Influência da variação temporal do Uso e ocupação do solo de uma bacia semiárida sobre os parâmetros hidrossedimentologicos do modelo SWAT

Ricardo de Aragão[1]; Vajapeyam S. Srinivasan[2]; Iana Alexandra A. Rufino[3]; Lincoln M. Alves[4]; Valterlin dos S. Silva[5]; Laércio L. dos Santos[6]; José Matheus da S. Miranda[7] & Roneide M. de Andrade[8]

RESUMO – Bacias hidrográficas em regiões semiáridas estão sujeitas a diversos impactos como desmatamento, secas frequentes e a consequente escassez hídrica, sendo estes impactos agravados com as mudanças climáticas. Para entender como estas modificações influenciam os processos hidrossedimentológicos faz-se o uso de modelo hidrológico como o SWAT juntamente com dados de uso e ocupação do solo (LULC). A influência do LULC sobre os parâmetros do modelo é avaliada neste trabalho, já que a simulação é feita para apenas um padrão de LULC fornecido inicialmente e não é possível alterarar o padrão de LULC dentro do período de simulação. Utilizando dados existente na base MapBiomas para o período de 1994 a 2020, a sub-bacia do rio Taperoá-PB, foi calibrada para as condições de LULC de 1994, 2000, 2010 e 2020. Os dados fluviométricos da Estação de Poço de Pedras junto com os da pluviometria foram utilizados. Os resultados indicam dois grupos distintos de parâmetros.

ABSTRACT– Watersheds in semi-arid regions are subject to various impacts, such as deforestation, frequent droughts, and subsequent water scarcity that are further exacerbated by climate change. To understand how these modifications influence hydro-sedimentological processes, hydrological models like SWAT along with the Land Use and Land Cover (LULC) data are utilized. The evaluation of the influence of LULC over the parameters of the model is the main objective of this study, since, model simulations are done with only one LULC pattern for the whole period of simulation. Utilizing the data base of MapBiomas for the period of 1994 to 2020, the sub-basin of the Taperoá river was calibrated for the LULC conditions existent in 1994, 2000, 2010 and 2020. Fluviometric data from the station Poço de Pedras were utilized along with the raingauge network data. The results show two distinct group of model parameters.

Palavras-Chave – Modelo SWAT, Parâmetros, Influência da LULC

INTRODUÇÃO

[1]) Professor, UFCG-PB, R. Aprígio Veloso, 882, 58.100-970, C. Grande – PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: ricardoaragao@yahoo.com
[2]) Professor aposentado, UFCG-PB,R. Aprígio Veloso, 882, 58.100-970, C. Grande– PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: vajapeyam@yahoo.com
[3] Professor, UFCG-PB, R. Aprígio Veloso, 882,58.100-970, C. Grande – PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: iana.alexandra@professora.ufcg.edu.br
[4] Pesquisador, INPE, Av. dos Astronautas, 1.758, 12227-010, S. J. dos Campos-SP. Fone (12) 3208-6000. e-mail: lincolmuniz@gmail.com
[5] Professor, UFCG-PB, R. Aprígio Veloso, 882, 58.100-970, C. Grande – PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: valterlin@gmail.com
[6] Professor, UEPB-PB, R. Baraúnas, 351, 58429-500, C. Grande – PB. Fone (83) 3344-5300. e-mail: laercio.leal@servidor.uepb.edu.br
[7] Aluno doutorado PPGECA- UFCG, R. Aprígio Veloso, 882, 58.100-970, C. Grande – PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: matheus45sm@gmail.com
[8] Aluna doutorado PPGECA- UFCG, R. Aprígio Veloso, 882, 58.100-970, C. Grande – PB. Fone (83) 3310-1157. e-mail: roneide.martins@estudante.ufcg.edu.br

As bacias hidrográficas localizadas em regiões semiáridas brasileiras têm sido submetidas a crescente pressão antrópica nas últimas décadas, devido à grande demanda por água para abastecimento humano, dessedentação animal e pela expansão de áreas agricultáveis para a produção de alimentos (Souza, 2023). O contínuo aumento populacional intensifica essa demanda, ampliando o uso dos recursos naturais e elevando a vulnerabilidade socioambiental (United Nations, 2024).

