

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO SWAT PARA AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA EM UMA BACIA DO CERRADO BRASILEIRO

Antônio Gomes da Silva Neto¹ ; Lorena Lima Ferraz² & Felizardo Adenilson Rocha³

Abstract: The western region of Bahia, located in the Cerrado biome and partially overlapping the Urucuia Aquifer System (SAU), plays a crucial role in Brazilian agriculture. However, economic development in the region faces significant challenges in harmonizing with environmental conservation. This study aimed to calibrate and validate the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model for the Rio do Meio watershed using the SUFI2 algorithm in SWAT-CUP. The model was calibrated for the period 2014–2017 and validated for 2018–2021. Performance metrics such as R^2 , NSE, PBIAS, and KGE were employed to assess model accuracy. Sensitivity analysis, daily calibration, and validation were performed. The calibration phase aimed to fine-tune model parameters to better represent local hydrological characteristics, while the validation phase assessed the model's ability to reproduce observed watershed behavior. Results showed satisfactory model performance, with NSE and R^2 values of 0.70 and 0.76, respectively, during calibration. Validation results showed slightly lower but still acceptable performance, with NSE = 0.62 and R^2 = 0.55, reflecting uncertainties inherent to hydrological modeling. Additional metrics such as PBIAS and KGE also supported the model's robustness. The SWAT model demonstrated a strong capacity to represent the hydrological behavior of the Rio do Meio watershed. This improved understanding of local hydrological processes has important implications for water resource management, supporting decision-making related to agricultural development and environmental conservation. Moreover, the study provides a foundation for future applications of the model in climate and land use change scenarios aimed at promoting sustainable water resource management.

Resumo: A região oeste da Bahia, inserida no bioma Cerrado e parcialmente sobre o Sistema Aquífero Urucuia (SAU), tem papel relevante na agricultura brasileira. Contudo, enfrenta desafios ao conciliar desenvolvimento econômico e conservação ambiental. Este estudo teve como objetivo calibrar e validar o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) na bacia hidrográfica do rio do Meio, utilizando o algoritmo SUFI2 no SWAT-CUP. A calibração foi realizada para o período de 2014 a 2017, e a validação de 2018 a 2021. Para avaliação do desempenho, foram utilizadas as métricas R^2 , NSE, PBIAS e KGE. A calibração visou ajustar os parâmetros do modelo às condições hidrológicas locais, enquanto a validação buscou verificar sua capacidade de simular o comportamento observado da bacia. Os resultados indicaram bom desempenho do modelo, com NSE de 0,70 e R^2 de 0,76 na calibração. Na validação, NSE e R^2 foram de 0,62 e 0,55, respectivamente, valores ainda considerados satisfatórios. A análise de sensibilidade destacou os parâmetros CN2, ALPHA_BF, GW_DELAY e ESCO como os mais influentes. As métricas PBIAS e KGE também reforçaram a robustez do modelo. O SWAT demonstrou boa capacidade de representar a dinâmica

¹) Afiliação: Antônio Gomes da Silva Neto, UESB/CEPESA – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA Campus Universitário “Juvino Oliveira”, BR 415, km 04 CEP: 45.700-000, Itapetinga – BA – Brasil Fone: (77) 99901-5546 | E-mail: antonionetocar@gmail.com

²) Afiliação: Lorena Lima Ferraz, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Rodovia Ilhéus/Itabuna, Km 16, Salobrinho CEP: 45662-900, Ilhéus – BA – Brasil Fone: (77) 9994-0677 | E-mail: lorenalferraz@gmail.com

³) Afiliação: Felizardo Adenilson Rocha, UESB/CEPESA – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA Campus Universitário “Juvino Oliveira”, BR 415, km 04, CEP: 45.700-000, Itapetinga – BA – Brasil, Fone: (77) 99103-1355 E-mail: felizardoar@hotmail.com

hidrológica da bacia do rio do Meio, subsidiando a gestão sustentável dos recursos hídricos. A compreensão dos processos hidrológicos locais contribui para decisões mais eficazes sobre uso do solo e conservação ambiental. O estudo também abre perspectivas para simulações futuras considerando mudanças climáticas e uso da terra, visando à sustentabilidade hídrica regional.

Palavras-Chave – Bacia do rio do Meio, Calibração e validação, Modelagem hidrológica.

1. INTRODUÇÃO

A gestão eficaz dos recursos hídricos em regiões agrícolas constitui um desafio complexo, especialmente quando se considera a interação dinâmica entre o uso da terra e a disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas. Essa inter-relação desempenha papel fundamental na conservação dos recursos hídricos e do solo. Nesse contexto, estratégias de gestão de bacias hidrográficas, aliadas ao monitoramento contínuo das mudanças no uso da terra, particularmente em áreas de expansão agrícola, podem ser potencializadas por meio do emprego de ferramentas avançadas de modelagem hidrológica, conforme destacado por Martins *et al.* (2020).

