

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DA MODELAGEM HIDROLÓGICA E DAS CARGAS DE NUTRIENTES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO RODEADOR/DF: CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO

Bárbara Moreto Fim¹ ; Ricardo Tezini Minoti² & Paulino Bambi³

Abstract: Mathematical models have been performing a fundamental role in water resources management. Amongst them, the most well-known is the model Soil and Water Assessment Tool (SWAT). The present work aims to evaluate the calibration and verification of the simulations performed with SWAT for the Ribeirão Rodeador Hydrographic Basin, an important sub-basin of the Descoberto Reservoir, in the Federal District, Brazil. The study used climate, soil, land use and cover and agricultural practices data to model the hydrological behavior and the water quality of the Ribeirão Rodeador basin. The initial simulation indicated unsatisfactory performance, with an overestimation of both water flow and nutrient loads. After the calibration, the results for water flow improved significantly ($NSE = 0,64$; $R^2 = 0,81$), although there was still a tendency to overestimate. For nitrogen and phosphorus, the calibration also generated some modest improvements, but the values for NSE and R^2 remained low, showing limitations in the representation of nutrient loads peaks. The research reinforces the importance of hydrological modeling in supporting water management, and indicate the need to improve the calibration to enhance the performance of the SWAT model in Brazilian basins.

Resumo: Os modelos matemáticos vêm desempenhando papel fundamental na gestão dos recursos hídricos. Dentre eles, o mais difundido para simulações hidrológicas é o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). O presente estudo propõe avaliar a calibração e verificação das simulações feitas com o SWAT para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Rodeador, importante sub-bacia do Reservatório Descoberto, no Distrito Federal. O estudo utilizou dados climáticos, de solo, uso da terra e práticas agrícolas para modelar o comportamento hidrológico e a qualidade da água na bacia do Ribeirão Rodeador. A simulação inicial indicou desempenho insatisfatório, com superestimação da vazão e das cargas de nutrientes. Após a calibração, os resultados para a vazão melhoraram significativamente ($NSE = 0,64$; $R^2 = 0,81$), embora ainda houvesse tendência de superestimação. Para o nitrogênio e o fósforo, a calibração também gerou melhorias modestas, mas os valores de NSE e R^2 permaneceram baixos, evidenciando limitações na representação de picos de carga. A pesquisa reforça a importância da modelagem como apoio à gestão hídrica, e evidencia a necessidade de aprimorar a calibração para melhorar a performance do SWAT em bacias brasileiras.

Palavras-Chave – Qualidade da Água; Cargas de Nutrientes; Modelagem Hidrológica.

1) Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo – IEMA, Rodovia BR 262, km 0, Pátio Velho, Jardim América, Cariacica - Espírito Santo - 29140-130 - Brasil. Tel: +55 (27) 99816-9182. E-mail: barbara.fim@iema.es.gov.br.

2) Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH, Anexo SG 12, Térreo, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, Brasília - Distrito Federal - 70910-900 - Brasil. Tel.: +55 (61) 3107-0940. E-mail: rtminoti@unb.br.

3) Rede de Pesquisa AquaRiparia, Instituto de Ciências Biológicas/Departamento de Ecologia/Laboratório de Limnologia, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, Brasília - Distrito Federal - 70910-900 - Brasil. Tel.: +55 (65) 99224-7345. E-mail: pabambi@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

Os modelos matemáticos desempenham um papel fundamental nas simulações hidrológicas ao representarem, de forma simplificada, os processos físicos que ocorrem no ciclo hidrológico. Esses modelos permitem analisar e prever o comportamento da água em uma bacia hidrográfica, considerando variáveis como precipitação, evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial e subterrâneo (Moriasi *et al.* 2007).

O modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) é um dos mais utilizados mundialmente para a modelagem hidrológica em bacias hidrográficas. É um modelo físico-conceitual contínuo no tempo, capaz de simular os impactos do uso e manejo do solo sobre a qualidade e quantidade da água. Ele integra informações sobre clima, solo, topografia, vegetação e práticas de manejo agrícola para prever o escoamento, a erosão, o transporte de sedimentos e nutrientes. Sua estrutura modular e capacidade de operar em grandes escalas espaciais e temporais o tornam uma ferramenta robusta para o planejamento ambiental, a gestão de recursos hídricos e a avaliação de cenários de mudanças no uso do solo e no clima (Arnold *et al.*, 2012; Neitsch *et al.*, 2011).

A calibração e a verificação são etapas essenciais no processo de simulação com o modelo SWAT, pois garantem a confiabilidade e a precisão dos resultados gerados. A calibração consiste no ajuste dos parâmetros do modelo para que as simulações reproduzam adequadamente os dados observados, como vazões, sedimentos ou concentrações de nutrientes. Já a verificação, ou validação, é o processo de aplicação do modelo calibrado em um período diferente do usado na calibração, com o objetivo de avaliar sua capacidade preditiva sem novos ajustes (Moriasi *et al.*, 2007).