Essas bacias são marcadas por temperaturas elevadas, alta evapotranspiração, secas frequentes e expressiva variabilidade interanual da precipitação, apresentando forte controle sobre os processos hidrológicos dessas regiões (Marengo et al., 2022). Somado aos impactos dos fatores climáticos, mudanças no uso e ocupação do solo, como a remoção da vegetação nativa e a expansão agropecuária, afetam diretamente o balanço hídrico, intensificando o escoamento superficial, a erosão e a entrada de sedimentos nos reservatórios. Esses processos comprometem o volume útil e a vida útil dos sistemas hídricos (Silva et al., 2023; Olaleye et al., 2024).

Para manter a oferta de água ao longo do ano, a principal alternativa na região é a construção de reservatórios (MDR, 2022), mas devido ao manejo inadequado do uso do solo, estes corpos hídricos perdem capacidades em face do grande aporte de sedimento, causando o assoreamento.

A seca de 2012–2017 (Marengo et al., 2022) exemplifica a fragilidade da região ao clima e também ao manejo do solo: o reservatório Epitácio Pessoa-REP (450 hm^3), localizado na região semiárida e que é composto das sub-bacia do alto rio Paraíba e do rio Taperoá, Estado da Paraíba-Brasil, atingiu apenas 2,97% de sua capacidade, comprometendo o abastecimento de Campina Grande (segunda maior cidade do estado da Paraíba-412 000 habitantes) e de outros 23 municípios do sistema hídrico Poções–Epitácio Pessoa (SHPoEP), afetando mais de 1 milhão de habitantes (Dantas et al., 2020; Brito et al., 2023).

Para avaliar o impacto destes processos sobre a disponibilidade hídrica da bacia, os modelos hidrossedimentológicos como o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), (Arnold et al., 2012; Mujeeb et al., 2025), sãos as ferramentas mais utilizadas atualmente devido a sua versatilidade de simular cenários de clima e de uso e ocupação solo, como também de fornecer respostas coerentes. Contudo, poucos estudos aplicaram simultaneamente séries históricas extensas de mudanças no uso e ocupação do solo e a dinâmica operacional de sistemas com múltiplos reservatórios em regiões semiáridas. Neste fim, faz-se necessárias séries temporais de uso e ocupação de solo, dados climatológicos e fluviométricos em bacias semiáridas, no sentido de ver uma possível relação entre as variáveis citadas e a produção de água/aporte hídrico para os reservatórios.

Para a bacia do SHPoEP, e por consequência do rio Taperoá-PB, existe a disponibilidade de dados climatológicos (pluviômetros e estação climatológica) e hidrológicos (uma estação

fluviométrica), bem como séries temporais de uso e ocupação de solo que cobrem o período 1985-2023, (AESA, 2022; ANA, 2025; Souza et al., 2020). Em face do exposto, o presente artigo tem como objetivo de avaliar a influência das mudanças no uso e ocupação do solo desta bacia sobre os parâmetros do modelo SWAT como também a tendência no aporte hídrossedimentológico da mesma.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O rio Taperoá é o principal tributário pelo ramo esquerdo do sistema hídrico Poções-Epitácio Pessoa - SHPoEP, que por sua vez, cobre quase toda a mesorregião da Borborema, parte do Agreste e apenas três municípios estão inseridos parcialmente no Sertão Paraibano (AESA, 2022), (Figuras 1 e 2).

A bacia possui clima do tipo BSwh' (classificação de Köeppen), ou seja, semiárido quente, com estação seca ao longo de 9 a 10 meses e precipitações médias variando entre 350 e 600 mm, sendo a região menos chuvosa do Brasil. A temperatura média atinge mínimas mensais de 18 a 22 ^{0}C, entre os meses de julho e agosto, e máximas mensais de 28 a 31 ^{0}C, entre os meses de novembro e dezembro. A umidade relativa do ar média mensal varia de 60 a 75% e os totais anuais da evaporação, medidos em tanque Classe A, variam entre 2.500 a 3.000 mm, com valores decrescentes de oeste para leste (Projeto SIGMA, 2024).

