



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO HIDROSEDIMENTOLÓGICA E DE SENSIBILIDADE DE PARÂMETROS ATRAVÉS DO MODELO SWAT

* Francisco Miquéias S. Nunes¹
Vajapeyam S. Srinivasan²
Ricardo de Aragão³
Yáscara Maia Araújo de Brito⁴

APPLICABILITY OF THE SWAT MODEL FOR HYDROSEDIMENTOLOGICAL AND PARAMETER SENSITIVITY ASSESSMENT IN THE SUCURU RIVER BASIN

Recibido el 1 de noviembre de 2021. Aceptado el 20 de junio de 2022

Abstract

Many environmental problems, especially in the northeast region of Brazil, are a direct consequence of the frequent droughts and contamination of water sources in these regions, as well as the growing demand for water resources recorded in recent decades. Human activities have caused several changes in watersheds and environments, leading to changes in climate and hydrology. Changes in land use and occupation affect the behaviour of surface runoff. This work aims to develop a methodology to quantify surface runoff and soil erosion related to sediment production in a semi-arid basin, taking into account variations in land use conditions and variations in rainfall when fluvimetric data are unavailable. Therefore, the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model is used as a tool for these assessments. This study evaluated the Sucuru River Basin downstream of the Sumé Dam using precipitation data, temperature and maps of soil type, land use and occupation and observed changes during this period, from 1994 to 2015. According to the rainfall series used for the simulation, 8 of the 22 years of analysis had annual rainfall below the historical average, with 500 mm in the Cariri region of Paraíba. On the other hand, seven years has a marked yearly total around the standard. The most sensitive parameters of the model are those related to physical properties and soil management, such as available water capacity.

Keywords: modeling, sediment production, semiarid, surface runoff, water resources.

¹ Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Brasil.

² Programas Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECA, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.

³ Unidade Acadêmica de Engenharia Civil - UAEC, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.

⁴ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil.

*Autor correspondente: Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campus Universitário, s/n, Bodocongó, Campina Grande/PB, CEP: 58109-790, Brasil. Email: miqueias2103@hotmail.com

Resumo

Muitos problemas ambientais, principalmente na região nordeste do Brasil, são consequência direta das frequentes secas e contaminação dos mananciais nessas regiões, bem como da crescente demanda por recursos hídricos registrada nas últimas décadas. As atividades humanas têm causado diversas mudanças em bacias hidrográficas e ambientes, levando a mudanças no clima e na hidrologia. As mudanças no uso e ocupação do solo afetam o comportamento do escoamento superficial. Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma metodologia para quantificar o escoamento superficial e a erosão do solo, relacionados à produção de sedimentos em uma bacia semiárida, levando em conta as variações nas condições do uso do solo e as variações na pluviosidade quando não existem dados fluviométricos. Portanto, o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) é utilizado como ferramenta para essas avaliações. Este estudo avaliou a Bacia do Rio Sucuru a jusante da Barragem de Sumé usando dados de precipitação, temperatura e mapas de tipo de solo, uso e ocupação do solo e mudanças observadas durante esse período, de 1994 a 2015. De acordo com a série pluviométrica utilizada para a simulação, 8 dos 22 anos de análise tiveram precipitação anual abaixo da média histórica, com 500 mm na região do Cariri da Paraíba. Por outro lado, 7 anos apresenta um total anual acentuado em torno da média. Os parâmetros mais sensíveis do modelo são aqueles relacionados às propriedades físicas e ao manejo do solo, como a capacidade de água disponível.

Palavras-chave: escoamento superficial, modelagem, produção de sedimentos, recursos hídricos, semiárido.

Introdução

A água é um elemento abundante e renovável vital para a sobrevivência de todos os seres vivos na Terra. No entanto, a água disponível para consumo humano tem se tornado cada vez mais escassa. Entre outras razões, esse problema inclui a poluição da água, desmatamento e resíduos, e distribuição desigual da água no espaço e no tempo, principalmente da urbanização e industrialização (Sajikumar e Remya, 2015; Queiroz *et al.*, 2020; Meena *et al.*, 2020).

Nas últimas décadas, houve um aumento da demanda por recursos hídricos, em contrapartida a uma redução da oferta ocasionada por eventos de seca e poluição das fontes de captação, vem acarretando inúmeros problemas ambientais, em especial na região Nordeste do Brasil. Por outro lado, as ações antrópicas têm causado diversas transformações nas bacias hidrográficas e no meio ambiente, o que acarreta mudanças no clima e no regime. Além disso, houve mudanças severas no uso e ocupação do solo e, conseqüentemente, modificações nos aspectos hidrossedimentológico e nos comportamentos ecológicos (Khare *et al.*, 2017; Luan *et al.*, 2018; Fontes Júnior e Montenegro, 2019; Šípek *et al.*, 2020), que no geral estão relacionados às atividades antrópicas (Worku *et al.*, 2017; Aleixo e Silva Neto, 2018).

Nas bacias hidrográficas nordestinas, em especial naquelas localizadas na zona semiárida, as chuvas apresentam uma grande irregularidade interanual e ocorrem, na maioria das vezes, em um quadrimestre chuvoso. Devido a essa irregularidade, a oferta hídrica na região é basicamente proveniente da acumulação de água em reservatórios, que estão sujeitos a perdas por

evaporação. Além disso, o volume acumulado de água depende do uso e ocupação do solo e do rendimento pluvial das bacias (Nunes, 2018; Abaker *et al.*, 2018).

Essas regiões são as mais vulneráveis às mudanças no uso da terra devido aos frequentes anos de precipitações abaixo da média e de secas severas (Cunha *et al.*, 2015), como a ocorrida entre 2012 e 2018, no Semiárido Brasileiro (SAB) (Marengo *et al.*, 2018). No semiárido brasileiro, os períodos de seca afetam o crescimento e produção vegetal e tem substanciais impactos sociais e econômicos na população local (Ribeiro *et al.*, 2016).

Nesse contexto, é necessário conhecer melhor os processos deposicionais hidrológicos na região para melhor aproveitamento dos escassos recursos hídricos. Portanto, são necessários estudos de diferentes escalas que considerem as influências antrópicas e as mudanças climáticas. As estimativas da produção de escoamento superficial e de sedimentos, nas bacias hidrográficas, são fundamentais para um eficiente planejamento e gerenciamento dos recursos naturais, além de permitir melhor convivência com a variabilidade climática característica da área (Aragão *et al.*, 2013; Silva, *et al.*, 2016).

Diante desse cenário, uma possibilidade para melhorar a compreensão do comportamento hidrológico, consiste na utilização de tecnologias, como por exemplo, os sistemas computacionais, tais como a integração de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) com a modelagem hidrológica. O SIG é um sistema abrangente de informações que evoluiu e ainda se desenvolve paralelamente às tecnologias avançadas.

Modelos hidrossedimentológicos têm sido aplicados a bacias hidrográficas existentes no mundo todo e no Brasil, essa realidade não é diferente, como pode-se ver nos estudos de: Pereira *et al.*, (2016), que simulou a vazão em uma pequena bacia hidrográfica localizada no sudeste do Brasil; Nunes *et al.* (2018) analisaram a influência do uso e ocupação do solo sobre o escoamento superficial e a erosão do solo numa bacia hidrográfica localizada em região semiárida; Paz *et al.* (2018), analisou a sensibilidade e calibrou o modelo SWAT para uma bacia hidrográfica no nordeste do Brasil, usando dados climáticos observados; Dias *et al.* (2018), que analisou o escoamento superficial utilizando o modelo SWAT na bacia hidrográfica do Rio Grande; Castro e Machado (2019) que analisaram a sensibilidade dos parâmetros hidrológicos do modelo SWAT para a bacia hidrográfica do Rio das Pedras Guarapuava-PR) e Farias *et al.* (2020), que avaliaram as mudanças no uso do solo e seus efeitos sobre a evapotranspiração, o escoamento superficial e os sedimentos na Bacia Hidrográfica do rio Mundaú - PE), como ferramenta para auxiliar na gestão dos escassos recursos hídricos ali existentes.

O modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool), desenvolvido por Neitsch *et al.* (2005) é um modelo matemático, de domínio público, e está entre os modelos de base física e distribuído.

Este modelo foi desenvolvido por pesquisadores *Agricultural Research Service (ARS)* e pela *Texas A&M University (TAMU)*, em 1996, nos Estados Unidos da América. O SWAT é bastante utilizado em várias partes do mundo (EUA, China e Brasil) para simular processos hidrológicos e hidrossedimentológicos (Douglas-Mankin *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2018). No Brasil, o modelo SWAT já foi aplicado a bacias de diversas regiões como Sudeste, Norte e Nordeste (Bressiane *et al.*, 2015; Fukunaga *et al.*, 2015; Dias *et al.*, 2018; Marmontel *et al.*, 2019). Devido suas características, o modelo ganhou destaque nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro, nos estados de Pernambuco e Paraíba (Dantas *et al.*, 2015; Nunes *et al.*, 2018; Paz, *et al.*, 2018; Farias *et al.*, 2020). Para melhor aproveitamento dos recursos naturais, por meio de planejamento e gerenciamento adequados, são necessárias informações sobre a quantidade dos recursos naturais disponíveis e dados básicos de demanda destes recursos. No SAB, assim como em outras regiões, sem estimativa razoável da produção do escoamento superficial e da erosão do solo, planejamento racional e manejo adequado das bacias hidrográficas torna-se impossível.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi parametrizar o modelo SWAT para a bacia hidrográfica do rio Sucuru, sem dados de vazão, demonstrar a importância de métodos confiáveis para quantificar o escoamento superficial e a erosão do solo em bacias hidrográficas do semiárido brasileiro, levando em consideração mudanças históricas ou projetadas no uso e ocupação do solo. A importância deste trabalho está no desenvolvimento de métodos para estudos hidrossedimentares em áreas onde não há dados sobre escoamento superficial ou sedimentos produzidos pela erosão. Destaca-se que o artigo é fruto da dissertação do autor Nunes (2018), intitulada “Avaliação hidrossedimentológica de uma bacia sem dados de vazão utilizando o modelo SWAT”.

Material e métodos

A área de estudo e suas características

A área em estudo é a porção da sub-bacia do rio Sucuru, localizada no semiárido paraibano, à jusante do Reservatório Sumé, que leva o nome do município. (Figura 1). O açude localiza-se, na microrregião do Cariri Paraibano, pertencente à região Semiárida do Estado da Paraíba, no Nordeste do Brasil. A bacia do rio Sucuru tem uma área de 1.682 km², dos quais 55.8% correspondem à parte jusante do açude de Sumé, alvo do presente estudo. A temperatura média anual, na área em estudo, oscila entre 21 e 32 °C, enquanto a precipitação média anual fica em torno de 400 a 600 mm.

Sete municípios estão inseridos nesta bacia hidrográfica (Amparo, Congo, Coxixola, Caraúbas e São José dos Cordeiros, Serra Branca, Sumé), e compreendem uma população em torno de 100.000 habitantes. Os principais afluentes são o riacho do Buraco, riacho dos Pilões, riacho Pedra Cumprida e o rio Sucuru, o principal curso de água. A grande maioria dos rios são intermitentes,

com escoamento significativo apenas em períodos chuvosos, e extensos períodos de seca (vazão nula), em virtude das características climáticas da região. Nesta bacia existem apenas aquíferos aluviais ou fissurais.

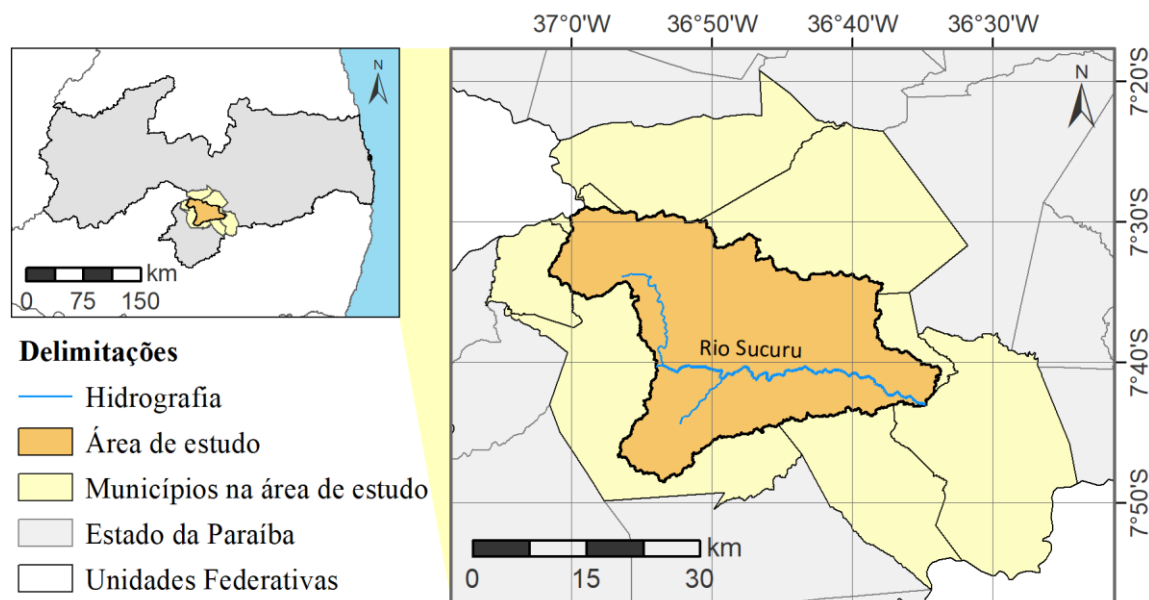


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Sucuru, com destaque aos municípios que fazem parte da delimitação.

A vegetação predominante na área é a Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, com uma forte incidência das seguintes espécies: Macambira (*Bromelia Laciniosa*), Marmeleiro (*Cydonia Ablonga*), Umburana (*Commiphora Leptolophloeos*), Catingueiro (*Caesalpinia Pyramidalis*), Xique-xique (*Pilosocereus Polygonus*), Facheiro (*Pilosocereus Pachycladus*), Jurema (*Mimosa Tenuiflora*). Todas são espécies características do clima Semiárido e resistem mesmo em períodos de seca, devido às características fisiológicas (CPRM, 2000).

O solo na área da Bacia Hidrográfica é raso, com um subsolo rochoso em embasamento cristalino que, de acordo com a Embrapa (1999) e o Ministério da Agricultura (1979), dentre as os tipos de solos ali encontrados, os mais frequentes são (Figura 2): neossolos (47.06%), vertissolos (22.08%) e luvisolos (20.86%).