O Distrito Federal, situado no Planalto Central, abriga nascentes de três grandes bacias hidrográficas (Paraná, São Francisco e Tocantins/Araguaia). Apesar da disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas, o crescimento urbano levou à exploração intensa dos recursos. A crise hídrica recente afetou especialmente o Reservatório Descoberto, principal fonte de abastecimento do DF, responsável por cerca de 60% da água tratada, valor reduzido após o uso do Lago Paranoá e racionamentos entre 2017 e 2018 (CAESB, 2018).

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Rodeador (BHRR), com 113,46 km², representa 25% da Bacia do Lago Descoberto. Predominantemente agrícola, está sujeita à poluição difusa, retirada de água superficial e subterrânea e urbanização esparsa. O exutório da bacia conta com acompanhamento diário do nível do ribeirão Rodeador, e monitoramento mensal de determinados parâmetros de qualidade da água, porém há necessidade de estimativas mais precisas sobre as cargas de nutrientes aportadas ao lago (Silva, 2016). Nesse cenário, a modelagem hidrológica de bacias permite simulações de médio e longo prazo, otimizando a gestão e reduzindo custos (Moriasi *et al.*, 2007).

Apesar do potencial, ainda há lacunas na aplicação de modelos hidrológicos no Brasil. As complexas condições de bioma, clima e outros aspectos naturais apresentam desafios na adoção difundida desses modelos. Essas realidades apontam para diversas necessidades em pesquisas e testes na simulação hidrológica e de qualidade da água na utilização de modelos. A ampliação da utilização do SWAT melhorar as simulações executadas em bacias brasileiras, fornecer orientações e dar suporte aos tomadores de decisão inseridos nas políticas públicas (Bressiani *et al.*, 2015).

2. OBJETIVOS

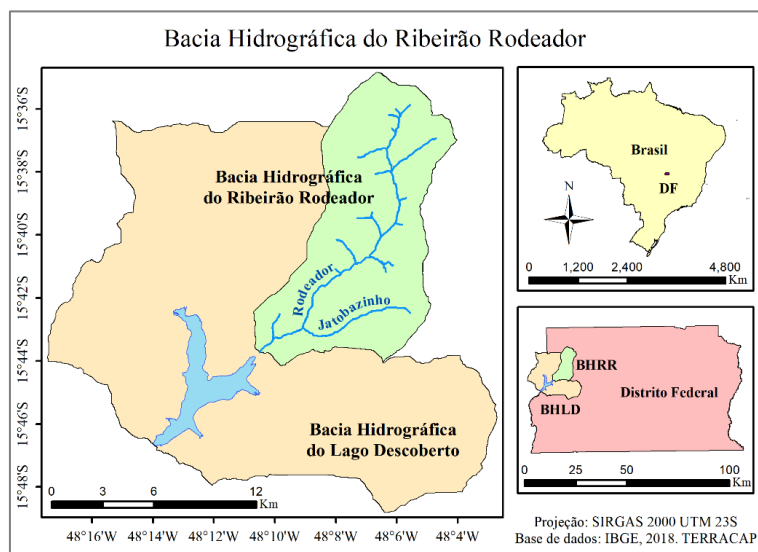
O presente trabalho tem por objetivo avaliar a calibração e verificação das simulações de vazão e de cargas de nutrientes feitas com o *software Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Rodeador/DF.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Reservatório Descoberto (BHRD), inserida na região hidrográfica do Paraná, localiza-se no Planalto Central do Brasil e abrange uma área de 452 km². Deste total, aproximadamente 70% estão no Distrito Federal e os 30% restantes no estado de Goiás (Lima et al., 2014). Entre as sub-bacias que compõem a BHRD, destaca-se a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Rodeador (BHRR), situada na margem nordeste do reservatório e representada na Figura 1. Com área de 113,46 km², a BHRR corresponde a cerca de 25% da área total da BHRD.

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Rodeador (BHRR).



Fonte: Fim (2018).

O clima da BHRR é tropical de savana, caracterizado por estação seca no inverno e chuvas concentradas no verão. As temperaturas médias anuais variam entre 19 °C e 23 °C, e a precipitação média anual é de cerca de 1.400 mm, sendo aproximadamente 80% do total registrado entre dezembro e março (Lima et al., 2014). O relevo da região é predominantemente plano a suavemente ondulado, com 76% da área apresentando declividades inferiores a 8% (Reatto et al., 2003).

A ocupação da bacia é majoritariamente rural, composta por pequenas propriedades voltadas à agricultura e à pecuária, com urbanização esparsa. Áreas preservadas representam cerca de 30% da bacia, enquanto horticultura e silvicultura somam mais de 35%. Apenas 3,5% da área apresenta núcleos urbanos, a maioria de baixa densidade populacional (Silva, 2016).