A vegetações predominante é a caatinga com os subtipos hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e sub-caducifólia (AESA, 2022). Toda a região é composta pelo bioma Caatinga, que abrange uma gama de ambientes, fisionomias e flora, formando um complexo vegetacional distinto e é exclusivo do Brasil, Souza (2023)

Na bacia existem 17 postos pluviométricos e uma estação fluviométrica no rio Taperoá (AESA, 2022; ANA, 2025), (Figuras 1 e 2). Na bacia do rio Taperoá estão inseridos total ou parcialmente 23 municípios, cuja população total é de 183.890 habitantes (IBGE, 2022). Estão nesta bacia os seguintes reservatórios: Mucutú (25,37 hm^3), Serra Branca II (14,04 hm^3), Taperoá II (15,14 hm^3), Soledade (12,5 hm^3), (ANA, 2017; AESA, 2022). A hidrossedimentologia da bacia, bem como o funcionamento destes reservatórios foram simulados através do modelo SWAT.

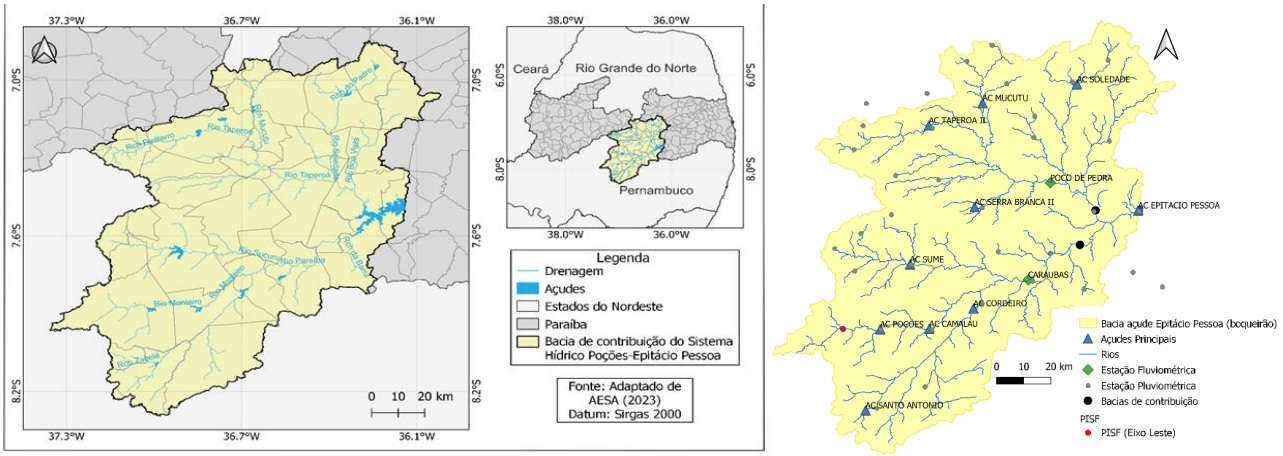


Figura 1 – Localização da bacia de contribuição do sistema hídrico Poções-Epitácio Pessoa- SHPoEP no Estado da Paraíba, seus principais rios, principais reservatórios e as duas estações fluviométricas instaladas.

