

XVI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

15º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE PARÂMETROS FÍSICOS DO MODELO SWAT EM UMA BACIA EXPERIMENTAL DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

*Lídia de Oliveira Bahia¹; Lizandra de Barros de Sousa²; Carolynne Wanessa Lins de Andrade
Farias³; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro⁴*

RESUMO – A região semiárida do Nordeste brasileiro, devido a suas características climáticas, sofre com a escassez hídrica. A realização de estudos hidrológicos sobre essa área é de grande importância para o manejo adequado dos recursos hídricos, auxiliando o desenvolvimento local. A modelagem hidrológica tem se mostrado uma importante ferramenta para compreensão dos processos dinâmicos dentro de uma bacia hidrográfica, sendo o modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) um dos mais utilizados no Brasil. O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar a sensibilidade dos parâmetros físicos do modelo SWAT, seguindo a metodologia de Abbaspour et al. (2015), para a Bacia Experimental do Riacho Jatobá (BERJ). Os resultados mostraram que há sensibilidade dos parâmetros quando alterados de forma conjunta, sendo o parâmetro Curva Número o mais sensível para área de estudo. Recomenda-se em futuras análises confrontar os valores obtidos da modelagem com os dados observados para verificar a precisão obtida nas simulações do SWAT.

Palavras-Chave: Análise de sensibilidade, parametrização, modelagem hidrológica.

ABSTRACT – The semiarid region of the Brazilian Northeast, due to its climatic characteristics, suffers with the water scarcity. Conducting hydrological studies on this area is the significant importance for the proper management of water resources, helping local development. The hydrologic models have proved to be a useful tool for the integration of hydrographic processes modeled within a watershed, with the SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) being one of the most used in Brazil. The objective of this paper is the assessing the sensitivity of the groundwater parameters by the Abbaspour et al. methodology (2015), for the Jatobá stream experimental basin (BERJ). The results showed that there is sensitivity of the parameters when changed together, with the Curve Number parameter being the most sensitive for the study area. It is recommended in future analyzes to compare the values obtained from the modeling with the observed data to verify the precision obtained in the SWAT simulations.

Keywords: Sensitivity analysis, parameterization, hydrological modeling.

¹) Mestranda em Engenharia Agrícola, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Manoel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife, PE - Brasil. CEP: 52171-900. E-mail: lidia.bahia@ufrpe.br

²) Doutoranda em Engenharia Agrícola, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Manoel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife. CEP: 52171-900. E-mail: lizandra.barros@ufrpe.br

³) Professora Adjunta, Departamento de Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba. Cidade Universitária, João Pessoa – PB, Brasil. CEP: 58051-900. E-mail: carolynelins.ufpb@gmail.com

⁴) Professor Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, PE - Brasil. CEP: 52171-900. E-mail: montenegro.ufpe@gmail.com

1 - INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com maior abundância em recursos hídricos, contudo, sua distribuição ainda é desigual, sendo a região Semiárida do Nordeste a mais afetada devido as condições hídricas desfavoráveis, onde a taxa de evapotranspiração é elevada durante o ano, o índice pluviométrico é baixo e o solo apresenta baixa capacidade de retenção de água (Silva e Oliveira, 2020). Como a escassez hídrica é a principal restrição no desenvolvimento das regiões semiáridas brasileiras (Montenegro e Ragab, 2010), estudos hidrológicos são importantes para realização do manejo adequado dos recursos hídricos para suprir as necessidades locais e melhorar a convivência com o semiárido.

Os modelos matemáticos têm se mostrado adequadas ferramentas para estudos ambientais, sendo a modelagem hidrológica utilizada no planejamento, manejo e política de recursos hídricos devido a sua aplicação para melhor compreensão dos processos dinâmicos do sistema solo-planta-atmosfera (Andrade *et al.*, 2019). A precisão da modelagem hidrológica está fortemente ligada com a análise dos componentes do ciclo hidrológico e dos parâmetros que descrevem os processos que ocorrem na bacia, incluindo processos de movimento de água - tal como evapotranspiração, fluxo dos rios e armazenamento de água - como umidade do solo, água subterrânea e corpos d'água superficiais (Herman *et al.*, 2018).

Dentre os vários modelos desenvolvidos para estudos sobre os recursos hídricos tem-se destaque para o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), modelo hidrológico semi-distribuído, de tempo contínuo e código aberto que simula fluxo de água, transporte de sedimentos e qualidade da água, sendo ele o mais utilizado no Brasil (Paz *et al.*, 2018; Arnold *et al.*, 1998). Segundo Abbaspour *et al.* (2015), sua aplicação promove resultados consistentes de quantidade e qualidade dos recursos hídricos em dimensões temporais e espaciais tanto em escalas de bacias hidrográficas como para escalas continentais, sendo eles úteis no planejamento sustentável dos recursos hídricos para atender diversas demandas. Também nesse estudo, os autores trazem as diretrizes para o ajuste dos parâmetros do SWAT a partir do desempenho do modelo padrão, sendo possível realizar a análise de sensibilidade.