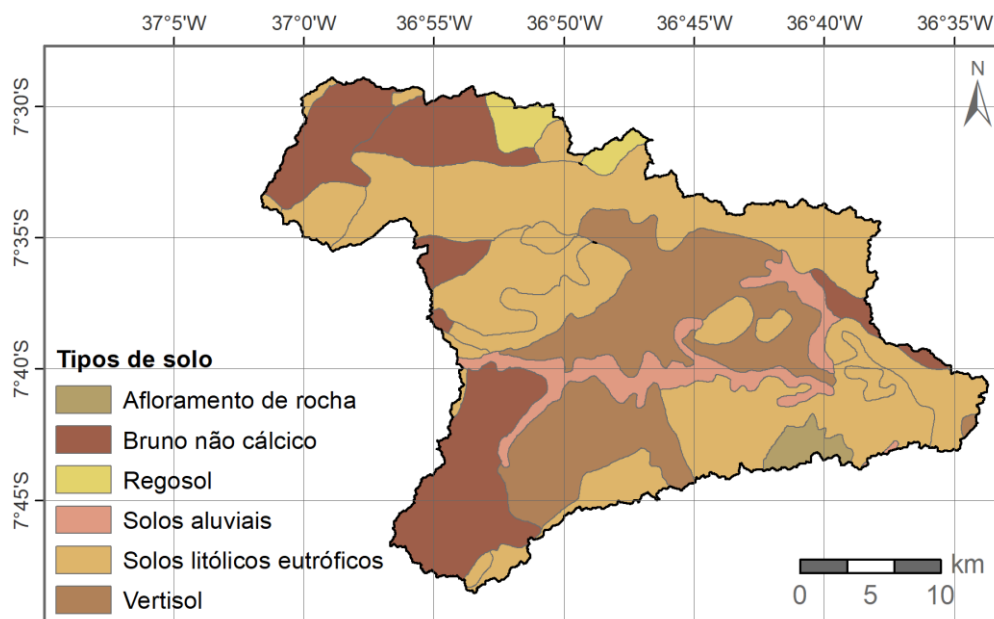


Figura 2. Tipos de Solo da Bacia.

Dados de entrada do modelo

Os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos a partir do processamento de imagens do satélite LANDSAT 5 TM, órbita 215, ponto 65 (nas datas de 18/06/1990 e 11/02/2002) e LANDSAT 7 (2013), associados a visitas in loco para validar os usos do solo. A partir da análise dessas imagens, foram determinados os seguintes usos e ocupação, exposto na Figura 3: Solo exposto, vegetação rasteira, vegetação arbórea esparsa, vegetação arbórea aberta, vegetação arbórea fechada e água.

Como as categorias de uso e ocupação do solo ilustrados na Figura 3 não foram encontradas no banco de dados do modelo SWAT. Procurou-se classes equivalentes são estabelecidas como critério para obtenção dos valores dos parâmetros, através de um processo de tentativa e erro. São selecionadas as categorias com o maior número de características semelhantes. As classes e suas associações, bem como as suas siglas estão descritas na Tabela 1.

Os dados de precipitação foram obtidos a partir de 13 postos pluviométricos localizados na bacia ou próximos a esta, para o período que se estende de 1994 a 2015. Os dados climatológicos, por sua vez, foram coletados em uma estação climatológica localizada na cidade de Monteiro, mesma região da bacia. A partir dos dados climáticos, médias mensais histórica são calculadas, a fim de alimentar o gerador de clima WGEN (Neitsch, 2005), interno ao modelo, foi utilizado para o

preenchimento as falhas de dados climatológicos (precipitação, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento), caso existam. Embora o modelo SWAT disponibilize metodologias de determinação da evapotranspiração potencial, como por exemplo, Penman monteith, utilizou-se dados obtidos em um tanque classe A, como dado diário de evapotranspiração potencial, provenientes da estação climatológica de São João do Cariri.

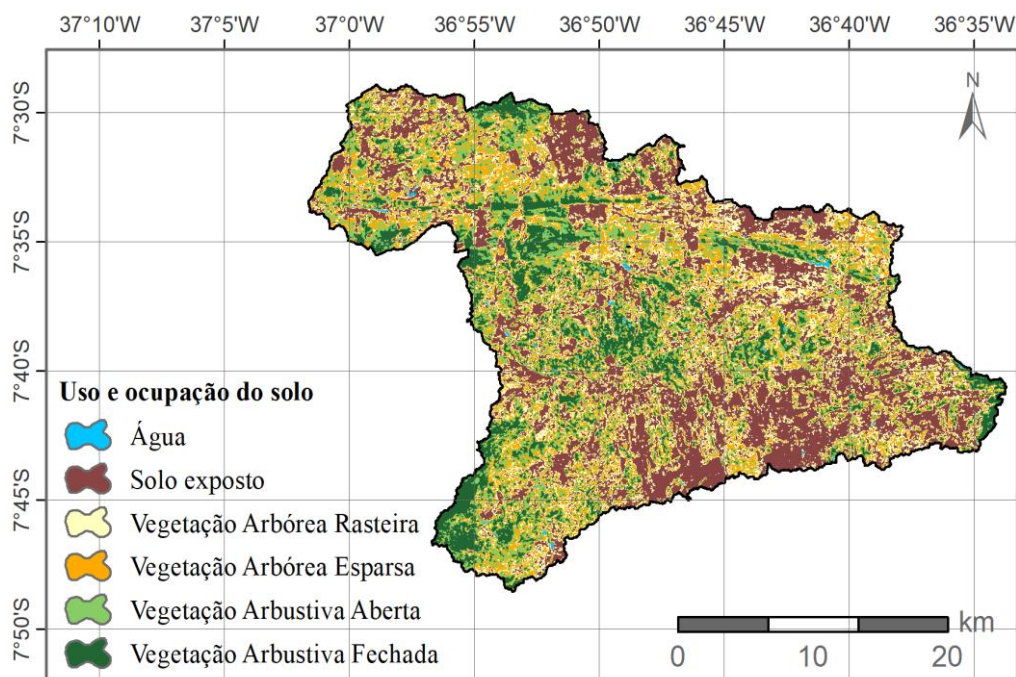


Figura 3. Mapa de uso e ocupação do solo da bacia para o ano de 1990.

Tabela 1. Porcentagem (%) das tipologias de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do rio Sucuru para os anos de 1990, 2002 e 2013.

Uso das imagens	Uso banco de dados SWAT	1990	2002	2013
Água	Water	0.30%	0.75%	0.10%
Solo exposto	Barren	30.07%	31.88%	13.36%
Vegetação arbórea rasteira	Barren or Sparsely vegetated	21.26%	17.45%	16.95%
Vegetação arbórea esparsa	Range Brush	18.42%	14.74%	17.53%
Vegetação arbustiva aberta	Forest Deciduos	16.74%	14.80%	21.66%
Vegetação arbustiva fechada	Mixed grassland Shrub	13.21%	20.38%	30.40%

A bacia hidrográfica e suas sub-bacias são discretizadas automaticamente com base no Modelo Digital de Elevação (MDE), oriundo do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que tem resolução espacial de 30 metros. O SWAT discretiza a área em sub-bacias e gera tipologias que possibilitam diferenciar as características hidrológicas da região.

Os dados do solo (textura, número de camadas e suas respectivas profundidades, capacidade de campo, condutividade hidráulica e fatores de erodibilidade) foram obtidos a partir de um levantamento exploratório de solos no Estado da Paraíba (Ministério da Agricultura, 1972). Segundo Williams (1969), a disponibilidade hídrica é estimada, enquanto a condutividade hidráulica é calculada a partir dos teores de areia, silte e argila extraídos dos levantamentos anteriores e com base no perfil do solo mais adequado ao tipo de solo existente nessa área. Para esses cálculos utilizou-se software com essa finalidade. O fator de erodibilidade do solo foi calculado em função da textura, conforme o método de Williams (1995).

Inicialização e parametrização do modelo

As simulações cobriram o período 1994-2015 e, como a série de precipitação é curta (21 anos), os dados de precipitação relativos ao ano de 1994 foram triplicados para permitir o aquecimento do modelo em um período de três anos, e assim estabilizar os valores dos parâmetros e os valores das variáveis de saída (escoamento superficial e produção de sedimentos), sendo descartados do valor final os resultados obtidos dentro deste período de aquecimento, e importados apenas para o período 1994-2015.

Para a parametrização, dados observados de vazão são empregados, para fins de comparação com os resultados fornecidos pelo modelo. No entanto, na bacia hidrográfica do rio Sucuru não há dados de vazão. Os modelos SWAT são sensíveis a diversas variáveis físicas e climáticas. Arnold *et al.* (2000) relatam que os modelos SWAT são sensíveis a mais de 100 variáveis relacionadas à vegetação, manejo do solo, pedologia, clima, aquíferos, canais e reservatórios.