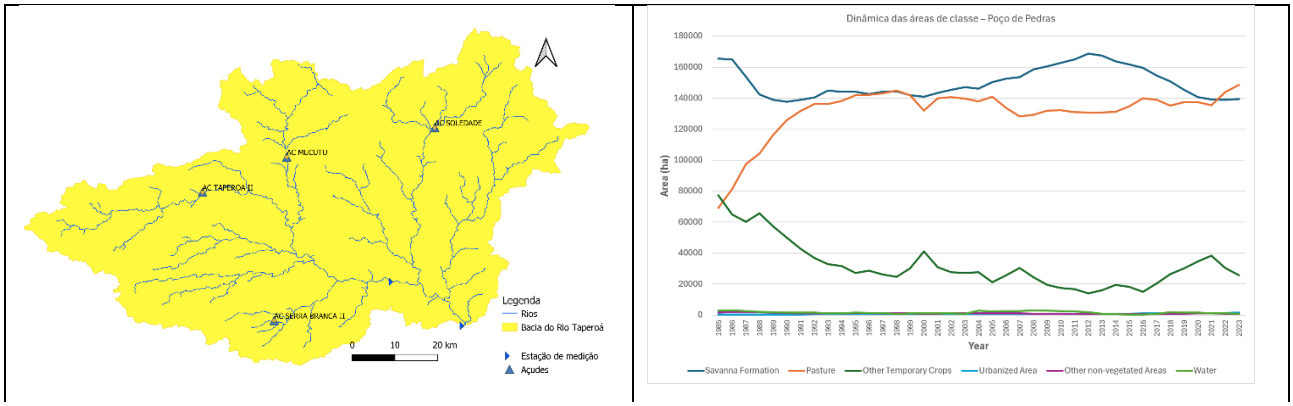


Figura 2 – A) Delimitação das sub- bacia hidrográfica do rio Taperoá (Poço de Pedras); B) Variação temporal do uso e ocupação do solo na bacia do rio Taperoá

O Modelo SWAT

O modelo SWAT é do tipo distribuído, contínuo, considera a variabilidade espacial das características físicas da bacia hidrográfica, foi desenvolvido visando estimar o impacto de diferentes práticas agrícolas sobre a quantidade e qualidade da água, na perda do solo e na carga de poluentes em uma bacia hidrográfica (Neitsch et al., 2005). A bacia é discretizada em sub-bacias, com base no modelo digital de elevação (MDT), que por sua vez, é dividida em unidades básicas de simulação chamadas de Unidades de Respostas Hidrológicas (HRU's), que têm uma mesma combinação de uso da terra, tipo do solo e declividade da superfície (Neitschet al., 2005).

Para a simulação o SWAT necessita do modelo digital de elevação (MDE), dados hidrológicos (vazão), climatológicos (temperatura, velocidade do vento, umidade, precipitação), dados do solo e de uso e ocupação. A partir destas informações o modelo SWAT simula os processos hidrossedimentológicos. O escoamento superficial (precipitação efetiva) é calculado via método modificado do Soil Conservation Service (SCS). .

Os dados de entrada ao modelo SWAT

Os dados do MDT têm resolução espacial de 30 x 30 m e são provenientes do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), (FARR et al., 2007). Os mapas de uso e ocupação do solo são referentes aos anos de 1994, 2000, 2010, 2020 e foram gerados a partir dos dados do projeto MapBiomas, coleção 8 (Souza et al., 2020). As 11 classes que compões os mapas originais foram reclassificadas para seis classes, mais condizentes com a região. Posteriormente, os usos foram relacionados aos existentes no banco de dados do SWAT, sendo seus nomes e as respectivas áreas, listados na Tabela 1.

Os dados de precipitação diária utilizados cobrem o período 1994-2020, (17 postos pluviométricos) (AESA, 2022). Os dados climatológicos são da estação Monteiro, monitorados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), e foram processados para alimentar o gerador de clima (WGEN) do modelo SWAT (Neitsch et al., 2005). Os dados de vazão para o período 1994-2020 foram coletados na estação fluviométrica Poço de Pedras (rio Taperoá). Os dados de solo, quantidade de água disponível estimada e o fator de erodibilidade do solo foram obtidos a partir de informações vindas do Ministério da Agricultura (1972).

Na parametrização do modelo foram adotados os parâmetros influentes nos processos de escoamento, recomendados por Arnold et al. (2012) e também por diversos estudos que aplicaram o modelo SWAT à bacias na região semiárida do Nordeste brasileiro (Aragão et al., 2013; Silva et al., 2021; Nunes et al., 2022). Ao todo, foram considerados 21 parâmetros significativos para efetuar a análise de sensibilidade.

