

Hydrological modeling using SWAT in the decision-making process for the conservation of river basins.

Nadja Valéria Pinheiro*, Josicléda Domiciano Galvêncio**²

*Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – UFPE. E.mail: nadvaleria@uol.com.br

**Professora Dra. Titular do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – UFPE, E.mail: josicleda@gmail.com.

1. Received 10 November; accepted 05 December

Abstract

The conservation of watersheds is a concern in all countries because of the scarcity of water for capitation and use and the anthropogenic degradation of this natural resource. Thus the objective of this study is to make a systematic review on the themes ecosystem service, hydrological modeling using the SWAT model. Emphasizing the importance of this theme in the decision-making process in the management of water resources. The research is exploratory, having as main method the literature/scientific review. The bibliographic survey used was carried out on the Scopus platform, in chronological order in the range from 2018 to 2022. The two years of the health crisis were the years of greatest scientific production. Two publications stood out for the number of citations: A review of SWAT Applications, performance and Future needs for Simulation of Hydro-Climatic Extremes and, Comparison of the SWAT and Invest models to determine hydrological Ecosystem service Spatial Patterns, Priorities and trade-offs in a Complex Basin, both published in 2020. The most prominent countries in research publications in the area of Environmental Science were China, USA, Canada, Germany, Brazil and Norway. The relevance of studies involving this theme become evident because they are tools used in the decision-making process in water management, showing up as a vast field for research in Latin America and South America, but specifically in Brazil for its continental dimension and its diversity.

Keywords: Water balance, ecosystem services, model, decision making, water management.

Modelagem hidrológica utilizando o SWAT no processo decisório para a conservação de bacias hidrográficas.

Resumo

A conservação de bacias hidrográficas é uma preocupação em todos os países por causa da escassez de água para capitação e uso e a degradação antrópica deste recurso natural, desta forma o objetivo deste estudo é fazer uma revisão sistemática sobre os temas: serviços ecossistêmicos, modelagem hidrológica utilizando o modelo SWAT. Ressaltando a importância desse tema no processo decisório na gestão dos recursos hídricos. A pesquisa é exploratória, tendo como método principal a revisão de literatura/científica. O levantamento bibliográfico utilizado foi realizado na plataforma Scopus, por ordem cronológica no intervalo de 2018 a 2022. Os dois anos da crise sanitária foram os anos de maior produção científica. Duas publicações se destacaram pelo número de citações: A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes e Comparison of the SWAT and InVEST models to determine hydrological ecosystem service spatial patterns, priorities and trade-offs in a complex basin, ambos publicados em 2020. Os países de maior destaque em publicações de pesquisa na área de Ciência Ambiental foram; China, EUA, Canada, Alemanha, Brasil e Noruega. A relevância do estudo envolvendo este tema torna-se evidente por serem instrumentos utilizados no processo de tomada de decisão na gestão hídrica, mostrando-se como um vasto campo para pesquisa na América Latina e América do Sul, mas especificamente no Brasil pela sua dimensão continental e pela sua diversidade.

Palavras-chave: Balanço hídrico, serviços ecossistêmicos, modelo, tomada de decisão, gestão da água

1 Introdução

Os ecossistemas, estudados pela Ecologia, são compreendidos como um conjunto complexo de seres vivos e características ambientais em interação, cujos processos ecológicos são responsáveis pelo funcionamento dos sistemas ambientais e pelos serviços ecossistêmicos (Santos et al, 2019). A discussão desse tema tomou forma com pesquisas sobre mudanças ambientais na plataforma Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), que envolveu mais de 1300 cientistas e foi definido o conceito e

classificação de serviços ecossistêmicos, onde o mesmo passa a ser utilizado por grande parte de interessados, incluindo cientistas, economistas, profissional, gestores de políticas públicas, gestores de terras e educadores ambientais, enfim os responsáveis pela tomada de decisão no âmbito ambiental (Brenda, F; Turner, R. K; Morling, P. 2009).