As consequências das mudanças climáticas, os impactos decorrentes da ocupação inadequada do solo e a ausência de planejamento ambiental adequado podem provocar alterações significativas no escoamento superficial (Sadhvani *et al.*, 2022). Tais mudanças afetam negativamente os componentes do ciclo hidrológico, interferem na qualidade de vida das populações e comprometem a produtividade agrícola, ocasionando prejuízos econômicos relevantes (Danielescu *et al.*, 2022). Diante disso, torna-se essencial o desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação que minimizem esses efeitos, promovendo a sustentabilidade ambiental (Zhao *et al.*, 2019; Poorheydari *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2022; da Silva *et al.*, 2023b).

A compreensão das respostas hidrológicas frente às alterações físicas observadas em uma bacia hidrográfica é fundamental para a formulação de estratégias sustentáveis de mitigação de impactos ambientais. Essa compreensão possibilita uma tomada de decisão mais precisa e eficaz, orientada para a conservação e o uso responsável dos recursos hídricos (Mango *et al.*, 2011).

No Brasil, a governança da água representa um desafio significativo, demandando uma compreensão aprofundada dos processos hidrológicos em nível de bacia. Nesse sentido, a modelagem hidrológica assume papel crucial como ferramenta para gestão dos recursos hídricos, permitindo embasar decisões em dados científicos confiáveis. Ademais, a modelagem possibilita a simulação de cenários futuros, a avaliação dos impactos das mudanças climáticas e do uso da terra, bem como o planejamento de medidas de adaptação e mitigação — aspectos especialmente relevantes em regiões com intensa atividade agrícola, como o Oeste da Bahia (Escamilla-Rivera *et al.*, 2022).

A região Oeste baiana destaca-se pela abundância de recursos hídricos provenientes de rios, lagos e aquíferos subterrâneos. Contudo, nas últimas décadas, tem vivenciado conflitos relacionados ao uso da água, impulsionados pela expansão da fronteira agrícola (Ferraz *et al.*, 2022; da Silva *et al.*, 2023). Nesse cenário, a outorga de direitos de uso dos recursos hídricos ganha relevância devido à elevada demanda da região, predominantemente caracterizada pelo agronegócio, com produção expressiva de soja, milho e algodão em milhões de hectares (Souza *et al.*, 2023). De acordo com a AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2023), a retirada de água para irrigação representa mais de 60% da demanda total, com crescimento expressivo de áreas irrigadas, que passaram de 9 pivôs centrais em 1985 para 1.550 em 2016, alcançando uma área irrigada superior a 170 mil hectares.

Estudos anteriores realizados na região contribuem para o entendimento hidrológico local. Na sub-bacia do Rio Grande, da Silva (2021) calibrou e validou o modelo SWAT em escala mensal, obtendo desempenho satisfatório a bom. A simulação indicou que o fluxo de base e o teor de água no solo foram os principais componentes do balanço hídrico afetados pela expansão agrícola, que levou à redução de 27,47% das áreas naturais e aumento de 192,48% das áreas agrícolas entre 1990 e 2015. Em outra bacia da região, Ferraz *et al.* (2021) também calibraram e validaram o modelo SWAT, obtendo coeficientes KGE, NSE e R² variando entre 0,69 e 0,76, confirmando a adequação do modelo

para simular balanço hídrico e curvas de permanência, tornando-o uma ferramenta útil para a gestão dos recursos hídricos e estudos futuros sobre os impactos das mudanças climáticas e do uso da terra.

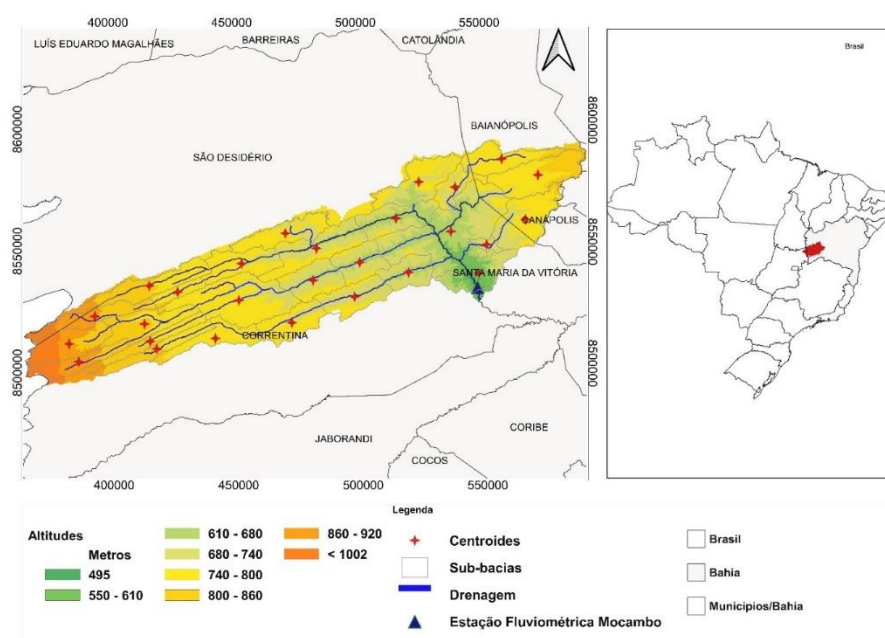
Diante dos desafios da gestão dos recursos hídricos no Oeste baiano e da carência de estudos hidrológicos na bacia hidrográfica do Rio do Meio, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise abrangente que envolve desde a sensibilidade até a validação do modelo SWAT na área em estudo. Busca-se, assim, avaliar o desempenho do modelo e disponibilizar um modelo calibrado e validado para simulações futuras, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos da região.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio do Meio situa-se no Oeste do estado da Bahia, nordeste do Brasil (Figura 1), abrangendo uma área de 8.855 km² e apresentando uma variação altimétrica de 495 a 1002 m e está compreendida entre os paralelos de 12°7' a 13°5'S e meridianos de 44°13'– 46°20'W. Essa bacia é considerada uma área de grande importância, inserida em um dos sistemas aquíferos mais extensos da região, o Sistema Aquífero Urucuia (SAU), responsável pela manutenção da disponibilidade hídrica dos rios da bacia do Rio São Francisco.