Tabela 1 – Tipos de uso e ocupação de solo da área de estudo e suas respectivas áreas de acordo com o ano do mapa de uso e ocupação

			Área em (km²)			
Uso e ocupação do solo	**LULC_ SWAT**	**SWAT_Code**	**1994**	**2000**	**2010**	**2020**
Formação Savânica	Range-brush	RNGB	1023,29	1112,02	1621,25	1502,02
Pastagem	Pasture	PAST	1622,45	1524,82	1462,57	1433,51
Área Urbanizada	Urban Medium Density	URBN	0,55	0,58	0,60	0,64
Outras Áreas não-Vegetadas	Barren	BARR	0,44	2,17	0,28	2,92
Água	Water	WATR	1,43	2,25	5,76	2,46
Outras Lavouras Temporárias	Agricultural Land-Row Crops	AGRR	521,07	527,12	78,62	226,18

Calibração e Validação

Para a determinação automática dos valores dos parâmetros durante o processo de calibração foi empregado o software SWAT-CUP (Abbaspour et al., 2007) considerando, de forma individual, os mapas de uso do solo de 1994, 2000, 2010, 2020. Vale salientar que o mapa de uso e ocupação do solo (LULC) é único para o período todo, não havendo a possibilidade de considerar quaisquer mudanças do LULC durante o período da simulação. Dos 21 parâmetros previamente escolhidos, 16 se mostraram mais sensíveis (Arnold et al., 2012) para todos os mapas e assim, foram utilizados para a geração de séries de vazões para o período de calibração- 01/01/1994 a 31/12/2004 e validação- 01/01/2005 a 31/12/2016. .

O desempenho do modelo SWAT foi avaliado através da comparação entre os hidrogramas observados e simulados (após calibração e validação) como também considerados Percentual de Tendência (PBIAS), Coeficiente de Nash-Stucliffe (NSE), Moriasi et al. (2007). Posteriormente, com os parâmetros calibrados, o modelo pode ser utilizado para simulação para um novo período para obter as estimativas da produção de água e sedimentos na bacia.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de calibração automática via SWAT-CUP resultou nos valores dos parâmetros listados Tabela 2 e a partir destes, os hidrogramas ilustrados na Figura 3.

Nota-se na Tabela 2 que, apesar do uso de quatro mapas de LULC distintos, a calibração resultou em dois grupos de valores de parâmetros, sendo um grupo para os mapas de 1994 e 2000, e outro grupo para os mapas de 2010 e 2020. Isto leva a crer que as mudanças de LULC no período entre 1994 e 2000 não foram significativas para influenciar os parâmetros do modelo. Da mesma forma, as mudanças entre 2000 e 2010 foram bastantes para influenciar os processos hidrológicos e afetar os parâmetros. De novo, entre 2010 e 2020 as mudanças do LULC parem pequenas e não afetaram os parâmetros do modelo. A Figura 2B indica que na realidade tem ocorrido apenas uma mudança significativa do LULC na bacia no período

Ainda na Tabela 2 é possível notar que os parâmetros que mais variaram são aqueles relacionados ao fluxo subterrâneo (.gw), variando os demais, em uma pequena ordem de valor. Este comportamento poderia ser atribuído a tentativa, por parte do SWAT-CUP, de ajustar os parâmetros para que os valores observados e calculados estivessem próximo, modificando para tanto, os valores dos parâmetros de água subterrânea.

Em termos de hidrograma, Figura 3, é possível observar o bom ajuste do hidrograma simulado ao seu respectivo observado, assim como também ao valor de NSE (calibração), considerado excelente por Moriasi et al. (2007).

Com relação a produção de água (Tabela 3), verifica-se a variação pequena entre 1994 e 2000 bem como entre os anos 2010 e 2020. Entretanto, a variação entre os anos 2000 e 2010 é significativo. Claramente, este fato atribuível para a mudança de parâmetros. Lembra-se que os mapas de LULC dos anos 1994 e 2000 produziram o mesmo conjunto de parâmetros, enquanto os mapas de anos 2010 e 2020 resultaram num outro conjunto de parâmetros. Sendo assim, a influência do uso e ocupação do solo sobre os parâmetros calibrados do modelo fica bem estabelecida.