Estudos realizados por Lins *et al.* (2021) e Magalhães *et al.* (2018) avaliaram a sensibilidade de alguns dos parâmetros físicos – como curva número e fator alfa do fluxo de base, por exemplo - para região da Bacia Experimental do Riacho Jatobá (BERJ), no semiárido brasileiro, para posterior validação e calibração do modelo hidrológico proposto pelo SWAT. Chagas *et al.* (2022) analisaram a sensibilidade da simulação hidrológica com cinco diferentes limiares de pixels para geração da rede de drenagem e caracterização morfométrica de uma sub-bacia inserida na Bacia Experimental do

Riacho do Jatobá (BERJ), semiárido de Pernambuco, e obtiveram que os menores limiares de pixels apresentaram rede de drenagem mais detalhada e produziram simulações hidrológicas equivalentes.

Para um melhor entendimento sobre o comportamento dos parâmetros da área em questão, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar a sensibilidade dos parâmetros de água subterrânea do modelo SWAT, seguindo a metodologia de Abbaspour *et al.* (2015), para a Bacia Experimental do Riacho Jatobá (BERJ).

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi realizado na Bacia Experimental do Riacho Jatobá (BERJ) (Figura 1), localizada no município de Pesqueira, Pernambuco, situada entre as coordenadas 8°34'17" Latitude Sul e 37°1'35" de Longitude Oeste, e inserida na Bacia Representativa do Rio Alto Ipanema, no semiárido pernambucano, com área total de 13,50 km² (Magalhães *et al.*, 2018). O clima predominante da região é BSsh (Semiárido muito quente), segundo a classificação de Köppen, possuindo precipitação anual média de 600 mm, temperatura média de 23°C e taxa de evapotranspiração de 2000 mm por ano aproximadamente (Silva Junior *et al.*, 2016). Os solos encontrados na região são predominantemente rasos (Montenegro e Ragab, 2010), sendo eles Argissolo Vermelho-Amarelo (49,28%), Neossolo Regolítico (21,06%) e Neossolo Litólico (29,66%). As classes de uso do solo na BERJ encontradas foram Floresta caatinga densa (0,48%), Agricultura (2,27%), pastagens (23,52%) e Floresta Caatinga rara (73,73%).

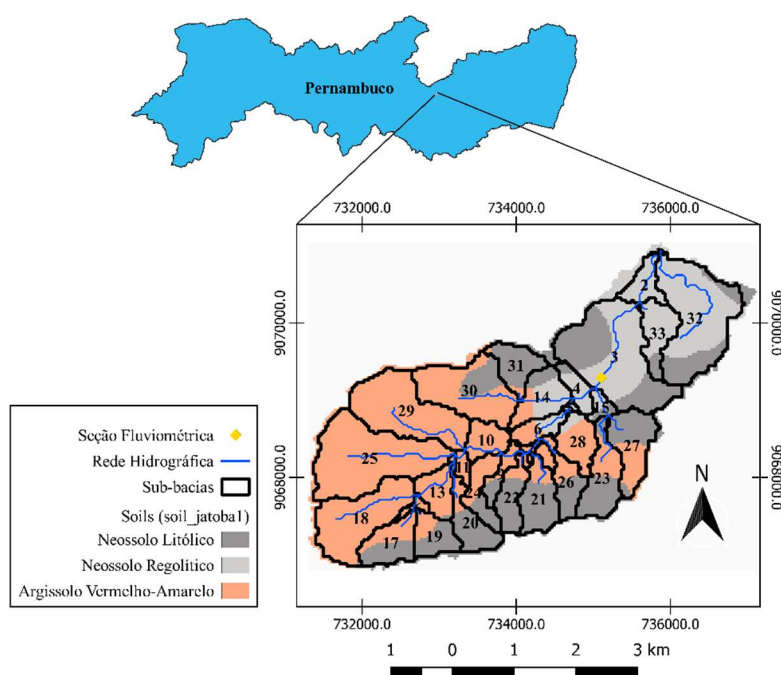


Figura 1. Mapa de localização da Bacia Experimental do Riacho Jatobá (BERJ)

Modelagem hidrológica e análise de sensibilidade de parâmetros do modelo SWAT

A modelagem hidrológica foi realizada através do *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto QGIS (versão 3.18.3) juntamente com o modelo SWAT (plugin QSWAT3 versão 1.1.1). O SWAT é um modelo hidrológico semi-distribuído, de tempo contínuo que simula fluxo de água, transporte de sedimentos e qualidade da água para auxiliar o manejo dos recursos hídricos (Arnold *et al.*, 1998).