Figura 1 – Localização sub-bacia do Rio do Meio, estações e hidrografia, oeste da Bahia.



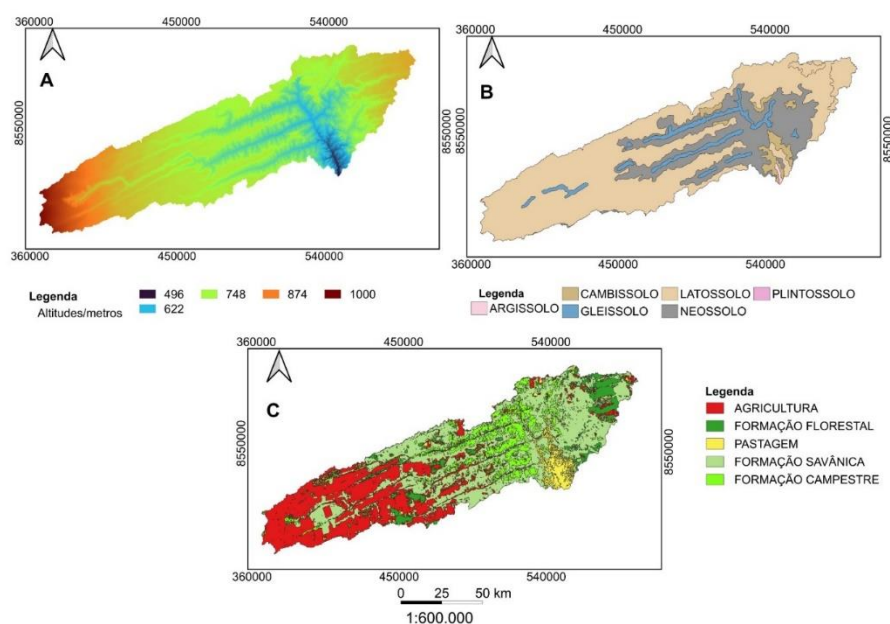
A bacia hidrográfica do Rio do Meio é uma sub-bacia do rio Corrente, a qual representa cerca de 5,4% da área total da bacia do rio São Francisco. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é tropical subúmido com chuvas de verão (AW), caracterizado por estação seca no inverno, temperaturas entre 17 °C e 35 °C e precipitação média anual de 1.100 mm (da Silva et al., 2023). Os principais solos identificados na bacia são Argissolo, Cambissolo, Gleissolo, Neossolo, Plintossolo e, predominantemente, Latossolo (Ferraz et al., 2022). De acordo com o MAPBIOMAS (2023), as classes de uso e cobertura do solo incluem formações florestais, savânicas e campestres, além de áreas de pastagem, agricultura e zonas urbanas.

2.2 Obtenção dos dados de entrada do modelo

A aplicação do modelo SWAT exigiu a coleta de diversos dados ambientais essenciais. Os dados climáticos de precipitação e temperatura (2004–2021) foram obtidos via Climate Engine, com base no satélite CHIRPS (resolução de 5 km). A topografia foi representada pelo Modelo Digital de Elevação COP-30 (30 m), fornecido pela Agência Espacial Europeia (ESA), que apresenta qualidade superior a produtos como SRTM, ASTER e ALOS (ESA, 2022; Cremon et al., 2022).

As informações sobre uso e cobertura do solo, referentes ao ano de 2018, foram obtidas da coleção 7 do MAPBIOMAS (2019), incluindo formações naturais, áreas agrícolas, pastagens e zonas urbanas. As classes de uso foram ajustadas conforme Pimentel et al. (2019). Os tipos de solo foram extraídos da base da Embrapa Solos (escala 1:5.000.000), com parâmetros definidos com base em estudos prévios na região (Ferraz et al., 2021; da Silva et al., 2023). Por fim, os dados de vazão (2004–2021), provenientes da estação Mocambo (código 45740001), foram obtidos da plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA). Esses dados foram fundamentais para a calibração e validação do modelo, assegurando a representatividade hidrológica das simulações.

Figura 2 – Mapas utilizados como dados de entrada para simulação hidrológica com o modelo SWAT.