Os métodos de variação são: substituição direta, adição e multiplicação. Na substituição direta, o modelo altera um valor existente para outro; em um método é adicionado ao valor inicial do parâmetro adicionando um novo valor; e no caso de multiplicação, a mudança de valor é estabelecida alterando o valor inicial por um percentual de (Viana, 2019). Os parâmetros que geralmente apresentam maior sensibilidade são os descritos no Manual do Modelo SWAT (Meaurio *et al.*, 2015). As variáveis utilizadas nesse estudo são descritas na Tabela 2, variáveis essas que foram representativas e influentes para o parâmetro de escoamento superficial como indicado por Arnold *et al.*, (2012).

Tabela 2. Parâmetros influentes sobre o escoamento indicados por Arnold *et al.* (2012).

Parâmetros	Descrição	Faixa de valores
CANMX	Quantidade máxima de água interceptada pela vegetação	50 a 90 mm
GWQMN	Profundidade da água subterrânea necessária para ocorrer fluxo de retorno	1000 a 5000 mm
GW_REVAP	Coefficiente de controle do fluxo da água entre as zonas saturada e não saturada	0.02 a 0.2 mm
REVAPMN	Limite de água no solo para ocorrência da ascensão capilar na zona saturada	0 a 1000
RCHRG_DP	Fração de água percolada para o aquífero profundo	0 a 0.08
SURLAG	Tempo de retardo de escoamento superficial	0 a 5 dias
ESCO	Coefficiente de compensação da evaporação de água no solo	0.2 a 0.7
EPCO	Fator de compensação de água no dossel das plantas	0.1 a 1
CN	Número inicial da curva de escoamento do scs para a condição de umidade II	Min 35 e Max 98
SHALLST	Profundidade inicial de água no aquífero raso	0 a 5000 mm
DEEPST	Profundidade inicial de água no aquífero profundo	0 a 10000 mm
GW_DELAY	Coefficiente de atraso da água subterrânea	0 a 500 dia
ALPHA_BF	Fator alfa de fluxo de base	0 a 1 dia

No modelo SWAT, após a delimitação e definição das Unidades de Respostas Hidrológicas (HRUs), cada um dos parâmetros listados assume um valor *default*, que são: CN (57), CANMX (65 mm), GWQMN (1000 mm), GW_REVAP (0.02 mm), REVAPMN (1), RCHRG_DP (0.05), SURLAG (4 dias), ESCO (0.95), EPCO (1), GW_DELAY (31dias). Contudo, como não há dados observados de vazão, para a determinação dos valores ótimos destes parâmetros, a metodologia utilizada baseia-se em ajustar os valores dos parâmetros citados por Arnold *et al.* (2012), a fim de que a lâmina escoada levasse a um rendimento da bacia (coeficiente de escoamento superficial) entre 5 e 10%, que são os valores sugeridos por Viana (1986), para a região semiárida do Nordeste.

O período de 1994 a 2015, para o qual existem dados ininterruptos de precipitação, foi simulado a partir de dados de três mapas de uso do solo, para os anos 1990, 2002, 2013), individualmente. As simulações são realizadas para todo o período, com cada mapa de uso de solo, com o propósito de avaliar as influências relativas, no período como um todo e nos anos individuais.

Simula-se escoamento superficial considerando, para o período de dados de precipitação, os anos mais próximos a cada ano dos mapas de uso do solo, com o objetivo de avaliar a influência das mudanças do uso do solo ao longo de um período que englobasse a data de coleta de cada mapa de uso e ocupação do solo. Assim, o período entre 1994-2001 foi empregado para simular o escoamento com os dados do mapa de uso de 1990; o período 2002 – 2012 (mapa de uso de 2002) e 2013 – 2015 (mapa de uso de 2013). Visto que o uso e ocupação do solo em 1990 se

aproxima daquele mostrado no mapa de 2002, os resultados obtidos com o mapa de 1990 foram tomados como base para comparação.

Para uma estabilização dos parâmetros do modelo, nas condições iniciais de distribuição da umidade do solo e nas condições reais da evapotranspiração, foi necessária uma inicialização de “aquecimento”, que consistia em simular os processos com três anos e, em seguida, adotar o período de interesse, ignorando os resultados dos três primeiros anos de simulação.

Devido a falta de dados medidos de vazão, considerou-se que os principais parâmetros que influenciam o processo de escoamento são aqueles citados por Arnold *et al.* (2012), Cadier *et al.* (1982) e Viana (1986). Estes fizeram uma extensa pesquisa sobre a hidrologia das bacias hidrográficas do SAB e concluíram que o tipo de solo exerce um papel fundamental no escoamento superficial e, conseqüentemente, no rendimento da bacia. Para estes autores, o rendimento médio anual (RMA) da bacia varia entre 2.8 e 10%, podendo atingir 20%, em alguns casos.

Portanto, após repetidos testes e levando em consideração as características do solo, geologia e clima da bacia, os parâmetros acima foram ajustados, e por fim o valor do parâmetro GWQMN foi ajustado para 2000 mm, pois nenhum levantamento na bacia mostrou que a profundidade do solo era maior que isso (Ministério da Agricultura, 1972). Os parâmetros CANMX, ESCO, EPCO e CN mostraram-se muito influentes, pois qualquer pequena alteração em seus valores levaria mais ou menos a superestimação e/ou subestimação da placa de drenagem, exigindo assim múltiplas tentativas para obter seu valor (Tabela 3). A influência de cada um destes parâmetros foi avaliada através da variação individual de cada um para baixo e para cima a partir do valor ajustado anteriormente.

Tabela 3. Parâmetros ajustados após tentativa e erro.

Parâmetro do SWAT	Faixa de variação	Valor Inicial (<i>default</i>)	Valor Ajustado
CANMX	0 – 100 mm	0	80 mm
GWQMN	0 – 5000 mm	1000 mm	2000 mm
GW_REVAP	0.02 – 0.2	0.02	0.2
REVAPMN	0 – 1000 mm	1 mm	0
RCHRG_DP	0 – 1 mm	0.05 mm	0
SURLAG	0 – 24 dias	4 dias	0
ESCO	0 – 1	0.95	0.3
EPCO	0 – 1	1	1
CN	0 – 100%	100% do CN obtido	100% do CN obtido
SHALLST	0 – 5000mm	1000 mm	0
DEEPST	0 – 10000mm	1000 mm	0
GW_DELAY	0 – 500 dia	10 dias	3 dia
ALPHA_BF	0 – 1 dia	0.048 dia	0.048 dia

Simulação da variação climática

A mudança climática influenciada pelo homem tem dois fatores, a saber: mudanças nos padrões de chuva e aumento na evapotranspiração, ambos causados pelo aumento das temperaturas globais (Assis et al., 2015; Pereira et al., 2017; Flato et al., 2017). As mudanças que ocorrem nas condições de chuva são incertas se estão mudando ou mudando com as mudanças climáticas. Nesse sentido, os sinais de anormalidade não são definitivos, pois podem ser positivos ou negativos. Por esta razão, decidiu-se analisar o que acontece com as mudanças na precipitação. Outro aspecto da análise é o aumento da evaporação.

Estudos relacionados às mudanças climáticas apontam o aumento das temperaturas como a principal causa do aumento da evapotranspiração. No entanto, para este trabalho, a temperatura não foi considerada devido à falta de estudos para quantificar seu aumento em escala regional ou local. As simulações são realizadas com uma variação direta admitindo faixas de variação de precipitação e evapotranspiração. Para uma avaliação do comportamento da evapotranspiração, o aumento é efetuado diretamente nos valores da evapotranspiração potencial (PET).