3.2. Modelagem Hidrológica e da Qualidade da Água

A modelagem hidrológica e da qualidade da água foi realizada com o software Soil and Water Assessment Tool (SWAT), que é um modelo matemático capaz de realizar simulações de um variado conjunto de processos que acontecem em uma bacia hidrográfica. Foi desenvolvido com o objetivo de diagnosticar e prever os impactos de mudanças no uso do solo de uma bacia sobre o escoamento superficial e subterrâneo, além de simular as condições de qualidade da água e da dinâmica de sedimentos em bacias hidrográficas complexas (Arnold *et al.*, 2012; Neitsch *et al.*, 2011).

As etapas da modelagem incluem a aquisição e preparação de dados, a entrada desses dados no modelo, a execução, calibração e verificação do modelo. A simulação inicial foi feita em passo mensal

de 2000 a 2011, com os anos de 1997-1999 para aquecimento. Esse mesmo período foi utilizado para a calibração dos parâmetros. Nessas simulações foram observadas as variáveis vazão (m^3/s), nitrogênio total ($\text{kg}/\text{mês}$) e fósforo total ($\text{kg}/\text{mês}$). A verificação foi realizada para dois períodos, de 2012 a 2017 e de 2015 a 2017.

O Modelo Digital de Elevação (DEM) contém as informações necessárias para a definição da bacia e da rede de drenagem, divisão da bacia em sub-bacias, e geração do mapa de declividade. A definição das Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs) na Bacia do Ribeirão Rodeador foi feita pela sobreposição dos mapas de declividade, tipos de solo e uso do solo. Em seguida, foram inseridos dados climáticos obtidos da estação de Brasília e de estações pluviométricas próximas à bacia.

O banco de dados do SWAT foi então ajustado para refletir as características locais, como tipos de solo, uso e cobertura do solo, manejo agrícola e práticas de fertilização. Utilizou-se a base de dados de Ferrigo (2014), previamente adaptada à bacia do Reservatório Descoberto, aplicável também à bacia do Rodeador, por sua localização e semelhança regional. Foram incluídas operações específicas, como irrigação, fertilização na produção de hortaliças e pomares, e a extração superficial de água no curso principal do ribeirão, destinada à irrigação nessas áreas agrícolas (Silva, 2016).

Após a modelagem inicial, foi realizada a calibração e a verificação dos dados gerados pelo modelo. O primeiro passo da calibração e validação no SWAT é identificar os parâmetros mais sensíveis para a bacia, com base em especialistas ou na análise de sensibilidade (Arnold et al., 2012).

A análise de sensibilidade e a calibração automática foram feitas com o SWAT-CUP, utilizando o algoritmo SUFI-2, escolhido por sua ampla aplicação em estudos no Distrito Federal. A seleção dos parâmetros para a calibração da vazão baseou-se em sua influência no escoamento superficial e no fluxo de base (Arnold et al., 2012), além de estudos regionais (Ferrigo, 2014; Nunes, 2016).

Os parâmetros foram inseridos no SWAT-CUP com intervalos padrão recomendados pelo manual, e executadas 900 simulações para a análise de sensibilidade global e calibração da vazão. Alguns parâmetros foram posteriormente ajustados manualmente. O parâmetro ALPHA_BF foi calculado com o programa BFlow (Arnold & Allen, 1999; SWAT, 2018). A calibração para nitrogênio e fósforo seguiu o mesmo processo, usando parâmetros escolhidos com base na literatura e estudos anteriores com foco em nutrientes (Arnold et al., 2012; Nunes, 2016; Silva, 2016). A lista de parâmetros pode ser verificada no trabalho de Fim (2018).

A avaliação do desempenho das simulações de vazão, carga de nitrogênio e carga de fósforo foram realizadas com as variáveis estatísticas sugeridas por Moriasi *et al.* (2007): o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), o desvio padrão das observações (RSR), e o percentual de tendência (PBIAS), e o R^2 , com os intervalos mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios de desempenho do modelo.