2.3 O modelo SWAT

O modelo SWAT baseia-se no balanço hídrico para representar os processos hidrológicos em uma bacia, utilizando a equação de continuidade como fundamento principal. Esse balanço considera entradas e saídas de água no solo, como precipitação, escoamento superficial, evapotranspiração, percolação e fluxo de base.

O escoamento superficial foi estimado por meio do método do número da curva (SCS-CN), conforme o Serviço de Conservação do Solo dos EUA (USDA-SCS, 1972). Para a estimativa da evapotranspiração, o SWAT disponibiliza os métodos Penman-Monteith (Monteith, 1965), Priestley-Taylor (Priestley e Taylor, 1972) e Hargreaves-Samani (Hargreaves e Samani, 1985). Neste estudo, optou-se pelo método de Hargreaves-Samani devido à ausência de dados climáticos consistentes sobre umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento durante os períodos de calibração e validação.

2.4 Análise de sensibilidade, calibração, validação e desempenho do SWAT

Após a inserção dos dados no modelo SWAT, foram delineadas 27 sub-bacias e 303 Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs), definidas com base na combinação de uso do solo, tipo de solo e declividade. O balanço hídrico foi inicialmente calculado em nível de HRU, depois agregado por sub-bacia e, por fim, para toda a bacia.

Antes das simulações, definiu-se um período de aquecimento de 10 anos (2004–2013) para estabilização das hidrógrafas, conforme adotado em estudos anteriores na região (Ferraz et al., 2021; da Silva et al., 2023). A calibração (2014–2017) e a validação (2018–2021) do modelo foram

realizadas com auxílio do software SWAT-CUP, utilizando o algoritmo SUFI-2. A análise de sensibilidade global foi baseada nos indicadores estatísticos t-Stat e p-Value, sendo que valores absolutos mais altos de t-Stat e valores de p-Value próximos de zero indicam parâmetros mais sensíveis e significativos (Abbaspour et al., 2018).

A definição dos períodos de calibração e validação considerou a estacionariedade da série de vazão, evitando possíveis distorções por tendências hidrológicas previamente identificadas na região (Ferraz et al., 2021). Por fim, a performance do modelo foi avaliada com base nos coeficientes NSE, PBIAS, R^2 e KGE, conforme os critérios de desempenho propostos por Moriasi et al. (2015).

Tabela 1. Critérios para avaliação do desempenho do modelo hidrológico e faixa de valores de variação

Coeficiente	Critérios de avaliação de desempenho				Faixa
	Muito bom	Bom	Satisfatório	Insatisfatório	
R^2	$R^2 > 0.85$	$0.75 < R^2 \leq 0.85$	$0.60 < R^2 \leq 0.75$	$R^2 \leq 0.60$	-1 a 1
NSE	$NSE > 0.80$	$0.70 < NSE \leq 0.80$	$0.50 < NSE \leq 0.70$	$NSE \leq 0.50$	$-\infty$ a 1.0
PBIAS (%)	$PBIAS \leq -5$	$-5 \leq PBIAS \leq -10$	$-10 \leq PBIAS \leq -15$	$PBIAS \geq 15$	$-\infty$ a ∞
KGE	$KGE > 0.75$	$0.75 < KGE \leq 0.50$	$0.50 < KGE \leq 0.0$	$KGE \leq 0.0$	$-\infty$ a 1.0

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de sensibilidade, calibração e validação

A análise de sensibilidade teve como objetivo identificar os parâmetros com maior influência sobre a função objetivo, permitindo compreender os processos hidrológicos dominantes na bacia. Dos 14 parâmetros testados, a maioria está relacionada ao fluxo de base, como ALPHA_BF, GW_DELAY, GWQMN, GW_REVAP, REVAPMN, DEEPST e SHALLST, fundamentais na interação entre água subterrânea e escoamento superficial. Parâmetros associados às características do solo, como SOL_K, SOL_AWC e SOL_Z, também se destacaram por impactarem diretamente a infiltração e a recarga.

Quadro 1 –Parâmetro, significado físico e correlação

Parâmetro	Significado Físico	Correlação
v__SLSOIL.hru	Comprimento da inclinação do solo na HRU	Maior comprimento pode aumentar o tempo de residência
r__SOL_K.sol	Condutividade hidráulica saturada do solo	Alta condutividade está associada a maior infiltração
v__GW_REVAP.gw	Constante de revaporação de água subterrânea	Maior constante implica maior evaporação
v__GWQMN.gw	Profundidade limiar de água no aquífero "rápido"	Menor profundidade pode aumentar a recarga
v__REVAPMN.gw	Profundidade limiar de água no aquífero "Revap"	Menor profundidade pode aumentar a evaporação
r__SOL_AWC.sol	Capacidade de água disponível no solo	Maior capacidade resulta em maior retenção
r__SOL_Z.sol	Profundidade até a camada restritiva das raízes	Menor profundidade pode limitar o desenvolvimento
v__DEEPST.gw	Profundidade até o lençol freático profundo	Menor profundidade pode aumentar a recarga
v__SHALLST.gw	Armazenamento do aquífero raso	Maior armazenamento aumenta a disponibilidade
r*___CN2.mgt	Curva número II (CN2) associada à infiltração	Valores baixos indicam maior infiltração
v*___ALPHA_BF.gw	Fator alfa do escoamento de base	Valores baixos indicam menor contribuição
v__GW_DELAY.gw	Constante de tempo de atraso da água subterrânea	Maior valor implica em atraso maior no escoamento
v__RCHRG_DP.gw	Fração de recarga do aquífero profundo	Maior fração indica mais recarga