O intervalo de variação da precipitação foi de -10 a +10 %, com simulações efetuadas considerando um possível aumento e/ou diminuição no regime pluviométrico da seguinte forma: -10%, -7, -5, -3, -2, 0, +2, +3, +5, +7, +10%; em uma escala que fosse possível analisar condições extremas de anos úmidos e secos. Tais valores visam refletir o comportamento dos parâmetros analisados, quando submetidos a situações extremas de precipitação. Para tanto, eleva-se o valor da evapotranspiração potencial (PET) em 0.1; 0.3 e 0.5 mm, que são valores que permitem visualizar bem esse comportamento.

Resultados e discussão

As simulações realizadas após a parametrização mostram que o modelo SWAT reproduz de forma consistente a relação entre a precipitação e a lâmina escoada (Tabela 3). Considerando o mapa de uso e ocupação do solo de 1990 para a realização das simulações de referência ou padrão, é possível verificar que a maioria dos escoamentos estavam dentro na faixa entre 5 e 10% em nível anual, bem como a média anual do período como um todo. A Figura 4 demonstra a relação entre o total precipitado e a lâmina escoada, utilizando para tanto o mapa de uso e ocupação do solo de 1990. Nota-se nesta figura que, para alguns anos, o valor de precipitação ultrapassou os 600 mm.

De acordo com a série pluviométrica utilizada para as simulações, dentre os 22 anos de análise, 8 apresentaram totais anuais precipitados abaixo da média história, para a região do Cariri paraibano, que é de 500 mm. Por outro lado, 7 anos apresentaram totais anuais precipitados em torno da média e outros 7 anos totais precipitados anuais acima da média, e foram considerados assim como anos úmidos.

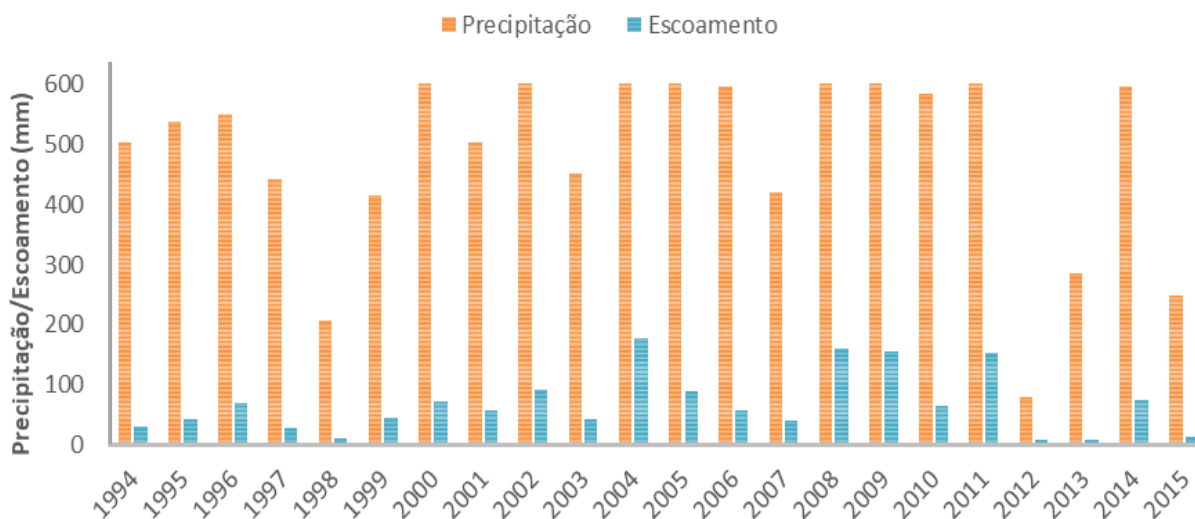


Figura 4. Relação entre o total precipitado e a lâmina escoada.

De acordo com a série pluviométrica utilizada para as simulações, dentre os 22 anos de análise, 8 apresentaram totais anuais precipitados abaixo da média histórica, para a região do Cariri paraibano, que é de 500 mm. Por outro lado, 7 anos apresentaram totais anuais precipitados em torno da média e outros 7 anos totais precipitados anuais acima da média, e foram considerados assim como anos úmidos.

A Tabela 4 expõe os valores anuais de escoamento e produção de sedimentos para todo o período de estudo, resultante das simulações com os três mapas. Os anos de 2000 a 2011, em sua maioria, registra valores de precipitação acima da média histórica da região. Grandes volumes de chuva, em conjunto com áreas sem cobertura vegetal, resultam em uma maior lâmina escoada, condição essa registrada com os mapas de 1990 e 2002. Já o mapa de 2013, por apresentar o solo bem mais protegido, apresenta valores de lâmina escoada inferior aos demais anos.

Quanto maior a umidade do solo, maior é o escoamento superficial e, conseqüentemente, mais rápida é a transferência de água precipitada. Caso contrário, se a taxa de infiltração for alta, essa transferência passa a ser subterrânea e a ocorrer mais lentamente. Dessa forma, se o modelo não simular adequadamente a umidade do solo, os valores resultantes não se aproximarão dos valores observados, o que resulta tanto em superestimação quanto em subestimação dos resultados (Marmontel *et al.*, 2019).

Quanto maior a umidade do solo, maior é o escoamento superficial e, conseqüentemente, mais rápida é a transferência de água precipitada. Caso contrário, se a taxa de infiltração for alta, essa

transferência passa a ser subterrânea e a ocorrer mais lentamente. Dessa forma, se o modelo não simular adequadamente a umidade do solo, os valores resultantes não se aproximarão dos valores observados, o que resulta tanto em superestimação quanto em subestimação dos resultados (Marmontel *et al.*, 2019).

Tabela 4. Valores de escoamento e sedimento para os diferentes mapas de uso do solo.

Ano	P (mm)	Mapa de 1990		Mapa de 2002		Mapa de 2013	
		E (mm)	S (t/ha)	E (mm)	S (t/ha)	E (mm)	S (t/ha)
1994	502.90	29.36	1.59	28.28	1.63	19.29	0.7
1995	538.03	43.25	2.64	44.81	2.89	25.37	1.13
1996	549.99	69.38	3.37	67.6	3.35	51.99	1.84
1997	442.99	27.69	1.35	28.38	1.54	17.31	0.66
1998	206.45	10.77	0.56	9.26	0.53	6.48	0.25
1999	414.23	44.57	2.83	46.25	3.11	31.02	1.86
2000	757.08	72.35	4.08	67.69	3.97	49.41	2.13
2001	502.84	56.48	3.1	54.99	3.22	37.35	1.51
2002	664.86	91.26	4.81	86.75	4.77	68.27	2.76
2003	451.86	42.39	2.8	38.71	2.84	26.37	1.34
2004	810.2	176.28	8.03	178.2	8.59	144.95	5.23
2005	664.84	89.39	4.31	90.62	4.68	61.56	2.38
2006	595.84	57.87	3.76	66.51	5.16	35.8	1.63
2007	420.04	40.68	1.96	36.57	1.97	30.22	1.26
2008	826.97	161.04	7.59	162.97	8.63	128.88	4.62
2009	969.35	154.51	7.38	153.99	7.92	115.94	3.79
2010	585.01	64.84	3.12	67.06	3.39	43.21	1.42
2011	886.81	152.65	7.25	157.72	8.24	115.78	4.49
2012	79.41	8.43	0.78	11.85	1.23	5.85	0.47
2013	284.78	8.77	0.36	9.31	0.46	5.05	0.14
2014	595.97	74.27	4.97	72	5.09	53.25	2.18
2015	248.83	12.14	0.68	15.49	1.01	7.12	0.35

P = precipitação; S = Sedimentos; E = Escoamento Superficial.