Performance	RSR	NSE	PBIAS	
			Vazão	N e P
Muito boa	$0,00 \leq \text{RSR} \leq 0,50$	$0,75 < \text{NSE} \leq 1,00$	$\text{PBIAS} < \pm 10$	$\text{PBIAS} < \pm 25$
Boa	$0,50 < \text{RSR} \leq 0,60$	$0,65 < \text{NSE} \leq 0,75$	$\pm 10 \leq \text{PBIAS} \leq \pm 15$	$\pm 25 \leq \text{PBIAS} \leq \pm 40$
Satisfatória	$0,60 < \text{RSR} \leq 0,70$	$0,50 < \text{NSE} \leq 0,65$	$\pm 15 \leq \text{PBIAS} \leq \pm 25$	$\pm 40 \leq \text{PBIAS} \leq \pm 70$
Insatisfatória	$\text{RSR} > 0,70$	$\text{NSE} \leq 0,50$	$\text{PBIAS} \geq \pm 25$	$\text{PBIAS} \geq \pm 70$

Fonte: Moriasi et al. (2007).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Modelagem Inicial

Avaliou-se os resultados iniciais gerados pela simulação em passo mensal do SWAT de 2000 a 2011, com os anos de 1997- 1999 utilizados para o aquecimento do modelo. A simulação inicial da vazão indica que o modelo superestima os valores máximos da vazão, mas que se adequa melhor ao fluxo de base, prevendo valores mais próximos das vazões mínimas. A simulação da carga de nitrogênio teve ajuste razoável para uma simulação sem calibração. Apesar de não ter sido precisa, indica que a simulação consegue prever momentos de altas e baixas.

A simulação da carga de fósforo também consegue prever momentos de altas e baixas. O fósforo é um parâmetro geralmente associado à geração de sedimentos, e como a BHRR é uma bacia com um carreamento de sólidos considerável (Fim, 2018), é possível que o modelo tenha previsto uma quantidade muito maior de fósforo total do que o observado no monitoramento da bacia. Os gráficos das simulações iniciais podem ser verificados no trabalho de Fim (2018). No presente trabalho será dado maior foco aos resultados da calibração e verificação das simulações.

Como pode ser verificado na Tabela 2, apesar de todas as simulações iniciais serem consideradas insatisfatórias pela maioria dos critérios (Moriasi, 2007), a vazão teve um ajuste satisfatório pelo R^2 . A simulação da carga de nitrogênio teve o melhor desempenho, podendo inclusive ser considerada como muito boa segundo o critério do PBIAS.

Tabela 2 - Resultados da avaliação de desempenho da modelagem inicial de vazão e qualidade da água com o modelo SWAT na bacia hidrográfica do ribeirão Rodeador/DF.

Variável	NSE	RSR	PBIAS	R^2
Vazão	-1,46	1,57	-102,45	0,79
Nitrogênio Total	0,33	0,81	16,93	0,36
Fósforo Total	-10,64	3,41	-279,03	0,39

Fonte: Fim (2018).

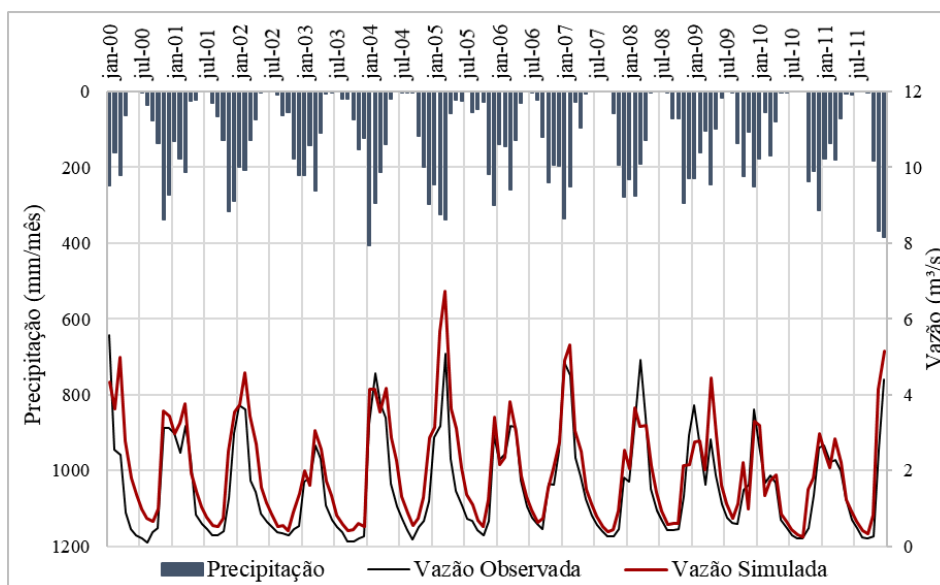
4.2. Calibração

A calibração foi realizada para o mesmo período da modelagem inicial, de 2000 a 2011. Mesmo após a revisão dos parâmetros na análise de sensibilidade, as calibrações das simulações foram executadas com 44 parâmetros, devido ao fato de que alguns são mais adequados à calibração de vazão, outros à de nitrogênio, e outros à de fósforo.