Entre os métodos utilizados para ajuste, aplicaram-se o método relativo (ajuste percentual) e o de substituição (ajuste dentro de intervalos definidos). O parâmetro mais sensível foi o SLSOIL,

seguido por SOL_K, GW_REVAP, GWQMN e SOL_AWC. Em contrapartida, SHALLST foi o menos sensível.

Tabela 2. Parâmetros utilizados para calibração, ordem de sensibilidade, faixa de valor inicial e melhores valores obtidos pelo SUFI-2

Parâmetro	Ordem de sensibilidade	Mínimo	Máximo	Melhor valor
r*_CN2.mgt	11	-0.5	-0.1	-0.532645
v*_ALPHA_BF.gw	8	0	0.01	0.000282
v_GW_DELAY.gw	12	200	500	282.543427
v_GWQMN.gw	4	2000	4000	3433.203857
v_GW_REVAP.gw	3	0.02	0.1	0.075363
v_REVAPMN.gw	13	0	500	237.225922
r_SOL_K.sol	2	-0.5	0.5	-0.499066
r_SOL_AWC.sol	5	-0.5	0.5	0.34485
v_SLSOIL.hru	1	0	100	146.878769
r_SOL_Z.sol	9	-0.5	0.5	-0.576708
v_DEEPT.gw	7	0	50000	30968.71094
v_SHALLST.gw	14	0	50000	8825
v_ESCO.hru	10	0	1	0.179581
v_RCHRG_DP.gw	6	0	0.3	0.159645

*r - método relativo, v - método de substituição

Esses resultados estão em consonância com os achados de Sousa et al. (2023) e Siqueira et al. (2021), que apontam a relevância de parâmetros ligados à recarga do aquífero, evapotranspiração e escoamentos superficial e lateral. Em estudo próximo à área investigada, Ferraz et al. (2020) identificou o parâmetro CN2 como altamente sensível, reforçando a influência do uso e cobertura da terra sobre o escoamento superficial.

O processo de calibração foi conduzido de forma semi-automática com o algoritmo SUFI-2 no SWAT-CUP, utilizando o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) como função objetivo. Após oito iterações com 500 simulações cada, obteve-se a melhor combinação de parâmetros calibrados. A validação foi feita com dados independentes, possibilitando avaliar a capacidade do modelo em reproduzir os padrões hidrológicos observados, conforme os critérios estatísticos de desempenho (NSE, R², PBIAS e KGE).

Tabela 3. Estatísticas de desempenho do modelo SWAT, em escala diária, nas etapas de calibração e validação

Processo	Vazão obs (m ³ /s)	Vazão sim (m ³ /s)	Estatística diária					
			R ²	NSE	PBIAS	KGE	p-factor	r-factor
Calibração	24,94	24,76	0,70	0,70	0,70	0,76	0,87	0,80
Validação	26,78	25,99	0,68	0,62	2,90	0,55	0,67	0,42

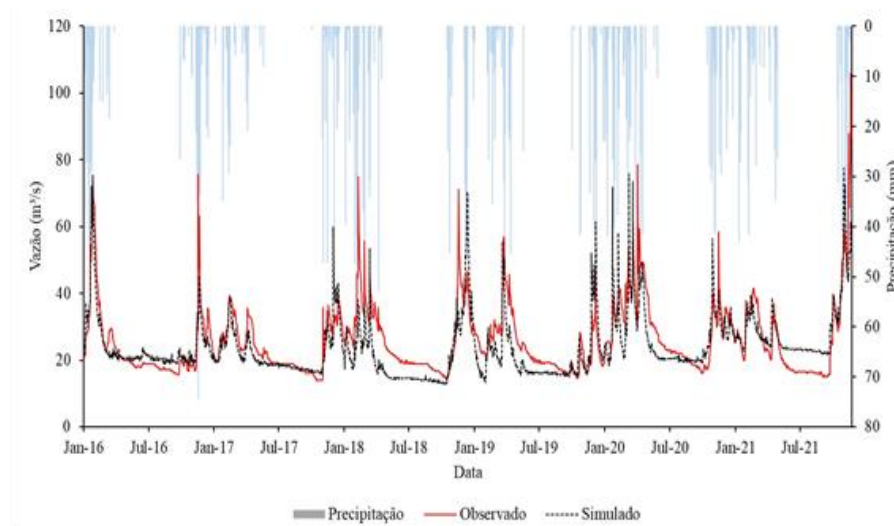
O modelo SWAT apresentou bom desempenho na calibração e desempenho satisfatório na validação, conforme critérios de Moriasi et al. (2015), com R² de 0,70 e 0,68; NSE de 0,70 e 0,62; e KGE de 0,76 e 0,55, respectivamente. O PBIAS indicou desempenho muito bom em ambos os períodos, com leve subestimação da vazão média na validação. Os índices de incerteza p-fator (0,87) e r-fator (0,80) reforçaram a consistência do modelo, conforme Souza (2023). A aplicação do intervalo 95PPU contribuiu para lidar com as incertezas da simulação, fornecendo resultados mais realistas e confiáveis.