Criado pelo World Resources Institute (Washington, DC.), esse programa de pesquisas busca avaliar os ecossistemas mundiais, e segundo Daniel et al. (2012), sua criação, como uma abordagem formal,

possibilitou explicar e categorizar as múltiplas relações que ocorrem entre os ecossistemas e as sociedades. Assim são apresentados três conceitos muito utilizados de acordo com os autores acima citados, então serviços ecossistêmicos são: 1 As condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais, e as espécies que os compõem, sustentam e atendem a vida humana (Daily, 1997). 2 Os benefícios que as populações humanas retiram, direta ou indiretamente, de funções ecossistêmicas (Costanza et al., 1997).e 3 Os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas (MEA, 2005).

Para os autores Brenda, Turner e Morling, (2009), o conceito de serviços ecossistêmicos só faz sentido dentro do contexto geográfico e especificando as características dos serviços de interesse, que são categorizados como sendo serviços de provimento, serviços de regulação, serviços de suporte e serviço cultural. Os dois primeiros apresentam uma grande quantidade de estudos. O que torna o termo também muito utilizado na literatura científica interdisciplinar da ciência ambiental e a geografia.

Rennó e Soares (2022) apresenta uma definição mais voltada para a modelagem hidrológica: “Um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subterrâneo terrestre.”. Sendo assim, a modelagem hidrológica ocorre através da utilização de modelos que tem por finalidade ajudar a quantificar os processos de serviços ecossistêmicos que são tratados para resultar no Balanço Hídrico de uma bacia.

Ferramentas de modelagem são desenvolvidas para integrar muitos componentes que fazem a paisagem natural ser modificada por si mesma ou pela ação humana e os impactos da sociedade sobre a mesma (Bagstad et al., 2013). Desta forma é possível determinar a área que vai ser restaurada ou conservada.

Os modelos hidrográficos combinando vegetação, solo, água, componentes meteorológicos das paisagens e a gestão servem como uma abordagem abrangente para estimar várias variáveis que podem ser interpretados como serviços ecossistêmicos (Francesconi et al 2016). O abastecimento e a estabilidade do fluxo de água são muito significativos para gestão de recursos naturais, e também para evitar conflitos sociais gravíssimos pela água, causado pela escassez e acessibilidade reduzida da mesma, que poderiam transcender fronteiras e se transformar em guerra global (Zeitoun e Warner, 2006; Gleick, 1993)

O SWAT como modelo foi proposto como um mecanismo para ajudar a quantificar serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas (Vigerstol e Aukema, 2011). Sendo um software de acesso livre e documentação detalhada, tem como entrada os

serviços ecossistêmicos como a qualidade e quantidade de água, faz a calibragem e validação dos mesmos e na saída do processamento temos as variáveis que também são serviços ecossistêmicos como produção de sedimentos, cobertura escoamento superficial, evapotranspiração, armazenamento do aquífero superficial e o aquífero profundo, carga de fósforo e nitrato, manejo do solo, fluxo lateral, fluxo da água subterrânea, fluxo da água, rendimento da água, água do solo e percolação (Francesconi et al, 2016). Os resultados também são utilizados para o monitoramento ambiental.

Outros modelos são o Modelo Integrado Multi-escala de Serviços Ecossistêmicos (MIMES), a Inteligência Artificial para Serviços Ecossistêmicos (ARIES), a Avaliação Integrada de Serviços Ecossistêmicos e Compensações (InVest), Co\$ting Nature, VIC entre outros (Boumans et al.,2015; Mulligan, 2015; Gómez-Baggethun et al., 2014 et al., 2013b; Arnold et al., 1993 apud Francesconi, 2016).

Segundo os autores acima citados, embora essas ferramentas exijam a integração de processos ecossistêmicos e socioeconômicos através de abordagens distintas, eles encontram um ponto em comum em que eles tentam simular o efeito do desenvolvimento e da gestão da terra sobre os sistemas de capitais naturais, humanos e construídos.