Tabela 2 – Valor dos parâmetros calibrados para a bacia de contribuição da estação fluviométrica Poço de Pedras.

	Year			
Parameters	**1994**	**2000**	**2010**	**2020**
r__CN2.mgt	-0.017	-0.017	-0.001	-0.001
v__ALPHA_BF.gw	0.338	0.338	0.228	0.228
v__GWQMN.gw	862.212	862.212	1458.388	1458.388
v__SHALLST.gw	1188.090	1188.090	308.573	308.573
v__GW_REVAP.gw	0.210	0.210	0.201	0.201
v__ESCO.hru	0.924	0.924	0.845	0.845
v__CANMX.hru	57.834	57.834	18.130	18.130
r__SLSUBBSN.hru	0.099	0.099	0.131	0.131
r__SOL_AWC().sol	0.760	0.760	0.710	0.710
r__SOL_K(1).sol	0.472	0.472	-0.074	-0.074
v__CH_K2.rte	16.353	16.353	39.059	39.059
v__RCHRG_DP.gw	0.008	0.008	0.101	0.101
r__EVLAI.bsn	0.423	0.423	-0.005	-0.005
v__MSK_CO1.bsn	0.634	0.634	0.353	0.353
r__SOL_BD(1).sol	-0.561	-0.561	-0.463	-0.463
v__GW_DELAY.gw	35.196	35.196	143.049	143.049