Dados de topografia, variáveis climáticas e de tipo e uso do solo foram utilizados para realização da modelagem hidrológica. A delimitação da bacia foi realizada utilizando o modelo digital de elevação (MDE) do projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que fornece dados SRTM com resolução espacial de 30 m. O conjunto de dados de uso e ocupação do solo utilizados para a modelagem hidrológica foram coletados do projeto Mapbiomas (coleção 5.0, para o ano de 2019). O mapa de solos foi obtido pelo Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE), e a série temporal de dados climáticos (precipitação, temperatura, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento) foram obtidas da estação automática Arcoverde/PE através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o intervalo de 2003 a 2019.

Um período de 3 anos foi considerado para o aquecimento do modelo, segundo recomendações de Melo Neto *et al.* (2014). Para a BERJ foi utilizado o período de 1 de janeiro de 2003 a 31 de janeiro de 2019 para a simulação, com intervalo mensal. Os valores obtidos das simulações foram exportados para o *software Microsoft Excel* e plotados em gráficos.

O SWAT possui diversos parâmetros que podem influenciar no comportamento da vazão das bacias hidrográficas. Para a área de estudo, foram considerados os parâmetros GWQMN, GW_REVAP, REVAPMN e CN2 para análise de sensibilidade, seguindo a metodologia de Abbaspour *et al.* (2015), que recomendam a redução dos valores de GWQMN e GW_REVAP e o aumento do valor de REVAPMN e CN2. A descrição dos parâmetros é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros analisados para a verificação da sensibilidade do SWAT

Parâmetro avaliado	Descrição	Intervalo considerado pelo SWAT
GWQMN	Profundidade mínima do aquífero superficial para escoamento superficial (mm H ₂ O)	0 a 5000
REVAPMN	Mínimo de água para ocorrência de escoamento superficial (mm)	0 a 1000
GW_REVAP	Coefficiente de escoamento subterrâneo (adimensional)	0,02 a 0,2
CN2	Curva-número de escoamento	35 a 98

Foram realizadas 4 simulações para a análise de sensibilidade: uma de forma automática (sem alteração dos parâmetros), sendo ela a simulação de referência, outras 2 simulações com alterações para os parâmetros GWQMN e REVAPMN, e uma simulação alterando todos os valores de forma

conjunta, para verificar se há mudanças na sensibilidade do modelo em comparação com as análises isoladas.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

O SWAT gerou para a BERJ 33 sub-bacias e 465 HRU's (Unidades de Resposta Hidrológica). Com exceção do parâmetro de curva número, os valores dos demais foram iguais para todas as sub-bacias. Sendo assim duas áreas foram consideradas para a análise da sensibilidade por possuir diferentes tipos de solo: a sub-bacia 3, onde se encontra a seção fluviométrica da bacia e possui a presença do Neossolo regolítico e Neossolo litólico, e a sub-bacia 25, cujo solo predominante é o Argissolo vermelho-amarelo. Não foi feita nenhuma alteração no parâmetro GW_REVAP, que é o parâmetro responsável pelo controle do movimento da água do aquífero raso para camadas superiores do solo. Por apresentar logo na primeira simulação o valor mínimo do intervalo, significa que a área de estudo possui baixo movimento de água do aquífero raso para as camadas superficiais do solo. O mesmo resultado foi encontrado em Lins *et al.* (2021).

Tabela 2. Testes de sensibilidade adotados nas simulações com o SWAT

Parâmetro avaliado	Valor considerado
Simulação de referência	
GWQMN	1000
REVAPMN	750
GW_REVAP	0,02
CN2 (sub 3)	74
CN2 (sub 25)	80
Simulação com mudança no GWQMN	
GWQMN	800 (-20%)
GWQMN	600 (-40%)
GWQMN	400 (-60%)
Simulação com mudança no REVAPMN	
REVAPMN	825 (+10%)
REVAPMN	900 (+20%)
REVAPMN	975 (+30%)
Simulação com mudança no CN2 (sub 3)	
CN2	81,4 (+10%)
CN2	85,1 (+15%)
CN2	88,8 (+20%)
Simulação com mudança no CN2 (sub 25)	
CN2	88 (+10%)
CN2	92 (+15%)
CN2	96 (+20%)
Simulação com mudança conjunta	
GWQMN	400 (-60%)
REVAPMN	975 (+30%)
GW_REVAP	0,02
CN2 (sub 3)	88,8 (+20%)
CN2 (sub 25)	96 (+20%)