Na calibração de vazão foram utilizados 12 parâmetros em 900 iterações para calibrar os processos de geração de escoamento superficial e do fluxo de base. Os intervalos dos parâmetros calibrados podem ser verificados no trabalho de Fim (2018). Após a calibração dos parâmetros que ajustam a vazão, os valores calibrados foram incluídos na base de dados do SWAT. De maneira geral, a nova simulação teve bom desempenho, com $NSE = 0,64$, $RSR = 0,56$, considerados bons, $R^2 = 0,81$ considerado satisfatório, e apenas $PBIAS = -27,06$ considerado insatisfatório.

A Figura 2 mostra a simulação mensal da vazão após a calibração dos parâmetros. Apesar da calibração dos parâmetros, a simulação da vazão ainda apresenta superestimação nos períodos de recessão, ao contrário da modelagem inicial, que os representava melhor. Isso pode estar relacionado aos parâmetros de recarga do aquífero subterrâneo, que melhoram o ajuste dos picos, mas elevam as vazões mínimas. Esses parâmetros foram limitados, mas não removidos, pois contribuem para melhores valores de NSE.

Figura 2 - Simulação mensal da vazão após a calibração dos parâmetros.

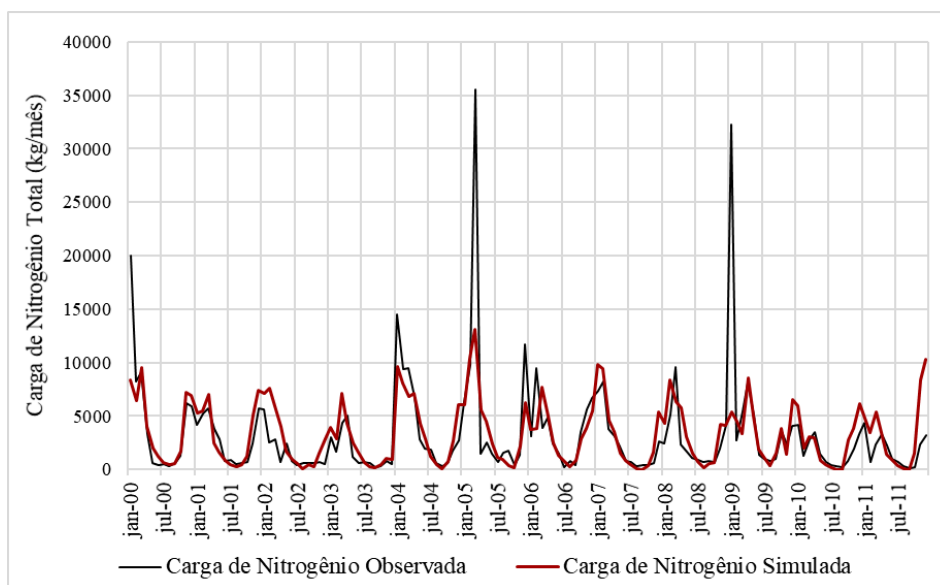


Fonte: Fim (2018).

Resultados semelhantes foram observados em outras bacias do Distrito Federal ou do bioma Cerrado. Ferreira et al. (2017) calibrou a bacia do Riacho Fundo e obteve NSE de 0,61, e Salles (2012) obteve NSE de 0,67 para a bacia do Pipiripau.

Após a calibração da vazão, foi realizada a calibração dos parâmetros de nitrogênio e fósforo. Na calibração de nitrogênio foram utilizados 14 parâmetros em 900 iterações para calibrar os processos de geração da carga mensal de nitrogênio total. Mesmo após a calibração, a simulação da carga de nitrogênio apresentou resultado insatisfatório, com NSE = 0,44, RSR = 0,75 e $R^2 = 0,45$. Somente PBIAS = -1,64 foi classificado como muito bom. A Figura 3 mostra a simulação da carga de nitrogênio após a calibração.

Figura 3 - Simulação mensal da carga de nitrogênio na bacia hidrográfica do ribeirão Rodeador após a calibração dos parâmetros.



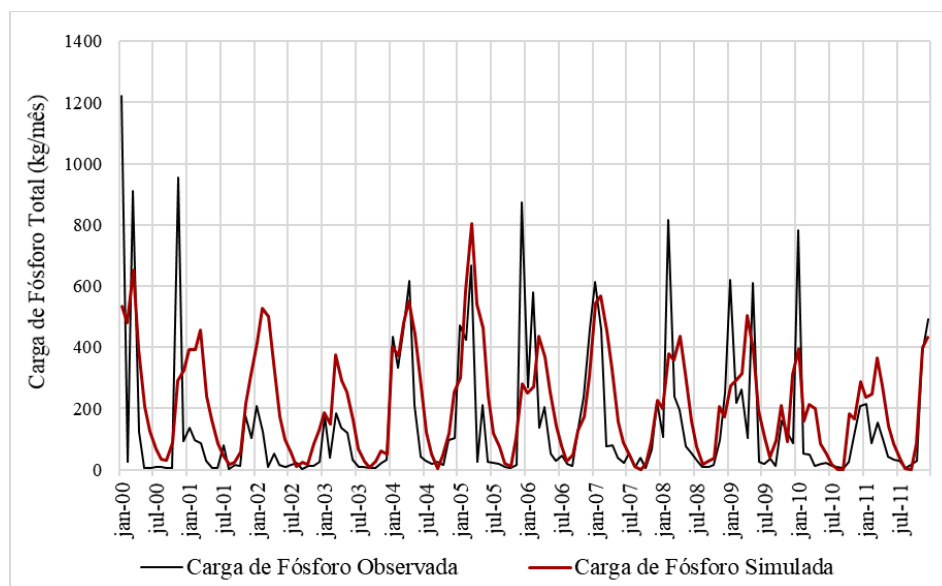
Fonte: Fim (2018).