3.2. Análise dos hidrogramas e curvas de permanência

A representação gráfica dos resultados, como os hidrogramas, permite avaliar a capacidade do modelo em simular a variabilidade da vazão ao longo do tempo, evidenciando padrões e discrepâncias entre os dados observados e simulados. Em períodos de baixa vazão, o modelo SWAT apresentou tendência à subestimação, comportamento semelhante ao observado por Ferraz et al. (2021) na bacia do rio Correntina, próxima à do Rio do Meio (Sousa, 2023). Essa limitação é parcialmente explicada pela crescente demanda por irrigação decorrente da intensificação agrícola na região, que acarreta maior captação de água superficial e subterrânea, reduzindo as vazões mínimas e dificultando sua simulação (Oliveira et al., 2022). Tal cenário é agravado pelo fato de a bacia estar inserida no Sistema Aquífero Urucuia, considerado estratégico para o oeste baiano (Gonçalves e Chang, 2017; Eger et al., 2021).

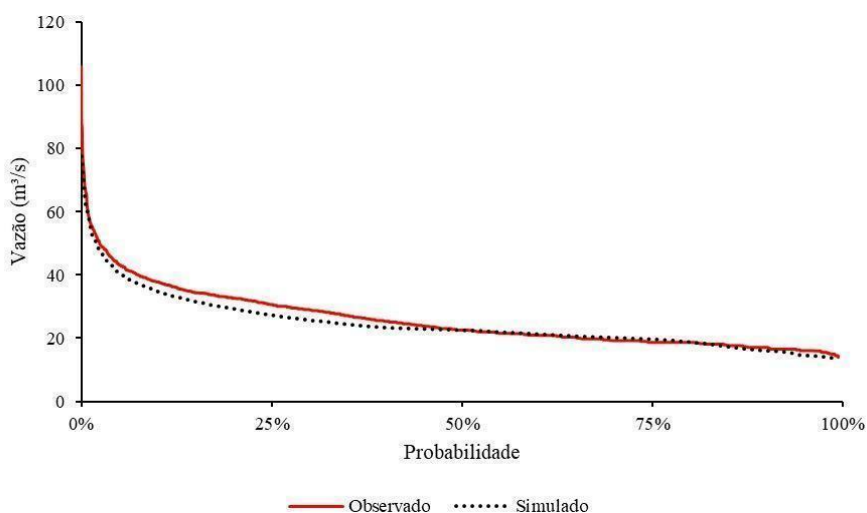
As dificuldades na simulação das águas subterrâneas são atribuídas à limitação do SWAT em representar adequadamente esses processos, o que requer maior expertise do modelador para ajustes mais precisos (Aragão et al., 2013; Ferraz et al., 2021). Além disso, a utilização do método de Hargreaves-Samani para estimativa da evapotranspiração potencial — recomendado em regiões semiáridas com dados climáticos escassos — pode introduzir imprecisões, por depender apenas da temperatura do ar e da radiação solar, sem considerar fatores como umidade relativa e vento, relevantes em contextos climáticos mais complexos.

Figura 1-Hidrograma dos fluxos simulados e observados e hietograma para os períodos de calibração (2014-2017) e validação (2018-2021)



Uma importante análise a ser realizada após a etapa de calibração e validação é a avaliação da capacidade dos modelos hidrológicos de gerar dados confiáveis para a construção da curva de permanência (Figura 4), conforme destacado por Blainksi et al. (2017). Essas informações são fundamentais para a gestão eficiente dos recursos hídricos, pois fornecem esclarecimentos pertinentes sobre a variabilidade da vazão do rio ao longo do tempo, permitindo tomar decisões sobre o uso da água e desenvolver estratégias de gestão adaptativas e resilientes diante das mudanças ambientais e climáticas (Rodrigues et al., 2022).

Figura 2 - Curva de permanência no período 2013 a 2022 com dados diários de vazão observados e estimados pelo modelo SWAT-CUP



Ao analisar as vazões máximas, é possível identificar os eventos de cheia mais significativos; as vazões médias refletem a disponibilidade média de água na área estudada; e, por fim, as vazões mínimas indicam a capacidade de suporte do rio em períodos de estiagem. Quanto aos valores máximos de fluxo, o modelo representou adequadamente os cenários de maiores vazões e também as mínimas. Houve um ajuste aceitável das taxas de fluxo médio entre 20% e 50% de permanência, embora com tendência à subestimativa. Pereira et al. (2014) afirmaram que erros de até 30% nos fluxos simulados são considerados satisfatórios para fins de concessão de outorgas de água em áreas irrigadas no Brasil. Assim, o modelo SWAT mostrou-se adequado para simular fluxos em escala mensal na bacia do Rio do Meio, possibilitando a realização de estudos futuros sobre os impactos de diferentes cenários de alterações físicas no regime de vazões da área em estudo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem hidrológica em escala diária da bacia do Rio do Meio, realizada através do software SWAT-CUP e utilizando o algoritmo SUFI2, proporcionou uma compreensão abrangente do comportamento e desempenho do modelo. Os resultados da análise de sensibilidade, calibração e validação indicam que o modelo SWAT é adequado para simular fluxos em escala diária na bacia do Rio do Meio, possibilitando estudos futuros sobre os impactos de diferentes cenários de alterações físicas no regime de vazões da área em estudo.

