

CRIAÇÃO DE CENÁRIO BASE PARA SIMULAÇÃO DE PROCESSOS HIDROLÓGICOS COM O MODELO SWAT+ NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SAUANHA – ES

INTRODUÇÃO

Os Modelos hidrológicos são uma ferramenta importante e necessária para a gestão dos recursos hídricos e ambientais (Devia; Ganasri; Dwarakish, 2015) e podem fornecer estimativas espaciais e temporais valiosas destes recursos, ajudando a analisar possíveis projeções e cenários (Sood; Smakhtin, 2015). Essas ferramentas foram desenvolvidas para enfrentar os desafios em vários níveis de complexidade da bacia hidrológica (Kauffeldt et al., 2016) e são amplamente utilizados em vários estudos e pesquisas para a gestão de recursos hídricos, criando cenários alternativos para avaliar os mais diferentes aspectos (Shiferaw et al., 2018).

Dentre os principais modelos utilizados globalmente, o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) e sua mais recente versão, o SWAT+ tem ganhado destaque devido a sua versatilidade e por se tratar de um software livre e aberto. A nova versão é mais flexível no que concerne a representação espacial de interações e processos dentro de uma bacia hidrográfica (Bieger et al., 2017) e enfatiza a conectividade de elementos espaciais (Barresi Armoa et al., 2023).

Esse modelo tem a capacidade de caracterizar mecanismos de produção de escoamento superficial e produção de sedimentos (Choto; Fetene, 2019) e tem sido usado para simular os mais diversos cenários, desde mudanças de uso da terra até o comportamento das bacias sob as alterações climáticas.

O conhecimento do comportamento temporal e espacial da vazão hídrica e da dinâmica de sedimentos são aspectos essenciais para o planejamento hídrico e ambiental e a discretização fornecida pelo modelo pode apoiar fortemente a tomada de decisão inúmeros projetos (Campos et al., 2024).

A criação de um cenário base que represente satisfatoriamente o comportamento hidrológico de uma bacia é um passo essencial para que a confiabilidade de qualquer pesquisa ou mensuração dos resultados de cenários alternativos seja realizada. No entanto, o processo de modelagem, calibração e validação de um modelo ainda apresenta muitos desafios, especialmente quando trata-se de pequenas bacias hidrográficas (Brighenti; Bonumá; Chaffe, 2016).

Neste trabalho, o processo de modelagem e calibração da bacia de Ribeirão Sauanha (ES) com o modelo SWAT+ (*Soil and Water Assessment Tool Plus*), será demonstrado e os resultados obtidos serão apresentados temporal e espacialmente, juntamente com as principais possibilidades de utilização deste cenário base para pesquisas científicas e resolução de problemas ligados à gestão de recursos hídricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho é a Bacia de Ribeirão Sauanha, que é drenada pelo rio de mesmo nome e fica localizada na Região Serrana do Estado do Espírito Santo. Esta bacia tem característica predominantemente rural, porém conta em seu interior com a sede do município de Santa Teresa – ES e foi delimitada à montante de uma estação fluviométrica. (Figura 1).