Na região da BHRR, os estudos com o modelo SWAT concentram-se principalmente na calibração da vazão. Nunes (2016) foi um dos primeiros a calibrar parâmetros de nitrogênio e fósforo para bacias da Bacia do Lago Paranoá (1982–2000), mas obteve resultados insatisfatórios, com NSE negativo para nitrogênio em todas as bacias calibradas.

Apesar dos resultados insatisfatórios no presente estudo, a simulação de nitrogênio acompanha a tendência da carga observada em diversos períodos, como 2000 e 2001. No entanto, os picos de carga observada, decorrentes de concentrações elevadas associadas a grandes vazões, não são bem representados, levando à subestimação nesses momentos.

Considerando a carga de fósforo, a simulação após a calibração também foi classificada como insatisfatória, com $NSE = 0,29$, $RSR = 0,85$ e $R^2 = 0,39$. Somente $PBIAS = -42,61$ foi satisfatório. A simulação da carga de fósforo, na Figura 4, apresenta uma curva pouco correspondente aos valores observados para essa variável. Parece que a simulação inicial, apesar do resultado insatisfatório e da superestimação demasiada, conseguia acompanhar melhor as tendências da ocorrência da carga de fósforo na bacia. Ainda assim, houve uma melhora considerável no valor de NSE e RSR após a calibração.

Figura 4 - Simulação mensal da carga de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão Rodeador/DF após a calibração dos parâmetros



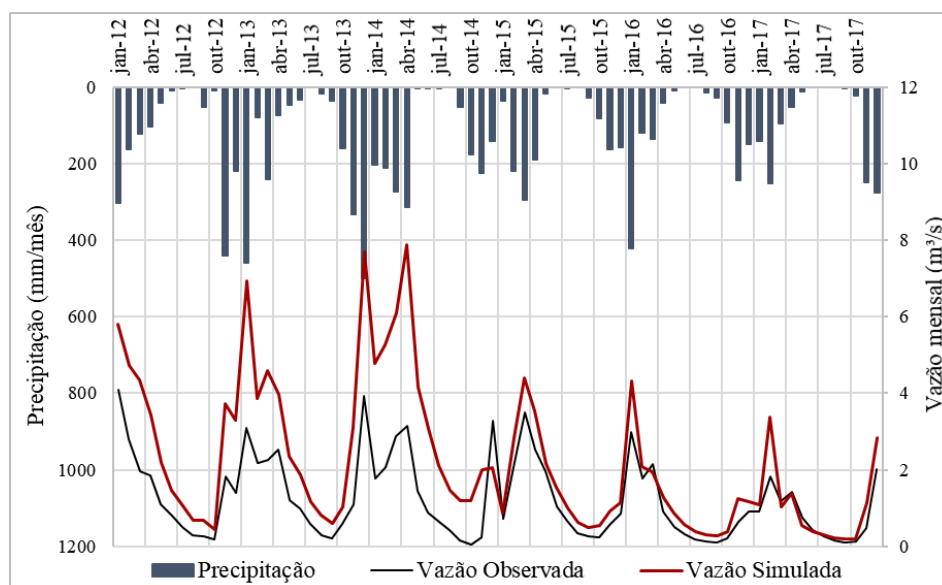
Fonte: Fim (2018).

4.3. Verificação

A verificação é a etapa que se segue à calibração no processo de adequação de um modelo a uma bacia hidrográfica. A proposta do presente trabalho foi verificar o modelo para o período de 2012 a 2017. A verificação da simulação da vazão teve desempenho insatisfatório para a maioria dos critérios, com $NSE = -0,96$, $RSR = 1,40$ e $PBIAS = -79,65$. Somente o $R^2 = 0,77$ foi satisfatório. Esse valor pode estar mais alto pois a curva da vazão simulada acompanha a tendência da vazão observada, mesmo que superestimada.