Em resumo, os resultados obtidos revelam uma calibração satisfatória e na validação foram ligeiramente inferiores, mas ainda demonstraram um desempenho satisfatório do modelo SWAT para a bacia hidrográfica do rio do Meio. Sendo que os resultados indicam uma boa capacidade do modelo em simular o regime de vazões da região, apesar das limitações do modelo em representar o comportamento das águas subterrâneas.

Por fim, os resultados obtidos fornecem informações para a gestão sustentável dos recursos hídricos na região. Isso permite a avaliação de futuros cenários e a base para decisões à longo prazo. Este estudo aumenta significativamente o conhecimento sobre a dinâmica hidrológica na área em estudo e enfatiza a importância da modelagem hidrológica para uma gestão eficaz da água, especialmente em ambientes que estão cada vez mais sujeitos às ações humanas, aos conflitos de uso dos recursos hídricos e às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, K. C. et al. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, v. 333, n. 2–4, p. 413–430, fev. 2007.
- ABBASPOUR, K.; VAGHEFI, S.; SRINIVASAN, R. A Guideline for Successful Calibration and Uncertainty Analysis for Soil and Water Assessment: A Review of Papers from the 2016 International SWAT Conference. *Water*, v. 10, n. 1, p. 6, 22 dez. 2017.

- Agência Nacional de Águas (ANA). Séries Históricas de Estações, 7 maio 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 6 maio 2023.
- ALMEIDA, H. A. D.; GALVANI, E. Índices de aridez nos núcleos de desertificação da Paraíba. *Conjecturas*, v. 22, n. 14, p. 837–850, 19 out. 2022.
- ALMEIDA, R. A.; PEREIRA, S. B.; PINTO, D. B. F. CALIBRATION AND VALIDATION OF THE SWAT HYDROLOGICAL MODEL FOR THE MUCURI RIVER BASIN. *Engenharia Agrícola*, v. 38, n. 1, p. 55–63, jan. 2018.
- ALLOUI, S. et al. A review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) studies of Mediterranean catchments: Applications, feasibility, and future directions. *Journal of Environmental Management*, v. 326, p. 116799, jan. 2023.
- ALVES, A. M. DE M. R.; MARTINS, F. B.; REBOITA, M. S. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA ITAJUBÁ-MG: CENÁRIO ATUAL E PROJEÇÕES CLIMÁTICAS. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 26, 4 mar. 2021.
- BLAINSKI, É.; ACOSTA, E.; PRADO NOGUEIRA, P. C. DO. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 12, n. 2, p. 226, 22 fev. 2017.
- BRIGHENTI, T.; BONUMA, N.; CHAFFE, P. Calibração hierárquica do modelo swat em uma bacia hidrográfica Catarinense. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 1, p. 53–64, 25 fev. 2016.
- CHEN, M. et al. Effect of Watershed Delineation and Climate Datasets Density on Runoff Predictions for the Upper Mississippi River Basin Using SWAT within HAWQS. *Water*, v. 13, n. 4, p. 422, 5 fev. 2021.
- COSTA, J. C. et al. VALIDAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS PELO CHIRPS PARA O BRASIL. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 24, 11 jun. 2019.
- DANIELESCU, S. et al. Climate Change Impacts on Hydrological Processes in a South-Eastern European Catchment. *Water*, v. 14, n. 15, p. 2325, 27 jul. 2022.
- EGER, G. Z. S. et al. Recharge assessment in the context of expanding agricultural activity: Urucuia Aquifer System, western State of Bahia, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 112, p. 103601, dez. 2021.
- ESCAMILLA-RIVERA, V. et al. Effects of Finer Scale Soil Survey and Land-Use Classification on SWAT Hydrological Modelling Accuracy in Data-Poor Study Areas. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 14, n. 02, p. 100–125, 2022.
- FERNANDO NORONHA MARCUZZO, F.; PIRES GOULARTE, E. R. Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 1, p. 091–099, 2013.
- FERRAZ, L. L. et al. Influence of different methods of potential evapotranspiration estimation in the catolé grande river flow using the swat model. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 13893–13906, 2020a.
- FERRAZ, L. L. et al. Calibration and validation of the SWAT model for hydrological simulation in a basin in Western Bahia. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 1, p. 276–285, 15 set. 2020b.
- FERRAZ, L. L. et al. Land use changes and hydrological trend analysis in a Brazilian Cerrado basin. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 19, n. 8, p. 7469–7482, ago. 2022.
- GEBREMICHAEL, H. B. et al. Projection of hydrological responses to changing future climate of Upper Awash Basin using QSWAT model. *Environmental Systems Research*, v. 12, n. 1, p. 25, 6 jul. 2023.
- GONÇALVES, R. D.; CHANG, H. K. MODELO HIDROGEOLÓGICO DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA NA BACIA DO RIO GRANDE (BA). *Geosciences = Geociências*, v. 36, n. 2, p. 205–220, 18 out. 2017.
- IQBAL, M. et al. Impacts of Climate and Land-Use Changes on Hydrological Processes of the Source Region of Yellow River, China. *Sustainability*, v. 14, n. 22, p. 14908, 11 nov. 2022.
- J. G. ARNOLD et al. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE*, v. 55, n. 4, p. 1491–1508, 2012.

