inundações no Brasil através de revisão bibliográfica. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 22, n. 79, p. 309–320, 2021. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/52240>. Acesso em: 7 jul. 2023.
- MORIASE, D.N. et al. Hydrologic and water quality models: performance measures and evaluation criteria. American Society of Agricultural and Biological Engineers, [s. l.], v. 58, p. 1763- 1785, Dezembro de 2015.
- SALVIANO, M.F. O Sistema de Alerta de Inundação do Rio Muriaé. III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, Juiz de Fora-MG, 27 A 29 de Agosto 2018.
- SALVIANO, M.F; MATOS, A.J.S. Relatório Anual do Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Muriaé – 2021 – São Paulo: CPRM, 2021.
- SANTOS, B.V.C.D; FONTES, A.S. Calibração do Modelo Hidrológico SMAP para a Bacia do Rio Salitre Considerando Diferentes Cenários Climáticos. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves-RS, 17 a 22 de novembro de 2013.
- XAVIER, A. C., Scanlon, B. R., King, C. W., & Alves, A. I. (2022). New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). International Journal of Climatology, 42(16), 8390– 8404. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>. DDOR, N.; MENSEN, L. A. Legacy, Rather Than Adequacy, Drives the Selection of Hydrological Models. Water Resources Research, v. 55, n. 1, p. 378–390, 2019.
- SILVEIRA, A. L. L. da. Desempenho de formulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre,RS: ABRH. Vol. 10, n. 1(jan./mar. 2005), p. 5-23.