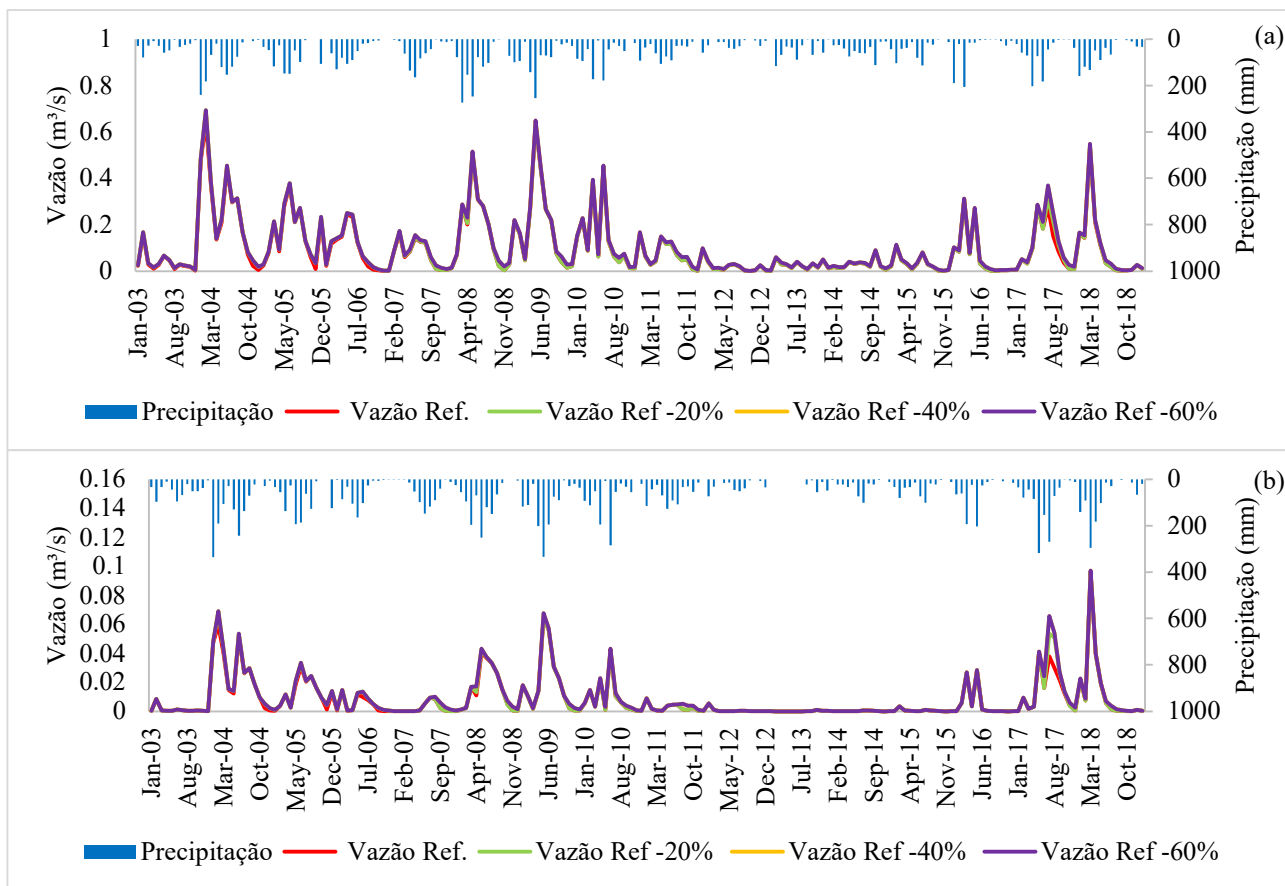


Figura 2. Hidrogramas simulados pelo modelo SWAT com variações no parâmetro GWQMN para as sub-bacias 3 (a) e 25 (b)