Esses serviços ecossistêmicos são atualmente recomendados para serem utilizados na valoração servindo de entrada para o pagamento de serviços ambientais que por sua vez entram na formulação de ações para a gestão da água, incentivando a recuperação e/ou conservação dos recursos hídricos por meio de políticas pública em que eles tentam simular o efeito do desenvolvimento e da gestão da terra sobre os sistemas de capitais naturais, humanos e construídos.

Uma das propriedades interessantes dos ecossistemas é a sua resiliência, ou seja, a capacidade de, após um determinado distúrbio, se recuperar a uma condição próxima da original e com as mesmas funções ecossistêmicas (Stiling, 1999). Tal propriedade está condicionada pelos elementos e funções dos ecossistemas, que poderão se adaptar e, eventualmente, substituir temporariamente ou permanentemente os componentes e processos deteriorados.

Entretanto, caso o distúrbio seja muito intenso e comprometa o ecossistema a um ponto além da sua capacidade de adaptação, o processo de degradação tenderá a se perpetuar com a perda permanente dos serviços ecossistêmicos (Altmann et al, 2015).

Assim sendo, a preocupação com a conservação e recuperação do meio ambiente é de todo o planeta, essa discussão começou na década de 70 quando em 1972 o Clube de Roma publicou o relatório

intitulado “Os limites do crescimento”, no qual afirmava que, se medidas não fossem tomadas, o planeta não teria condições de suportar as pressões exercidas por cinco fatores: poluição, industrialização, população, produção de alimentos e esgotamento de recursos. Esse estudo representou um importante contraponto ao desenvolvimento sem limites preconizado à época pela maioria dos países.

Diante do apelo da sociedade científica internacional e da sociedade civil organizada, a Organização das Nações Unidas - ONU promoveu em 1972 a Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente, conhecida como Conferência de Estocolmo. Paralelamente, também a partir da década de 70, este fenômeno começa a ser estudado por economistas que apontam diversas causas econômicas para explicar a degradação dos ecossistemas, tais como os subsídios para a agricultura, às políticas de comércio de madeira e as falhas de mercado. (Stanton et al, 2015).

E essa discussão continuou em 1992 com a criação da Agenda 21, decorrente da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento - Rio 92, na cidade do Rio de Janeiro.): “foi a primeira carta de intenções para promover, em escala planetária, um novo padrão de desenvolvimento para o século XXI”, 20 anos depois, com a Rio +20 que devido a conjuntura do momento no Brasil e no mundo, a reunião apenas avaliou o progresso obtido até então e produziu o documento “O Futuro que Queremos”, que guiou as ações da comunidade internacional nos três anos seguintes dando início ao processo de consulta global que resultou na construção de um conjunto de objetivos universais de desenvolvimento sustentável para além de 2015.

A Agenda 2030 foi aprovada na Assembleia Geral da ONU em 2015. O documento “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” tem 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, combinando os objetivos do milênio criado durante a década de noventa e aprovada em 2000 com oito objetivos e os processos resultantes do Rio +20 (Plataforma Agenda 2030, 2019).

Desta forma, ressaltamos a importância da conservação e preservação dos serviços ecossistêmicos

pela sua implicação na vida de todos os habitantes da Terra. O objetivo deste estudo foi compilar os dados da literatura vigente sobre a aplicação do SWAT na modelagem hidrológica, enfocando os serviços ecossistêmicos, a fim de identificar formas em que esta ferramenta poderia ser usada para fornecer avaliações científicas que permeie a formulação de políticas auxiliando no processo decisório hídrico.