Essa superestimação é corroborada pelo valor de $PBIAS$, que está negativo e muito distante de zero. Observando a Figura 5, nota-se que as vazões dos anos 2012, 2013 e 2014 estão superestimadas em até o dobro da vazão observada, e mesmo após 2015, ainda há superestimação da vazão.

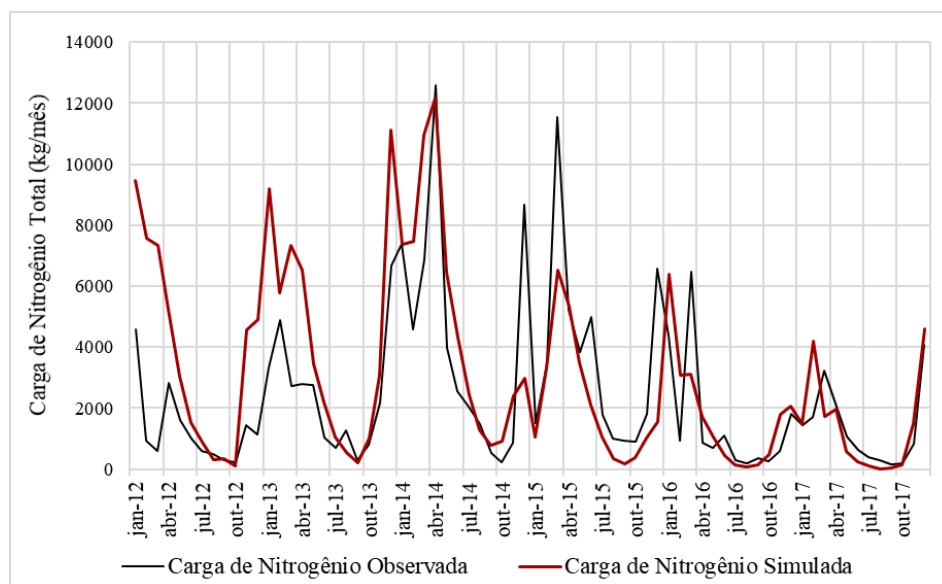
Figura 5 - Simulação mensal da vazão na verificação de 2012 a 2017 para o modelo SWAT aplicado à bacia hidrográfica do ribeirão Rodeador/DF.



Fonte: Fim (2018).

A verificação da simulação da carga de nitrogênio realizada para o período de 2012 a 2017 pode ser classificada como insatisfatória pela maioria dos critérios, com $NSE = 0,17$, $RSR = 0,91$ e $R^2 = 0,47$. Somente $PBIAS = -25,81$ foi considerado bom.

Figura 6 - Simulação mensal da carga de nitrogênio na verificação de 2012 a 2017 para o modelo SWAT aplicado à bacia hidrográfica do ribeirão Rodeador/DF



Fonte: Fim (2018).

Analisando a Figura 6, é possível perceber que as mínimas estão melhor representadas pela simulação, mas que a curva não consegue acompanhar o padrão imposto pelos dados observados, causando superestimação da carga de nitrogênio, principalmente entre 2012 e 2014. Justamente entre 2010 e 2013 houve algumas falhas na série de concentração de nitrogênio total.

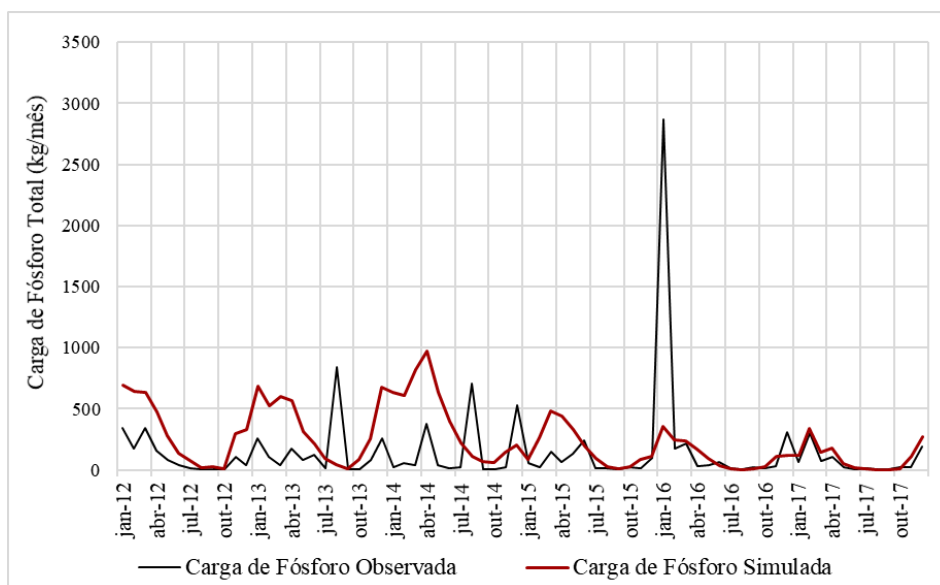
Mesmo com desempenho insatisfatório, a verificação do nitrogênio para o período de 2012 a 2017 apresentou resultados melhores do que a verificação da vazão e da carga de fósforo para o

mesmo período. A classificação como boa segundo o PBIAS indica que, apesar da superestimação evidente em 2012 e 2013, houve um equilíbrio entre superestimações e subestimações da simulação em relação aos valores observados.