Foi utilizada uma parametrização das 13 variáveis mais sensíveis da área de estudo. Outros parâmetros são baseados em valores fornecidos pelo próprio modelo (padrão). Quanto mais sensíveis forem os parâmetros, mais relevante será sua inserção no modelo, devendo-se ter o cuidado de ajustar seus valores na fase inicial quando possível. Parâmetro "Número de Curvas" vs. Condição de Umidade II (CN2), Coeficiente de Compensação de Evaporação do Solo (ESCO), Armazenamento Máximo de Água do Dossel (CANMX), Profundidade do Aquífero Raso Responsável pelo Retorno (GWQMN), Constante de Decaimento da Vazão Base (ALPHA_BF), o coeficiente de controle de fluxo de água entre zonas

saturadas e não saturadas (GW_REVAP), e o limite de água para infiltração em aquíferos rasos (REVAPMN) são considerados os dez mais sensíveis à bacia hidrográfica do rio Sucuru.

Assim, como observado por Daggupati *et al.* (2015), nem todos os parâmetros considerados importantes na análise de sensibilidade precisarão ser ajustados. Devem ser avaliados segundo a experiência do modelador ou de resultados da literatura. A Figura 5 demonstra os resultados das simulações para os anos de 1995, 2001 e 2008. Na análise do escoamento superficial em diferentes anos, pode-se notar que, seja em anos secos, úmidos ou moderados, o aumento dos parâmetros CANMX leva à diminuição da profundidade de drenagem, esse comportamento também é observado na análise das alterações do CANMX em escoamento médio anual.

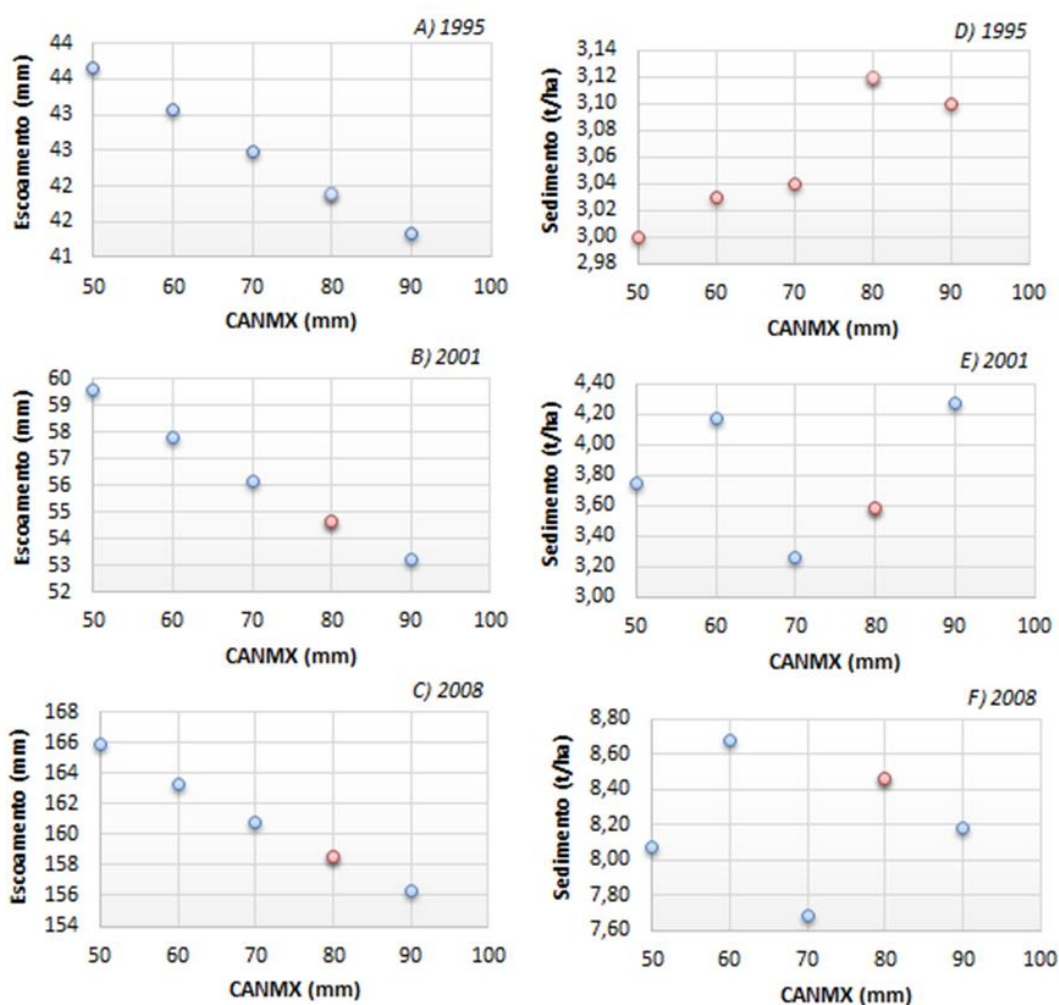


Figura 5. Variação do CANMX em relação ao comportamento da precipitação em anos de chuva média na bacia – (A e D) 1995; abaixo da média – (B e E) 2001) e acima da média - (C e F) 2008 para o escoamento superficial e produção de sedimentos.

Mudanças na produção de sedimentos em função do CANMX nos anos de análise acima mencionados. Cabe destacar que a produção de sedimentos é fortemente influenciada pelas chuvas, pois apresenta comportamento não linear, ao contrário do que ocorre com o escoamento superficial, que é quase linear independentemente do ano. Esse padrão já é esperado devido à relação não linear entre escoamento superficial e erosão do solo. No entanto, na análise média anual, embora não linear, o comportamento segue a mesma tendência para diferentes variações de CANMX.

De acordo com a Tabela 3, estudo realizado em bacia hidrográfica do Nordeste do Brasil, mostraram que os parâmetros mais sensíveis à parametrização também foram identificados e utilizados para calibração. Portanto, analisando esses estudos, determinou-se que os parâmetros mais sensíveis à Bacia do Rio Sucuru correspondem aos parâmetros determinados por Andrade *et al.*, (2017); Medeiros *et al.*, (2018); Silva *et al.*, (2018), Carvalho Neto (2018) e Paz *et al.*, (2018). Vale ressaltar ainda que os parâmetros relacionados às águas subterrâneas foram recorrentes, na maior parte dos trabalhos, assim como o CN2.

O impacto das mudanças climáticas na variação da precipitação, acima ou abaixo das observações da série histórica, reflete a produção de escoamento e erosão do solo. No entanto, parece que para a mesma porcentagem de mudança de precipitação, um aumento na precipitação resulta em um aumento muito maior no escoamento do que uma diminuição na mesma porcentagem de precipitação.

O efeito da variabilidade da precipitação foi simulado para o período de 1994 a 2015, utilizando apenas o mapa de 2013, para fins comparativos dos efeitos dessas mudanças. A Figura 6 mostra a variação média anual do escoamento e a produção média anual de sedimentos, em relação à variação da precipitação entre -10% e +10%.

A produção de sedimentos reflete os efeitos das águas pluviais e do escoamento. Portanto, à medida que a precipitação aumenta ou diminui, a produção de sedimentos aumentará ou diminuirá, respectivamente. Pode-se observar que à medida que os valores de precipitação aumentam ou diminuem, os valores de escoamento e a produção de sedimentos também aumentam ou diminuem. A precipitação aumenta em 10% e o escoamento aumenta em cerca de 30%. No entanto, com uma diminuição de 10% na precipitação, o escoamento diminuiu em 25%. No caso da produção de sedimentos, um aumento de 10% na precipitação resulta em um aumento de quase 35% nos sedimentos, enquanto uma diminuição de 10% na precipitação resulta em uma redução de 25% na produção de sedimentos. Com base em evidências empíricas, pode-se observar que aumentos ou diminuições nos valores de precipitação também aumentam ou diminuem os valores de escoamento e produção de sedimentos (Nunes *et al.*, 2018a; Nunes *et al.*, 2018b; Nunes *et al.*, 2019).