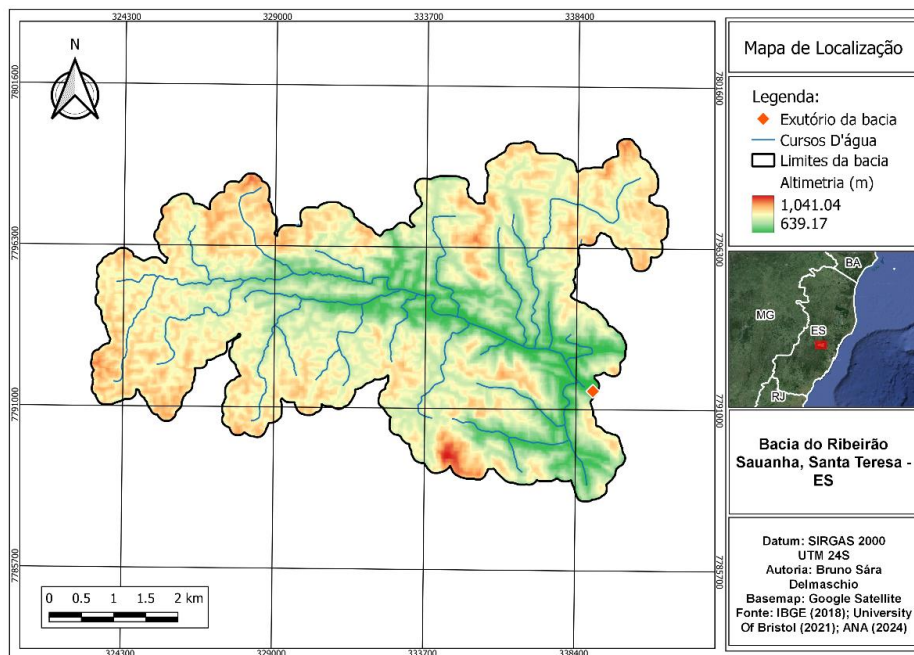


Figura 1: Mapa de localização da Bacia de Ribeirão Sauanha evidenciando a delimitação da bacia, a altimetria e os cursos hídricos da região. Fonte: Produção do autor.

A execução da metodologia aplicada neste trabalho consistiu no uso do modelo hidrológico SWAT+ e foi apoiada pelos softwares QGis 3.34, pelo plugin QSWAT+ 2.4.7, pelo SWAT+ Editor 2.3.3. A calibração e validação do modelo foi executada com o apoio do software estatístico RStudio 4.3.0 e pacote RSWAT 3.0.

A delimitação da bacia hidrográfica de estudo se deu a partir da escolha da estação fluviométrica a ser utilizada como ponto de exutório no QSWAT+. Esta etapa consistiu

inicialmente na identificação de estações fluviométricas no Estado do Espírito Santo com registros históricos de no mínimo oito anos de dados disponíveis. Para isso, realizou-se a busca na plataforma HidroWeb da ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2023), obteve-se a localização e os registros das vazões observadas. Com isso, a estação código 57040008 foi selecionada.

Para delimitação da área da bacia, foi utilizado o MDE (Modelo Digital de Elevação) FABDEM, com resolução espacial de 30 metros (Neal; Hawker, 2023). Uma vez inserido no QSWAT+ e apontado o local do exutório, a delimitação topográfica da bacia e a identificação dos principais cursos d'água foi realizada automaticamente. Esse passo é fundamental para definir o recorte espacial para a aquisição demais dados a serem utilizados na modelagem.

Os dados pedológicos adquiridos foram o mapa de solos do Espírito Santo, obtido junto ao Portal Geobases (GEOBASES, 2023) e os pontos de coleta de amostras de solo, disponibilizados pelo GeoInfo da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2014).

Os pontos de amostragem de solo foram espacializados sobre o mapa pedológico da região, o que permitiu localizar as amostras de interesse. Posteriormente, foram coletadas informações técnicas sobre amostras representativas dos diversos tipos de solo presentes na bacia. Essas informações foram então configuradas para entrada no modelo.

A obtenção dos dados climáticos se deu por meio da análise da localização das estações pluviométricas e climáticas do Espírito Santo no QGIS. Estas foram obtidas junto à ANA e INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, sendo identificadas aquelas dentro da área da bacia e/ou numa distância de até dois quilômetros e que possuíam uma série de dados consistentes para o período de 1990 – 2020, compreendendo uma normal climatológica.

Foram selecionadas três estações, sendo duas climáticas (códigos A613 e 83647) e uma pluviométrica (código 1940010), cujas séries históricas de registros diários foram baixadas dos portais do INMET e HidroWeb ANA, respectivamente. Esses dados também foram processados para o formato de entrada do modelo SWAT+. Após isso, escolheu-se o período compreendido entre os anos de 2007 e 2014 pois apresentava o maior quantitativo de dados consistentes e menos falhas nos registros.

Os dados de uso e cobertura da terra para a bacia são obtidos junto a plataforma Mapbiomas e compreendem rasters com 30m de resolução espacial para o ano de 2010. A partir das informações de cada classe de uso e cobertura presente na bacia foram

geradas planilhas de entrada no SWAT+. Os mapas de solos, uso da terra e as estações de monitoramento utilizadas são mostrados na Figura 2.