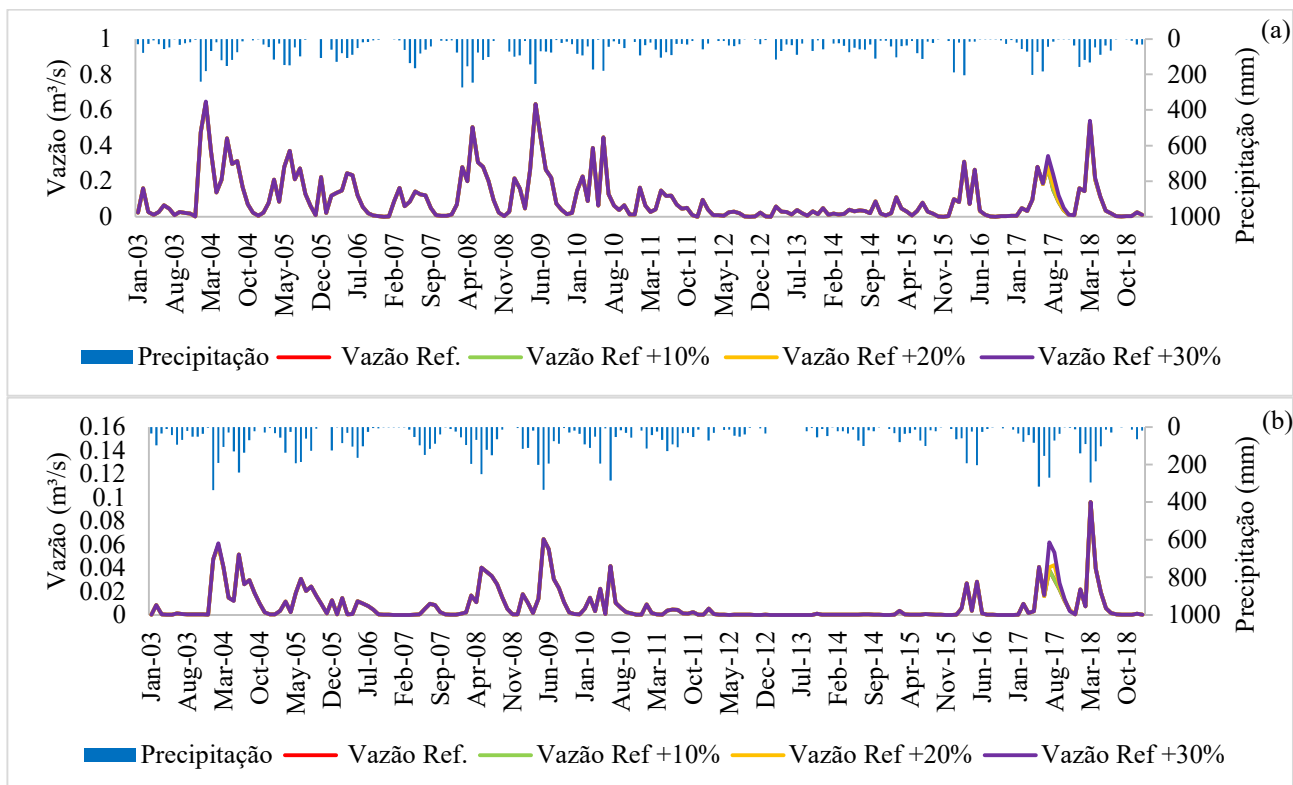


Figura 3. Hidrogramas simulados pelo modelo SWAT com variações no parâmetro REVAPMN para as sub-bacias 3 (a) e 25 (b).