A verificação da simulação da carga de fósforo realizada para o período de 2012 a 2017 teve desempenho insatisfatório pelos critérios pela maioria dos critérios, com $NSE = -0,28$, $RSR = 1,13$ e $R^2 = 0,03$. Somente PBIAS = $-64,08$ foi considerado satisfatório.

A Figura 7 mostra a tendência do modelo em superestimar as cargas de fósforo, principalmente nas estações chuvosas de entre os anos de 2012, 2013, 2014 e 2015. Explicou-se anteriormente que os dados observados da vazão não são bem representados pela simulação de 2012 a 2014. Como o fósforo costuma estar associada ao carreamento de sedimentos, é possível que a inadequação da simulação de vazão tenha resultado em desempenho insatisfatório da simulação da carga de fósforo.

Figura 7 - Simulação mensal da carga de fósforo na verificação de 2012 a 2017 para o modelo SWAT aplicado à bacia hidrográfica do ribeirão Rodeador/DF.



Fonte: Fim (2018).

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a calibração e verificação das simulações feitas com o SWAT para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Rodeador, importante sub-bacia do Reservatório Descoberto, no Distrito Federal.

Conclui-se que, após a calibração, os resultados para a vazão melhoraram significativamente, embora ainda houvesse tendência de superestimação. Para o nitrogênio e o fósforo, a calibração também gerou melhorias modestas, mas os valores de NSE e R^2 permaneceram baixos, evidenciando limitações na representação de picos de carga.

A verificação das simulações também demonstra uma tendência do modelo em superestimar a vazão na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Rodeador. Os períodos verificados não tiveram boa adequação aos valores observados de cargas de nitrogênio e fósforo.

REFERÊNCIAS

- Arnold, J. G.; Kiniry, J. R.; Srinivasan, R.; Williams, J. R.; Haney, E. B. Neitsch, S. L. (2012). *Input/Output Documentation: version 2012*. Texas Water Resources Institute, Temple, TX.
- Bressiani, D. A.; Gassman, P. W.; Fernandes, J. G. Garbossa, L. H. P.; Srinivasan, R.; Bonumá, N. B.; Mendingo, E. M. (2015). "Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects." *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(3), 9-35.
- CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. (2018). *Relatório da Administração - 2017*. Disponível em: <https://www.caesb.df.gov.br/images/arquivos_pdf/Relatorio-da-Administracao_2017.pdf>. Último acesso: 17 ago. 2018.
- Ferreira, A. N.; Silva, J. S.; Brites, C. R. C.; Ferrigo, S. (2017). "Modelagem hidrológica da bacia do Riacho Fundo no Distrito Federal utilizando o modelo SWAT." In: *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Florianópolis, 2017.
- Ferrigo, S. (2014). *Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática - Estudo de caso da bacia do lago Descoberto - DF*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. 2014. 164p.
- Lima, J. E. F. W.; Montenegro, S. M. G. L.; Montenegro, A. A. A.; Koide, S. (2014). "Comparative hydrology: relationship among physical characteristics, hydrological behaviour, and results of SWAT model in different regions of Brazil." *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7(6), 1187-1195.
- 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*, 50(3), 885-900.
- Neitsch, S. L.; Arnold, J. G.; Kiniry, J. R.; Williams, J. R. (2011). *Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation: version 2009*. Agricultural Research Service; Texas Agricultural Experiments Station; Texas Water Resources Institute, Temple, TX.
- Nunes, G. (2016). *Aplicação do modelo SWAT no estudo hidrológico e de qualidade de água da bacia do Lago Paranoá – DF*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. 2016. 148p.
- Reatto, A.; Martins, E. S.; Cardoso, E. A.; Spera, S. T.; Carvalho Jr., O. A. C.; Silva, A. V.; Farias, M. F. R. (2003). Levantamento de reconhecimento de solos de alta intensidade do alto curso do rio Descoberto, DF/GO, escala 1:100000. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Nº 92. EMBRAPA Cerrados, Distrito Federal, 2003.
- Salles, L. A. (2012). Calibração e validação do modelo SWAT para a predição de vazões na bacia do ribeirão Pipiripau. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. 2012. 114p.
- Silva, I. R. O. *Aplicação do método de cargas máximas totais diárias de nutrientes na bacia do córrego Rodeador – DF*. (2016). Monografia de Projeto Final em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. 79p.