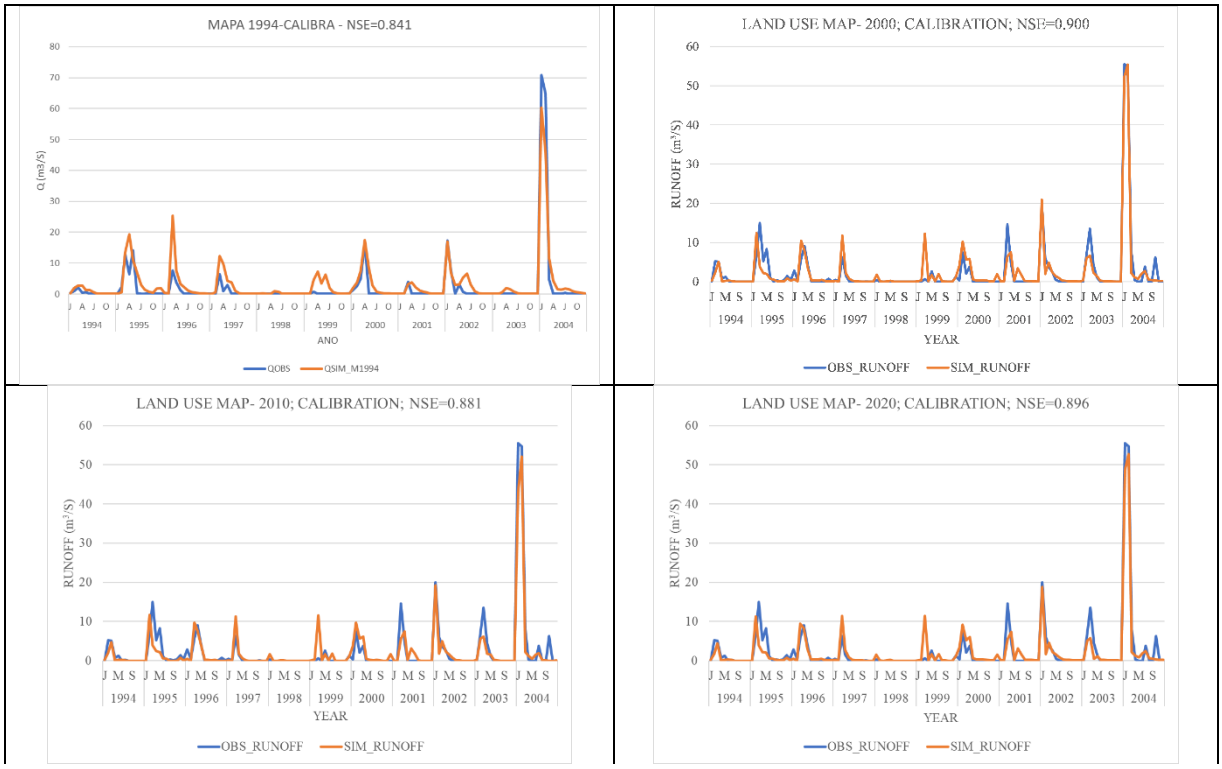


Figura 3 - Resultado da calibração e validação dos parâmetros para a bacia de contribuição para a estação fluviométrica Poço de Pedras

Tabela 3 – Produção anual de água e sedimentos para na bacia de contribuição para a estação Poço de Pedras considerando os mapas de uso e ocupação de 1994, 2000, 2010, 2020

	Mapa de LULC para cada ano			
Variável	**1994**	**2000**	**2010**	**2020**
Precipitação média anual (mm)	547,8	547,8	547,8	547,8
Produção de água (mm)	44,69	44,08	47,53	48,82
Produção de sedimentos (T/ha)	2,95	2,90	3,19	3,26

4. CONCLUSÃO

A calibração automática dos parâmetros do modelo SWAT para a bacia do rio Taperoá, considerando os mapas de uso e ocupação do solo de 1994, 2000, 2010 e 2020, resultou em dois conjuntos de parâmetros distintos, indicando que os parâmetros do modelo são moderadamente sensíveis para mudanças de LULC. Se tivesse resultado em quatro conjuntos diferentes de parâmetros os parâmetros estariam muito sensíveis para qualquer mudança do uso do solo. Os hidrogramas provenientes da calibração foram considerados muito bom, de acordo com o NSE obtido para cada caso. A produção de água e sedimentos para os mapas e no período avaliado, variou em uma faixa estreita sendo de 9,26% para a primeira e 10% para a segunda, o que indica que na bacia do Rio Taperoá, as mudanças de LULC no período de 1994 e 2020 não foram grandes. O modelo SWAT mostrou-se robusto e coerente aos processos que ocorrem na bacia.

AGRADECIMENTOS os autores agradecem a FAPESQ e FAPESP pelo suporte financeiro através do edital FAPESQ–FAPESP 2022. Ao CNPq pelo incentivo a pesquisa e a UFCG, INPE, UEPB, ANA, AESA, e INMET pelo apoio institucional e pela disponibilidade dos dados.

REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, K.C.; YANG, J.; MXIMOV, I.; SIBER, R.; BOGNER, K.; MIELEITNER, J.; ZOBRIST, J.; SRINIVASAN, R. (2007) *Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT*. Journal of Hydrology, v. 333, p. 413– 430.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA - AESA. 2022. "Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba: Relatório Executivo". Governo do Estado da Paraíba. http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2022/12/Relat%C3%B3rio-Executivo-Final-do-PERH.pdf

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (2025) Hidro Web: Sistemas de Informações Hidrológicas. Available on:<http://hidroweb.ana.gov.br>. Accessed on: Jul. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (2017). *Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia,* Balanço Hídrico e Operação: Anexo B / Agência Nacional de Águas – Brasília – DF, 130 p.

ARAGÃO, R., CRUZ, M. A. S., AMORIM, J. R. A., MENDONÇA, L. C., FIGUEIREDO, E. E., AND SRINIVASAN, V. S. 2013. "Análise de Sensibilidade dos Parâmetros do Modelo SWAT e Simulação dos Processos Hidrossedimentológicos em uma Bacia no Agreste Nordestino". Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37(4), 1091–1102. https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400026

ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W. (2012) "SWAT: model use, calibration, and validation". Transactions of the ASABE. Vol. 55(4): p.1491-1508.