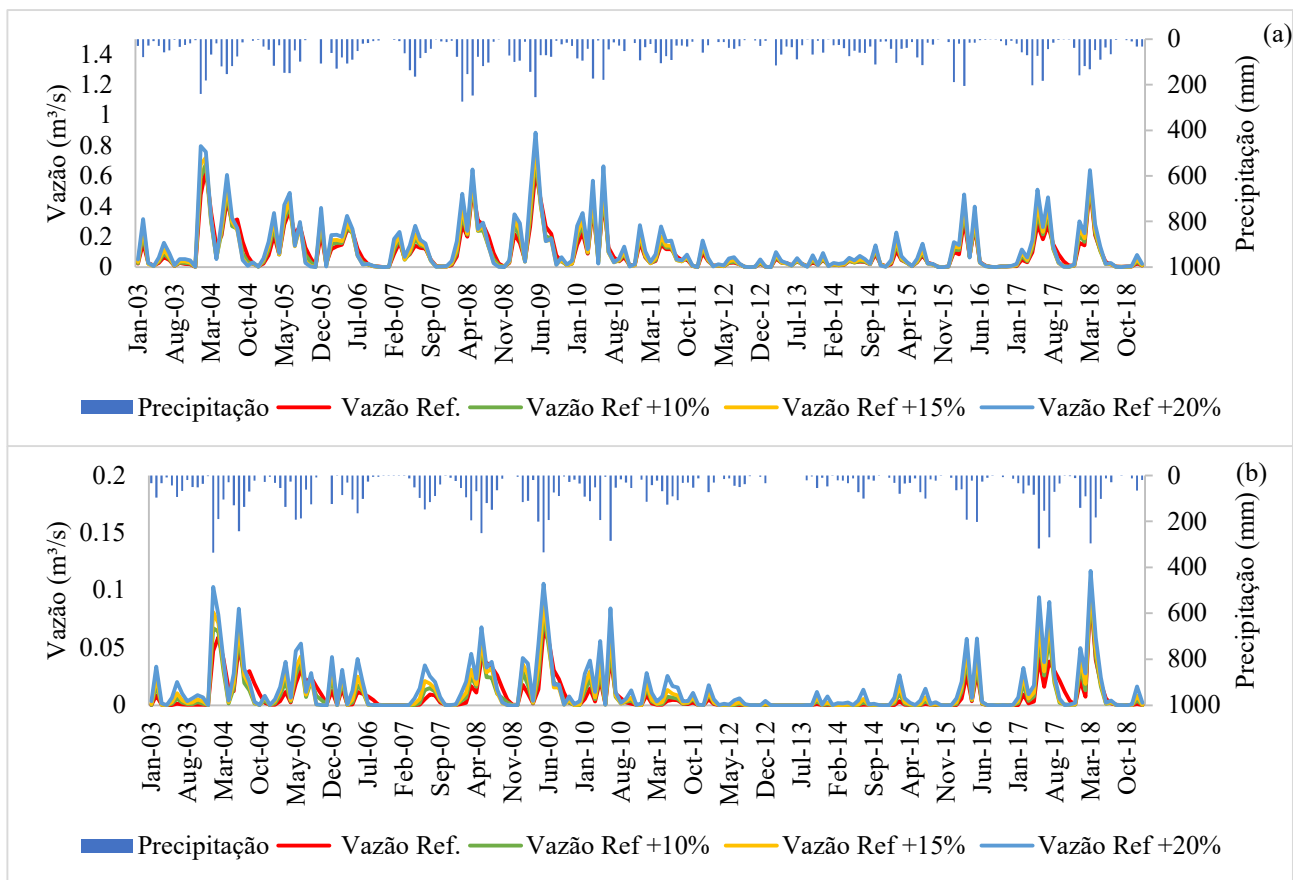


Figura 4. Hidrogramas simulados pelo modelo SWAT com variações no parâmetro CN2 para as sub-bacias 3(a) e 25(b)