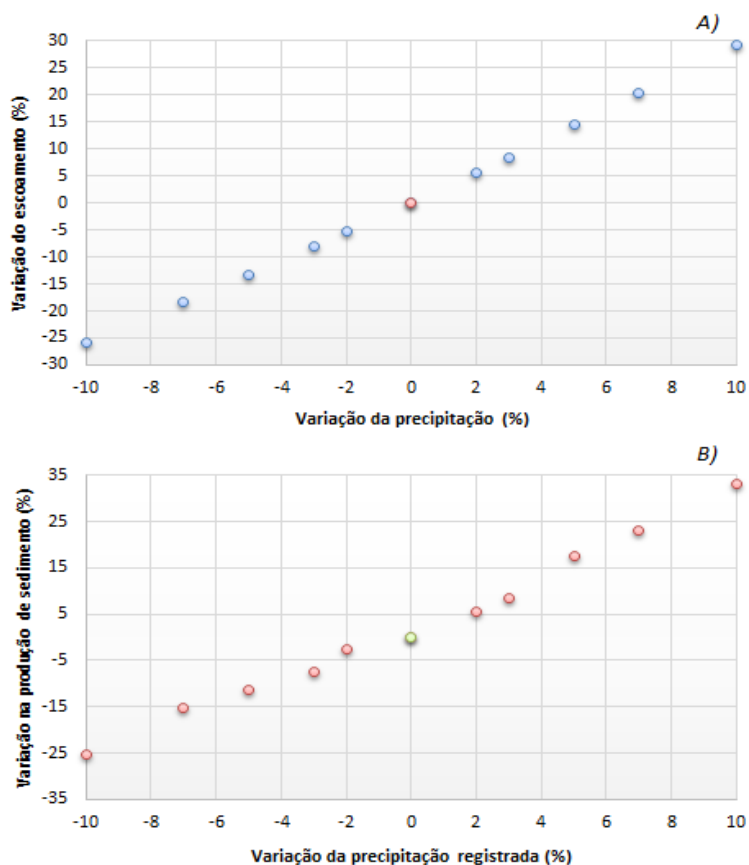


Figura 6. Porcentagem de precipitação registrada e porcentagem de lâmina escoada (A) e Porcentagem de precipitação registrada e porcentagem de produção de sedimento (B).

Assim como observado por Nunes et al (2018), comparado as simulações usando a série de precipitação utilizando -10% a +10% dos valores da série observada, vale a pena notar que enquanto a série observada (padrão) resultou em uma simulação de escoamento de 49,1 mm, um aumento de 10% de precipitação rendeu um Escoamento de 63,5 mm (aumento de 29,32%). Por outro lado, uma redução de 10% na precipitação produziria 6,47 mm de escoamento (redução de 25,72%). Ou seja, a variação na drenagem da lâmina é de +/-25%. Em termos de rendimento de sedimentos, uma tendência semelhante foi observada para a profundidade de drenagem, onde, para a simulação padrão, obteve-se um rendimento de sedimento de 1.915 t/ha. Um aumento de 10% resultou em um aumento na produção de sedimentos de 2.546 t/ha (aumento de 32,95%). Uma redução de 10% na precipitação reduz a produção de sedimentos para 1.432 t/ha (redução de 25,32%).

Conclusões

O modelo SWAT é uma excelente ferramenta por si só, não apenas para modelagem de escoamento superficial em bacias hidrográficas, mas também para avaliações hidrossedimentares quantitativas e comparativas. Para a Bacia do Rio Sucuru, a parametrização pode ser realizada satisfatoriamente mesmo sem dados de vazão para calibrar o modelo, o que demonstra a versatilidade do modelo.

A proposição metodológica utilizando o modelo SWAT demonstra a aplicabilidade do modelo como ferramenta de planejamento e gestão de políticas públicas de recursos hídricos em bacias hidrográficas do Nordeste. Os parâmetros mais sensíveis são aqueles relacionados às propriedades físicas e ao manejo do solo, como capacidade de água disponível e números de curvas.

Referências bibliográficas

- Abaker, W.E., Berninger, F., Starr, M., (2018) Changes in soil hydraulic properties, soil moisture and water balance in Acacia senegal plantations of varying age in Sudan. *Journal of Arid Environments*, 150, 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.12.004>
- Aleixo, N.C.R., Silva Neto, J.C.A., (2018) Vegetation Index and Air Temperature Behavior in Tefé-Amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(3), 864-876. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v11.3.p864-876>
- Andrade, C. W. L., Montenegro, S. G. L., Lima, J. R. S., Montenegro, A. A.A., Srinivasan, R. (2017) Análise de sensibilidade de parâmetros do modelo SWAT em uma sub-bacia da Região Nordeste, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(2), 440-453. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170027>
- Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R.D., Van Griensven, A., Van Liew, M.W., Kannan, N. and Jha, M.K. (2012) SWAT: model use, calibration and validation. *Transactionsofthe ASABE*, 55(4): p.1491-1508. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.42256>
- Aragão, R., Cruz, M. A. S., Amorim, J. R. A., Mendonça, L. C., Figueiredo, E. E., 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 Ciências do Solo*, 37(4), 1091-1102. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400026>
- Assis, J. M. O., Souza, W. M., Sobral, M. C. M. Climate analysis of the rainfall in the lower-middle stretch of the São Francisco river basin based on the rain anomaly index. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 2, 188-202.
- Bajjali, W (2018) Introduction to GIS. Em Bajjali, W., *ArcGIS for Environmental and Water Issues*. Spring, Cham, 1-10. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61158-7>
- Bressiane, D. A., Gassman, P. W., Fernandes, J. G., Garbossa, K. H. P., Srinivasan, R., Bonumá, N. B., Mediondo, E. M. (2015) "Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects". *Int J Agric & Biol Eng*, 8(3), 9-35. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150803.1765>
- Cadier, E., Freitas, B.J., Leprun, J.C. (1982) *Bacia experimental de Sumé, instalação e primeiros resultados*. Recife: SUDENE, Série Hidrologia, v. 16.
- CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (2000) *SUMÉ – FOLHA SB-24-Z-D-V*, Brasília – DF.
- Carvalho Neto, J.G. (2018) *Modelagem e valorização de serviço ambiental hidrológico na Bacia Hidrográfica do Rio Uma, Pernambuco*, Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 205 pp.