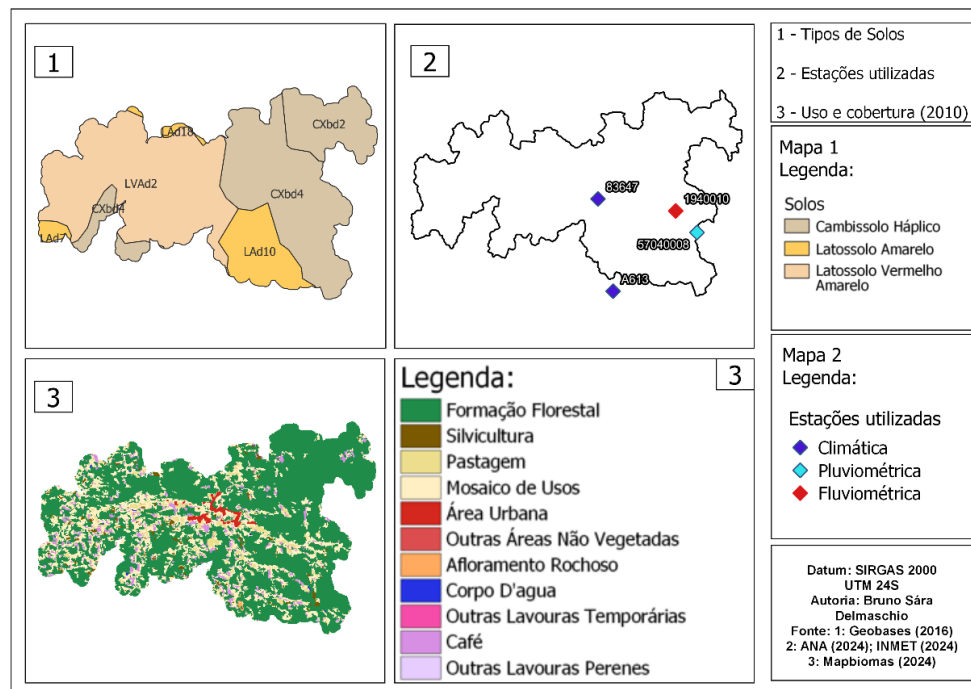


Figura 2: Mapa de Tipos de Solos (1), Estações utilizadas na modelagem (2) e Uso e Cobertura da Terra para o ano de 2010. Fonte: Autoria própria.

Após a inserção dos dados e execução do modelo foi utilizado o RSWAT (Nguyen et al., 2022) para seleção dos parâmetros e a calibração dos valores, que podem são mostrados na tabela 1.

| Parâmetro | Valor adequado |
|-----------|----------------|
| cn2 | 0.001 |
| canmx | 2.842 |
| esco | 0.876 |
| perco | 0.621 |
| lat_ttime | 0.762 |
| cn3_swf | 0.799 |
| epco | 0.121 |
| flo_min | 16.787 |
| revap_co | 0.088 |
| revap_min | 8.479 |
| alpha | 0.07 |
| surlag | 1.61 |
| awc | 0.007 |

Tabela 1: Parâmetros e valores adequados para a calibração.

Por fim, os dados resultantes da simulação foram analisados e comparados aos dados observados e com as características da bacia a fim avaliar a consistência do cenário base e sua aptidão para servir como instrumento da simulação de diferentes processos na área de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a execução do modelo calibrado, os índices de performance da simulação foram calculados a fim de comparar a adequação dos valores de vazão simulados com os dados observados pela estação fluviométrica. A tabela 2 mostra os índices Nash-Sutcliffe (NSE), o coeficiente de correlação (R^2) e o percentual de viés (Pbias), usados para avaliação da simulação realizada.

| Índice de eficiência avaliados | Simulação Mensal | | Simulação Diária | |
|--------------------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| | Valor Obtido | Classificação | Valor Obtido | Classificação |
| R^2 | 0.80 | Bom | 0.61 | Satisfatório |
| NSE | 0.79 | Muito Bom | 0.58 | Satisfatório |
| Pbias | 10.73 | Bom | 23.25 | Satisfatório |

Tabela 2: índices de eficiência obtidos após a calibração.

Uma vez constatado que os índices de eficiência do modelo estão satisfatórios, utilizou-se a ferramenta SWAT+ check para exibição de um resumo do balanço hídrico da bacia (Figura 3). Os dados mostram que 50% da precipitação é transformada em vazão. Também é possível constatar que 66% da vazão total é composta pelo escoamento de base e apenas 34% pelo escoamento superficial, o que está fortemente relacionado à grande proporção de vegetação nativa existente na bacia (aproximadamente 69%). Pode-se observar ainda que 32% da precipitação total infiltra no solo e que 49% da precipitação é transformada em evapotranspiração.