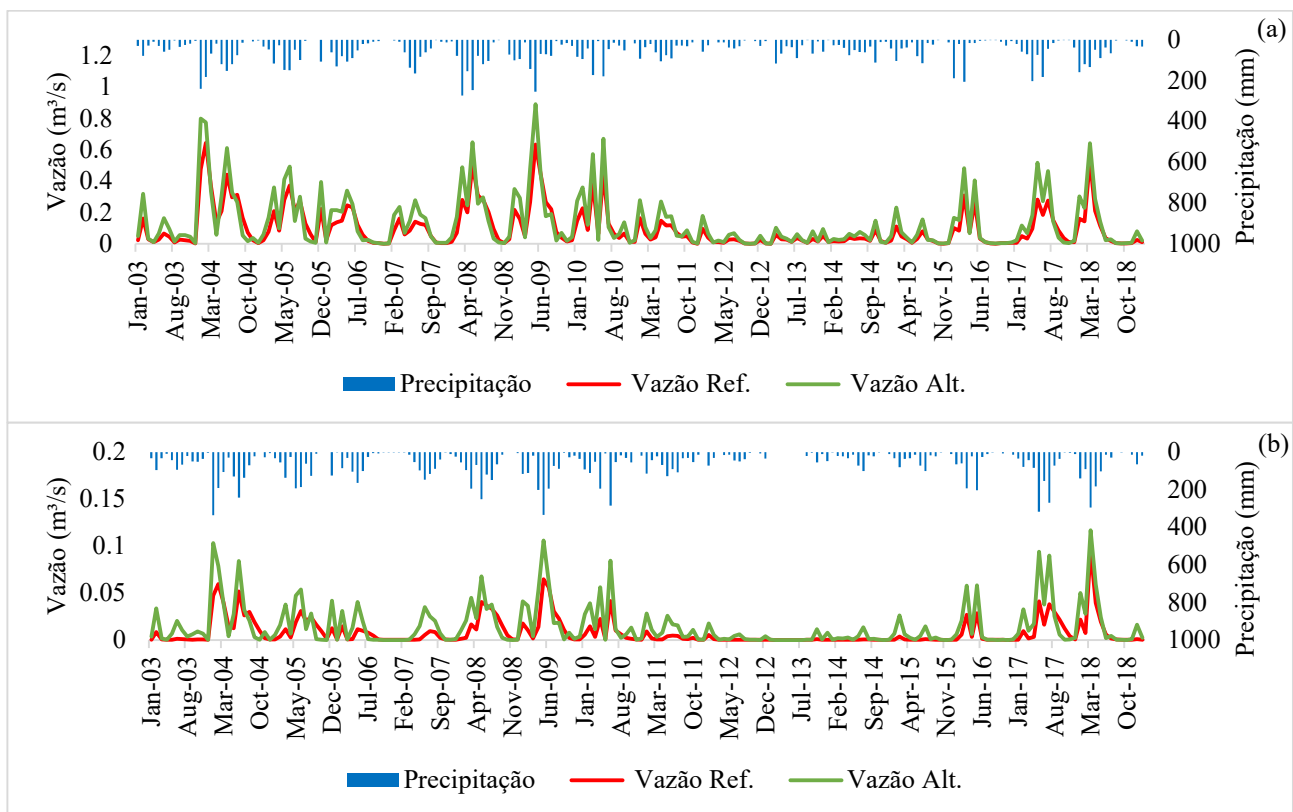


Figura 5. Hidrogramas simulados pelo modelo SWAT com variações conjuntas nos parâmetros GWQMN, REVAPMN e CN2 para as sub-bacias 3 (a) e 25 (b)

Das simulações apresentadas houve maior sensibilidade para os parâmetros alterados de forma conjunta (Figura 5) do que em forma individual para a BERJ. O comportamento da vazão ao longo do tempo segue a mesma tendência discutida por Abbaspour *et al.* (2015), tendo um movimento ascendente dos gráficos e elevação dos valores de picos para a simulação dos parâmetros alterados.

Segundo Chagas *et al.* (2022) a bacia possui baixa declividade do relevo, o que favorece a infiltração da água no solo, possuindo assim baixa probabilidade de inundação e boa drenagem, o que caracteriza o deslocamento dos gráficos com o aumento do valor do parâmetro REVAPMN (Figura 3). Também neste estudo, a BERJ se mostrou favorável à ocorrência de escoamento superficial, com boas condições para formação de novos cursos de água, caracterizando assim o movimento das simulações quando o valor do parâmetro GWQMN é reduzido (Figura 2).

Dos quatro parâmetros analisados, o parâmetro de curva-número (CN2) foi o que apresentou maior sensibilidade entre os demais para a área de estudo. O parâmetro de Curva-número é considerado um dos mais sensíveis no processo de calibração do modelo pois está em função da umidade, permeabilidade, uso e cobertura do solo, sendo o responsável pelas estimativas de perdas hidrológicas geradas pela infiltração e excesso pluviométrico para uma bacia hidrográfica (Lins *et al.*, 2021). A predominância da cobertura de solo com floresta caatinga rala e pastagens, como também das características do solo presentes na área de estudo contribuem para ocorrência do escoamento superficial, por consequência maior sensibilidade e valores de CN2 para a bacia. O mesmo resultado foi encontrado nos estudos de Magalhães *et al.* (2018) e Lins *et al.* (2021), que trazem o CN2 como um dos parâmetros mais sensíveis para a BERJ, preservando assim sua heterogeneidade espacial.

A mudança das simulações isoladas para os parâmetros GWQMN e REVAP foram pouco significativas, podendo isso ser consequência da profundidade dos solos presentes na bacia. A profundidade do solo possui uma função importante dentro dos processos hidrológicos, como na disponibilidade de água e abastecimento (Rahman *et al.*, 2022). Quanto maior for a profundidade do solo, maior será probabilidade de potencial de água subterrânea, como relatado nos trabalhos de Ahmadi *et al.* (2021) e Rahman *et al.* (2022). Os parâmetros analisados mostraram maior sensibilidade para a sub-bacia 25 pois o Argissolo vermelho-amarelo é mais profundo em comparação ao Neossolo regolítico e Neossolo litólico.

Os valores de vazão da simulação para a sub-bacia 25 são menores comparado aos da sub-bacia 3, onde se encontra a seção fluviométrica (Figura 5). Isso ocorreu porque a Bacia Experimental do Riacho Jatobá (BERJ), além de ser caracterizada como uma bacia de drenagem muito boa, possui tendências de maior precipitação nas partes a montante – onde se encontra a sub-bacia 25,

contribuindo para uma vegetação mais densa nesta sub-região, e sua baixa amplitude altimétrica reduz a variabilidade espacial da temperatura e evapotranspiração local (Chagas *et al.*, 2022).

4 - CONCLUSÃO

O SWAT se mostrou uma ferramenta bastante eficiente na modelagem hidrológica da Bacia Experimental do Riacho Jatobá, apresentando resposta satisfatória no comportamento das vazões simuladas. Houve maior sensibilidade do modelo quando foi realizada a modificação conjunta dos parâmetros quando comparado a simulação sem modificações. Dos quatro parâmetros analisados, o mais sensível foi o parâmetro da Curva-número, sendo ele um dos mais significativos para a calibração do modelo hidrológico por se tratar de um fator dependente da umidade, permeabilidade, uso e cobertura do solo. Recomenda-se em futuras análises confrontar os valores obtidos da modelagem com dados de vazão observados (medidos), para avaliação da precisão das simulações realizadas no SWAT.