- Cunha, A.P.M.A., Alvalá, R.C.S., Kubota, P.Y., Vieira, R.M.S.P. (2015) Impacts of land use and land cover changes on the climate over Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters*, **16**(3), 219–227. <https://doi.org/10.1002/asl2.543>
- Daggupati, P., Pai, N., Douglas-Mankin, K. R., Zeckoski, R.W., Jeong, J., Parajuli, P. B., Saraswat, D., Youssef, M. A. (2015) A recommended calibration and validation strategy for hydrologic and water quality models. *Transactions of the ASABE*, **58**(6), 1705-1719. <http://dx.doi.org/10.13031/trans.58.10712>
- Dantas, J. C., Silva, M. A., Silva, R. M., Vianna, P. C. G. (2015) Simulação vazão-erosão usando o modelo SWAT para uma grande bacia da região semiárida da Paraíba. *Geociências*, **34**(4), 816-827.
- Dias, V. De. S., Luz, M. P. Da., Medeiros, G. M., Nascimento, D. T. F., Oliveira, W. N. De., Merelles, L. R. De. O. (2018) Historical Streamflow Series Analysis Applied to Furnas HPP Reservoir Watershed Using the SWAT Model. *Water*, **10**(4), 458. <https://doi.org/10.3390/w10040458>
- Douglas-Mankin, K. R., Srinivasan, R., Arnold, J. G. (2010) Soil and water assessment tool (SWAT) model: current developments and applications. *Transactions of the ASABE*, **53**(5), 1423-1431. <https://doi.org/10.13031/2013.34915>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999) *Sistema Brasileiro De Classificação De Solos*, Centro Nacional De Pesquisa De Solos, Brasília, 412 pp.
- Farias, C. W. L. De. A., Montenegro, S. M. G. L., Montenegro, A. De. A., Lima, J. R. De. S., Srinivasan, R., Jones, C. A. (2020) Modeling runoff response to land-use changes using the SWAT model in the Mundaú watershed, Brazil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*. **5**(2), 194-206. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.2.2020.2828.194-206>
- Fontes Júnior, R., Montenegro, A.A.A., (2019) Impact of Land Use Change on the Water Balance in a Representative Watershed in the Semiarid of the State of Pernambuco Using the Swat Model. *Engenharia Agrícola*, **39**, 110-117. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n1p110-117/2019>
- Fukunaga, D. C., Cecilio, R. A., Zanetti, S. S., Oliveira, L. T., Caiado, M. A. C. (2015) Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. *Catena*, **125**(2), 206-213. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.032>
- Flato, M., Muttarak, R., Pelsler, A. (2017) Women, Weather, and Woes: The Triangular Dynamics of Female-Headed Households, Economic Vulnerability, and Climate Variability in South Africa, *World Development*, **90**(17), 41–62. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.08.015>
- Khare, D., Patra D., Mondal, A., Kundu, S. (2017) Impact of landuse/land cover change on runoff in the catchment of a hydro power project. *Appl Water Sci*, **7**(2), p. 23–35. <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-015-0292-0>
- Leite, P.A.M., Souza E.S., Santos E.S., Gomes, R.J., Cantalice, J.R., Wilcox, B.P., (2018) The influence of forest regrowth on soil hydraulic properties and erosion in a semi-arid region of Brazil. *Ecohydrology*, **11**(3). <http://dx.doi.org/10.1002/eco.1910>
- Luan, X-B., Wu, P-T., Sun, S-K., Li, X-L., Wang, Y-B., Gao, X-R., (2018) Impact of Land Use Change on Hydrologic Processes in a Large Plain Irrigation District. *Water Resource Management*, **32**, 3203 – 3217. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1986-5>.
- Marengo, J.A., Alves, L.M., Alvalá, R.C.S., Cunha, A.P., Brito, S., Moraes, O.L.L. (2018) Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. **90**, 1973-1985. <https://doi.org/10.1590/0001.3765201720170206>
- Marmontel, C. V. F., Pissarra, T. C. T., Ranzini, M., Rodrigues, V. A. (2019) Aplicabilidade Do Modelo Hidrológico SWAT Na Bacia Hidrográfica Do Rio Paraíba, SP – Brasil. *Irriga*, **24**(3), 594-609. <https://doi.org/10.15809/irriga.2019v24n3p594-609>
- Meaurio, M., A. Zabaleta, J. Uriarte, R. Srinivasan And I. Antigüedad. (2015) Evaluation of SWAT models performance to simulate streamflow spatial origin. The case of a small forested watershed. *Journal of Hydrology*, **525**, 326–334. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.050>
- Meena, A., Hanief, M., Dinakaran, J., Rao, K.S., (2020) Soil moisture controls the spatiotemporal pattern of soil respiration under different land use systems in a semi-arid ecosystem of Delhi, India. *Ecological Processes*, **9**, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-0218-0>

- Medeiros, I. C., Silva, J. F. C. B.C; Silva, R. M., Santos, C. A. G. (2018) Run-off-erosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil. *International Journal of Environmental Science and Technology*. **16**, 3035–3048. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-018-1940-3>
- Ministério da Agricultura (1972) *Levantamento Exploratório –Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba*, Convênio de mapeamento de solos MA/ EPE-SUDENE, Rio de Janeiro, 670 pp.
- Mirzaei, M., Huang, Y. F., El-Shafie, A., Shatirah, A. (2015) Application of the generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE) approach for assessing uncertainty in hydrological models: A review. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, **29**, 1265–1273. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-014-1000-6>
- 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, Texas, 494 pp.
- Nunes, F.M.S (2018) *Avaliação hidrossedimentologica de uma bacia sem dados de vazão utilizando o modelo SWAT*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 188 p.
- Nunes, F.M.S., Srinivasan, V.S.; Aragão, R. (2018) Avaliação da Influência do uso e ocupação do Solo Sobre o Escoamento Superficial e a Erosão do Solo numa Bacia Semiárida. *Xiv Simpósio De Recursos Hídricos Do Nordeste*. Maceió, A.L.
- Nunes, F.M.S., Srinivasan, V.S., Aragão, R. (2019). Avaliação da Influência da Variabilidade da Precipitação no Rendimento de uma bacia Semiárida. In anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ISSN 2318-0358), Foz do Iguaçu, PR.
- Paz, Y. M., Galvínio, J. D., Holanda, R. M., Srinivasan, R., Jones, C. A. (2018) Sensitivity analysis and calibration of the SWAT model for a basin in northeastern Brazil using observed and reanalysis climatic data. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **11**(1), 371-389.
- Pereira, D. R., Martinez, M. A., Pruski, F. F., Silva, D. D. (2016) Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil Using the SWAT model part I: calibration and validation tests. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **7**(3), 14-37. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.05.002>
- Pereira, M. L.T., Soares, M. P. A., Silva, E. A., Montenegro, A. A. A., Souza, W. M. De. (2017) Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. *Journal of Environmental Analysis and Progress*. **2**(4), 394-402. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1452.394-402>
- Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Jardim, A.M.R.F., Souza, C.A.A., Araújo Júnior, G.N., Moraes, J.E.F., Souza, L.S.B. (2020) Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semiarid region of Brazil. *Catena*, **188**, p. 104457. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104457>
- Sajikumar, N., Remya, R. S. (2015) Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *J. Environ. Manag.*, **161**, 460-468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.041>
- Ribeiro, K., Sousa-Neto, E.R., Carvalho, J.A., Lima, J.R.S., Menezes, R.S.C., Duarte-Neto, P.J., Guerra, G.S., Ometto, J.P.H.B. (2016) Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. *Science of the Total Environment*, **571**, 1048 - 1057. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.095>
- Silva, SAF. (2016). *Análise Multicritério Espacial no Gerenciamento dos Recursos Hídricos no Perímetro Irrigado de Sumé-PB*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 152 pp.
- Silva, R. M., Henrique, I. G. N., Cazé, J. F. (2018) Simulação das mudanças de uso e ocupação do solo e seus efeitos nas características hidrossedimentológicas em uma Bacia do Bioma Caatinga. *Revista de Geografia (Recife)*, **35**(1), 158-179. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.229325>
- Šípek, V., Hnilica, J., Vlček, L., Hnilicová, S., Tesař, M. (2020) Influence of vegetation type and soil properties on soil water dynamics in the Šumava Mountains (Southern Bohemia). *Journal of Hydrology*, **582**, 124285. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124285>

- Viana, J.P.S. (2019) *Impactos das Mudanças do Uso da Terra sobre o Balanço Hidrossedimentológico: Bases para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Pirapama*. Tese (doutorado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 192 pp.
- Viana, F.L (1986) *Comportamento hidrológico das pequenas bacias do Nordeste*, Dissertação, Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 166 pp.
- Williams, J.R. (1995) The EPIC model. Em: Singh, V. P. (ed), *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications, 909-1000.
- Williams, J. R. (1969) Flood Routing with Variable Travel Time or Variable Storage Coefficients. *Transactions of the ASAE*. 12, p. 100-103. <https://doi.org/10.13031/2013.38772>
- Worku, T., Khare, D., Tripathi, S. K. (2017) Modeling runoff–sediment response to land use/land cover changes using integrated GIS and SWAT model in the Beressa watershed. *Environ. Earth Sci.*, 76 (550), p. 1-14. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-017-6883-3>
- Yu, B., Liu, G., Liu, Q., Wang, X., Feng, J., Huang, C. (2018) Soil moisture variations at different topographic domains and land use types in the semi-ardi Loess Plateau, China. *Catena*, **165**, 125-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.020>