BRITO, H. C., RUFINO, I. A. A., BARROS FILHO, M. N. M., AND MENESES, R. A. 2023. "Use of Spatial Data in the Simulation of Domestic Water Demand in a Semiarid City: The Case of Campina Grande, Brazil". Urban Science, 7(4), 120. https://doi.org/10.3390/urbansci7040120

DANTAS, J. C., DA SILVA, R. M., AND SANTOS, C. A. G. 2020. "Drought impacts, social organization, and public policies in northeastern Brazil: a case study of the upper Paraíba River basin". Environmental Monitoring and Assessment, 192(5). https://doi.org/10.1007/s10661-020-8219-0

FARR, T.G., ROSEN, P.A., CARO, E., CRIPPEN, R., et. al., (2007). "The Shuttle Radar Topography Mission. Review of Geophysics", 45: RG2004. DOI: https://dx.doi.org/10.1029%2F2005RG000183

IPCC. 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2022. "Censo Demográfico 2022". Rio de Janeiro: IBGE, 2022. https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/22827-censo-demografico-2022.html

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). 2023a. "BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa". Brasília, DF, 2023. http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep

MARENGO, J. A., GALDOS, M. V., CHALLINOR, A., 2022. "Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security". Climate Resilience and Sustainability, 1, 17. https://doi.org/10.1002/cli2.17

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1972). "*Levantamento Exploratório –Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba*". Convênio de mapeamento de solos MA/ EPE-SUDNE. Rio de Janeiro.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). 2022. "Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH): 3º Boletim de Monitoramento". Governo Federal. https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-seguranca-hidrica/boletins-de-monitoramento-do-pnsh/3oboletimpnsh_01072022.pdf

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. (2007) "*Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations*". Transactions of the ASABE, v. 50, n. 3, p. 885–900

MUJEEB, M., SAFI, L., AND SHIRZAD, M. D. 2025. "Assessment of Climate Change Impacts on Streamflow in the Maidan Sub-River Basin". Journal of Natural Science Review, 3(1), 169–194.https://doi.org/10.62810/jnsr.v3i1.180

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. (2005). "Soil and Water Assessment Tool. Theoretical documentation version 2005". Temple, Blackland Research Center, Soil and Water Research Laboratory. 494p.

NUNES, F. M. S., SRINIVASAN, V. S., AND ARAGÃO, R. 2022. "Proposição de uma metodologia de avaliação hidrossedimentológica e de sensibilidade de parâmetros através do modelo SWAT". Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales, 15(3), 1220–1239. https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.3.81147

OLALEYE et al. 2024. Review and comparative study of hydrological models for rainfall-runoff modelling. International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO), 11(3): 119-129. https://doi.org/10.30897/ijegeo.1514176.

Projeto SIGMA (2024). Segurança Hídrica de Municípios Paraibanos: uma Modelagem Integrada da Variabilidade Climática e das Dinâmicas Naturais e Antrópicas. Disponível em: sigma.ufcg.edu.br. FAPESQ/UFCG/INPE: Campina Grande.

SILVA, J. F. C. B. D., DA SILVA, R. M., SANTOS, C. A. G., et al. 2021. "Analysis of the response of the Epitácio Pessoa reservoir (Brazilian semiarid region) to potential future drought, water transfer and LULC scenarios". Natural Hazards, 108, 1347–1371. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04736-3

SILVA, T.P., BRESSIANI, D., EBLING, E.D., DE DEUS JÚNIOR, J.C., REICHERT, J.M., 2023. Evaluating hydrological and soil erosion processes in different time scales and land uses in southern Brazilian paired watersheds. Hydrol Sci J [Internet] 00 (00), 1–18. https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2217333

SOUZA at. al. (2020). "Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine", Remote Sensing, v.12, Issue 17, 10.3390/rs12172735

SOUZA, B. I. 2023. "Desertificação e Dinâmica da Cobertura Vegetal: conhecimentos acumulados e desafios vigentes". Geo UERJ, 42. https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.65896

UNITED NATIONS (UN). 2024. "World Population Prospects 2024: Summary of Results". United Nations. https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2024_Summary-of-Results.pdf