5 - REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, K.C.; ROUHOLAHNEJAD, E.; VAGHEFI, S.; SRINIVASAN, R.; YANG, H.; KLØVE. (2015). “*A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model*”. Journal of Hydrology 524(1), pp. 733 – 752.
- AHMADI, H.; KAYA, O.A.; BABADAGI, E.; SAVAS, T.; PEKKAN, E. (2021). “*GIS-Based Groundwater Potentiality Mapping Using AHP and FR Models in Central Antalya, Turkey*”. Environmental Sciences Proceedings 5(1), pp. 1 – 11.
- ANDRADE, C.W.L.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; LIMA, J.R.S.; SRINIVASAN, R.; JONES, C.A. (2019). “*Soil moisture and discharge modeling in a representative watershed in northeastern Brazil using SWAT*”. Ecohydrology and Hydrobiology 19(2), pp. 238–251.
- ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S.; WILLIAMS, J.R. (1998). “*Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development*”. Journal of the American Water Resources Association 34(1), pp. 73 – 89.
- CHAGAS, A.M.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; FARIAS, C.W.L.A.; LINS, F.A.C.; SILVA, J.R.I. (2022). “*Use of geotechnologies for morphometric analysis of experimental basin in the semiarid region to support hydrological simulation*”. Revista Engenharia na Agricultura 30(1), pp. 19 – 35.
- HERMAN, M.R.; NEJADHASHEMI, A.P.; ABOUALI, M.; HERNANDEZ-SUAREZ, J.S.; DANESHVAR, F.; ZHANG, Z.; ANDERSON, M.C.; SADEGHI, A.M.; HAIN, C.R.; SHARIFI, A.

(2018). “Evaluating the role of evapotranspiration remote sensing data in improving hydrological modeling predictability”. *Journal of Hydrology* 556(1), pp. 39 – 49.

LINS, F.A.C.; MONTENEGRO, A.A.A.; FARIAS, C.W.L.A.; CHAGAS, A.M.S.; MIRANDA, R.Q.; GALVINCIO, J.D. (2021). “Analysis of the Temporal Dynamics of Actual Evapotranspiration in a Semiarid River Basin using Hydrological Modeling and Remote Sensing”. *IRRIGA* 26(3), pp. 543 – 564.

MAGALHÃES, A.G.; MONTENEGRO, A.A.A.; ANDRADE, C.W.L.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; JÚNIOR, R.V.P.F. (2018). “Hydrological modeling of an experimental basin in the semiarid region of the Brazilian State of Pernambuco”. *Revista Ambiente e Água* 13(6), pp. 1 – 19.

MELO NETO, J.O.; SILVA, A.M.; MELLO, C.R.; JUNIOR, A.V.M. (2014). “Simulação Hidrológica Escalar com o Modelo SWAT”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 19(1), pp. 177 – 188.

MONTENEGRO, A.; RAGAB, R. (2010). “Hydrological response of a Brazilian semi-arid catchment to different land use and climate change scenarios: A modelling study”. *Hydrological Processes* 24(19), pp. 2705 – 2723.

PAZ, Y.M.; GALVINCIO, J.D.; HOLANDA, R.M.; SRINIVASAN, R.; JONES, C.A. (2018). “Análise de sensibilidade e calibração espacial do modelo SWAT aplicado em uma bacia do litoral pernambucano através de dados climáticos observados e de reanálise”. *Revista Brasileira de Geografia Física* 11(1), pp. 371 – 389.

RAHMAN, M.; ALTHOBIANI, F.; SHAHID, S.; VIRDIS, S.G.P.; KAMRUZZAMAN, M.; RAHAMAN, H.; MOMIN, A.; HOSSAIN, B.; GHANDOURAH, E.I. (2022). “GIS and Remote Sensing-Based Multi-Criteria Analysis for Delineation of Groundwater Potential Zones: A Case Study for Industrial Zones in Bangladesh”. *Sustainability* 14(11), pp. 6667.

SILVA, G.R.D.; OLIVEIRA, M.K.T. (2020). “Diagnóstico Descritivo Da Gestão E Do Planejamento De Recursos Hidricos No Semiárido Brasileiro” in I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade, Belo Horizonte, pp. 1 – 6.

SILVA JUNIOR, V.P.; MONTENEGRO, A.A.A.; MELO, R.O. (2016). “Temporal stability of soil moisture in an experimental watershed in the Pernambuco semi-arid region”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20(10), pp. 880 – 885.