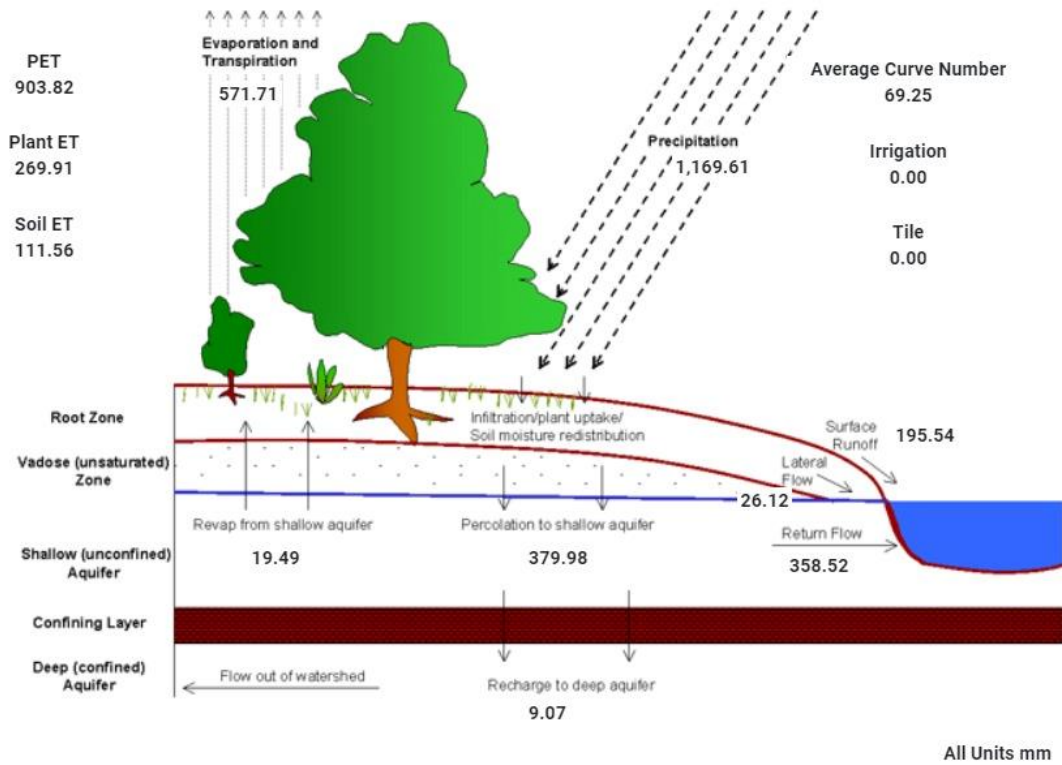


Figura 3: Balanço Hídrico da Bacia (em mm). Fonte: Autoria própria.

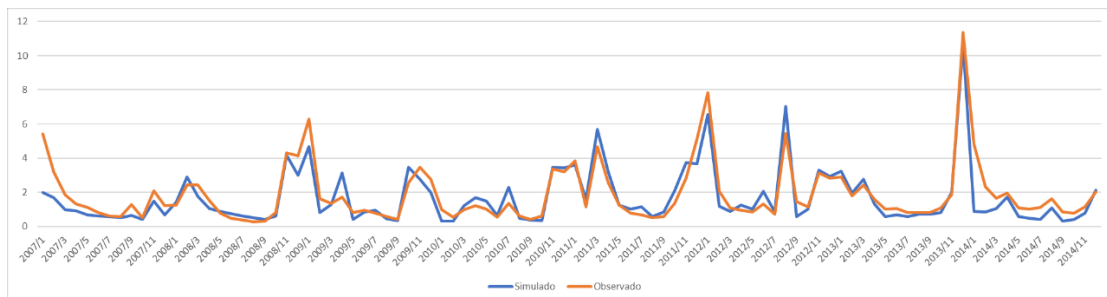


Figura 4: Valores de vazão médios mensais simulados pelo modelo e observados. Fonte: Autoria própria.

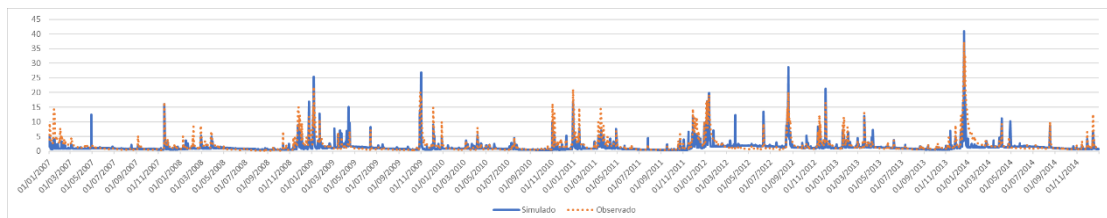


Figura 5: Valores de vazão médios diários simulados pelo modelo e observados. Fonte: Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Sauanha foi um processo que requereu um grande esforço inicial para aquisição de dados, domínio dos procedimentos operacionais de modelagem e configuração dos parâmetros da calibração. Porém, após a criação de um cenário base satisfatório, onde os processos hidrológicos da bacia estejam bem representados, a vazão dos diversos cursos d'água da bacia pode ser quantificada para uma grande diversidade de cenários alternativos, como por exemplo as mudanças de uso da terra ou nas condições climáticas.