- JOHNSTON, R.; SMAKHTIN, V. Hydrological Modeling of Large river Basins: How Much is Enough? *Water Resources Management*, v. 28, n. 10, p. 2695–2730, ago. 2014.
- KUMAR, M. et al. Understanding land use/land cover and climate change impacts on hydrological components of Usri watershed, India. *Applied Water Science*, v. 12, n. 3, p. 39, mar. 2022.
- MALEDE, D. A.; ALAMIREW, T.; ANDUALEM, T. G. Integrated and Individual Impacts of Land Use Land Cover and Climate Changes on Hydrological Flows over Birr River Watershed, Abbay Basin, Ethiopia. *Water*, v. 15, n. 1, p. 166, 31 dez. 2022.
- MALIK, M. A.; DAR, A. Q.; JAIN, M. K. Modelling streamflow using the SWAT model and multi-site calibration utilizing SUFI-2 of SWAT-CUP model for high altitude catchments, NW Himalaya's. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 8, n. 1, p. 1203–1213, mar. 2022.
- MANGO, L. M. et al. Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: results of a modeling study to support better resource management. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 15, n. 7, p. 2245–2258, 18 jul. 2011.
- MARMONTEL, C. V. F. et al. APLICABILIDADE DO MODELO HIDROLÓGICO SWAT NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAIBUNA, SP - BRASIL. *IRRIGA*, v. 24, n. 3, p. 594–609, 27 set. 2019.
- NKWASA, A. et al. Improved representation of agricultural land use and crop management for large-scale hydrological impact simulation in Africa using SWAT+. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 26, n. 1, p. 71–89, 6 jan. 2022.
- POOJASHREE, B. P.; PELADDY, B.; SURESHA, K. J. Validation and calibration of SWAT model for Kollur River Basin, Kundapura Taluk, Udupi District, Karnataka, India. *Acta Geophysica*, v. 71, n. 2, p. 837–853, 13 set. 2022.
- POORHEYDARI, S. et al. Efficiency of SWAT model for determining hydrological responses of marl formation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 17, n. 8, p. 3741–3750, ago. 2020.
- RUTTOH, R. C. et al. Assessment of Land Cover and Land Use Change Dynamics in Kibwezi Watershed, Kenya. *The Scientific World Journal*, v. 2022, p. 1–13, 12 dez. 2022.
- SADDIQUE, N.; MAHMOOD, T.; BERNHOFER, C. Quantifying the impacts of land use/land cover change on the water balance in the afforested River Basin, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, v. 79, n. 19, p. 448, out. 2020.
- SADHWANI, K. et al. Effects of Dynamic Land Use/Land Cover Change on Flow and Sediment Yield in a Monsoon-Dominated Tropical Watershed. *Water*, v. 14, n. 22, p. 3666, 14 nov. 2022.
- SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 943–952, out. 2017.
- SAO, D. et al. Evaluation of Different Objective Functions Used in the SUFI-2 Calibration Process of SWAT-CUP on Water Balance Analysis: A Case Study of the Pursat River Basin, Cambodia. *Water*, v. 12, n. 10, p. 2901, 17 out. 2020.
- SENENT-APARICIO, J.; GEORGE, C.; SRINIVASAN, R. Introducing a new post-processing tool for the SWAT+ model to evaluate environmental flows. *Environmental Modelling & Software*, v. 136, p. 104944, fev. 2021.
- SOUZA DA SILVA, L. et al. Assessment of changes in land use and occupation on the hydrological regime of a basin in the west of Bahia. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 123, p. 104218, mar. 2023.
- WEI, P. et al. Using the InVEST Model to Assess the Impacts of Climate and Land Use Changes on Water Yield in the Upstream Regions of the Shule River Basin. *Water*, v. 13, n. 9, p. 1250, 29 abr. 2021.
- YIN, J. et al. Effects of land use/land cover and climate changes on surface runoff in a semi-humid and semi-arid transition zone in northwest China. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 21, n. 1, p. 183–196, 10 jan. 2017.
- ZHAO, P. et al. Impacts of climate change on hydrological droughts at basin scale: A case study of the Weihe River Basin, China. *Quaternary International*, v. 513, p. 37–46, abr. 2019.