Esforços adicionais de calibração e validação podem ser empreendidos a fim de melhorar os índices de eficiência do modelo, porém, as limitações ligadas à carência de dados são um grande limitante para essa melhoria.

Considerando as condições de monitoramento pluviométrico e fluviométrico da bacia em questão, os resultados obtidos podem ser considerados satisfatórios e tornam a modelagem apta a realizar a simulação de cenários para o período de estudo.

Palavras-chave: Modelagem Hidrológica; Balanço Hídrico; Vazão Hídrica; SWAT+.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPES – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, pelo apoio à pesquisa e à UFES – Universidade Federal do Espírito Santo e ao IFES – Instituto Federal do Espírito Santo pela participação de seus quadros na pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). , 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 10 maio 2023. Banco de dados

BARRESI ARMOA, Osvaldo Luis *et al.* Representation of Hydrological Components under a Changing Climate—A Case Study of the Uruguay River Basin Using the New Version of the Soil and Water Assessment Tool Model (SWAT+). **Water**, [s. l.], v. 15, n. 14, p. 2604, 2023.

BIEGER, Katrin *et al.* Introduction to SWAT+, A Completely Restructured Version of the Soil and Water Assessment Tool. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 115–130, 2017.

BRIGHENTI, Tássia; BONUMÁ, Nadia; CHAFFE, Pedro. Calibração hierárquica do modelo swat em uma bacia hidrográfica Catarinense. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 53–64, 2016.

CAMPOS, Fábio Luiz Mação *et al.* Uso do modelo hidrológico SWAT+ para quantificação e espacialização de processos em apoio ao planejamento ambiental. **Revista Pantaneira**, [s. l.], v. 24, p. 119–137, 2024.

CHOTO, Misganaw; FETENE, Aramde. Impacts of land use/land cover change on stream flow and sediment yield of Gojeb watershed, Omo-Gibe basin, Ethiopia. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [s. l.], v. 14, p. 84–99, 2019.

DEVIA, Gayathri K.; GANASRI, B.P.; DWARAKISH, G.S. A Review on Hydrological Models. **Aquatic Procedia**, [s. l.], v. 4, p. 1001–1007, 2015.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema de Informação de Solos Brasileiros – BDSOLOS. , 2014. Disponível em: <https://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 5 abr. 2021. Digital

GEOBASES - SISTEMA INTEGRADO DE BASES GEOESPACIAIS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Website. , 2023. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/>. Acesso em: 5 maio 2023. Infraestrutura de Dados Espaciais

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Portal INMET. 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em 10 de dezembro. de 2023.

KAUFFELDT, A. *et al.* Technical review of large-scale hydrological models for implementation in operational flood forecasting schemes on continental level. **Environmental Modelling & Software**, [s. l.], v. 75, p. 68–76, 2016.

MAPBIOMAS.ORG. Coleções. Uso e Cobertura. 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoesmapbiomas/>. Acesso em 20 de dezembro de 2023.

NEAL, Jeffrey; HAWKER, Laurence. FABDEM V1-2. University of Bristol, , 2023. Disponível em: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn/>. Acesso em: 11 jul. 2023. application/zip,text/plain; charset=windows-1252,application/pdf,text/plain; charset=UTF-8,text/plain; charset=ISO-8859-1

NGUYEN, Tam V. *et al.* An interactive graphical interface tool for parameter calibration, sensitivity analysis, uncertainty analysis, and visualization for the Soil and Water Assessment Tool. **Environmental Modelling & Software**, [s. l.], v. 156, p. 105497, 2022.

SHIFERAW, Henok *et al.* Modelling hydrological response under climate change scenarios using SWAT model: the case of Ilala watershed, Northern Ethiopia. **Modeling Earth Systems and Environment**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 437–449, 2018.

SOOD, Aditya; SMAKHTIN, Vladimir. Global hydrological models: a review. **Hydrological Sciences Journal**, [s. l.], v. 60, n. 4, p. 549–565, 2015.