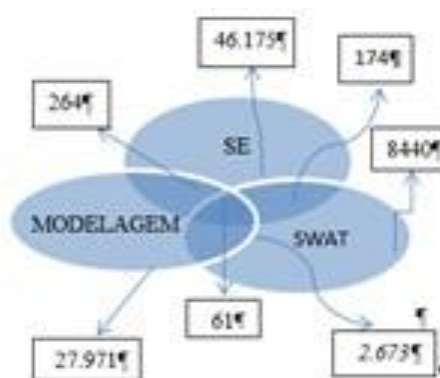
2 Material e Métodos

Para dar maior consistência ao estudo fizemos uma pesquisa de natureza exploratória e descritiva, tendo como método principal a revisão de literatura/científica, onde foi obtida uma grande quantidade de periódicos como mostra o Gráfico 1.

O levantamento bibliográfico utilizado neste estudo foi realizado na plataforma Scopus por ser multidisciplinar internacional e por ter um grande volume de artigos indexados que foram listados por ordem cronológica no intervalo de 2018 a 2022, considerando as palavras-chave utilizadas nas buscas. Os termos de busca estão em inglês por ser o idioma internacional mais utilizado nas publicações científicas e foram colocados entre aspas para filtrar estudos contendo apenas o objeto de análise deste artigo, então foram utilizados, os termos “ecosystem services”, “hydrological modeling” e “SWAT”, onde obtivemos 28 publicações dentro do intervalo por ano de publicação acima citado. Embora, de acordo com Tan M.L et al (2020) “Com quase 4000 publicações, a Soil and Water Assessment Tool (SWAT) é claramente um dos modelos eco hidrológicos mais utilizados em todo o mundo”, neste estudo focamos para aplicações mais específicas ao objetivo que é a utilização de serviços ecossistêmicos em modelagem hidrológica com o uso do SWAT.

Quanto aos critérios para seleção dos artigos desta pesquisa foi levado em consideração a interseção dos termos apresentados e o intervalo temporal de cinco anos, então obtivemos 28 periódicos para esta revisão. A análise dos resultados foi baseada nas informações das publicações que continham temáticas associadas ao objeto de estudo ou correlatas, com o propósito de destacar a importância desse tema para a pesquisa. Como pode ser visto no Gráfico 1. a seguir.

Gráfico 1. Periódicos Scopus



Fonte: Autora, 2022

3. Soil and Water Assessment Tool – SWAT.

SWAT é um modelo determinístico de modelagem de bacias hidrográficas que pode auxiliar na quantificação dos serviços ecossistêmicos, possibilitando à simulação de diferentes cenários ou analisando a produção da combinação entre estes, servindo de apoio à tomada de decisão.

Foi desenvolvido no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) pelo Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS) para simular fluxo, sedimentos, nutrientes e escoamento de pesticidas de bacias hidrográficas agrícolas (Arnold et al., 1998). Inicialmente o SWAT possuía somente a base hidrológica, mas ao longo do tempo se transformou em um modelo/sistema ambiental. Segundo Francesconi *et al.*, (2016) a modelagem hidrológica integra a vegetação, solo, água, gestão e componentes meteorológicos e paisagens. Tem sido utilizado em diferentes escalas espaciais e temporais desde pequenas bacias até bacias hidrográficas continentais (Radcliffe *et al.*, 2015).

Por ter uma política de acesso aberto e documentação bem detalhada, o SWAT tem ampla aceitação e uso em vários países (Krysanova e Write, 2015), sendo uma tendência mundial. Além da modelagem hidrológica o SWAT também inclui, em seus estudos, de acordo com Francesconi *et al.* (2016), “a análise do transporte de nutrientes e sedimentos relacionados as melhores práticas de manejo, áreas alagadas, irrigação, cultivo de bioenergia, mudança climática, uso da terra e outras mudanças”. Tendo assim uma ampla aplicação, é um modelo complexo apresentando possibilidades de uso em várias situações ao redor do mundo na questão da gestão não só da água, mas na gestão de ecossistemas de um modo geral.

O SWAT como um instrumento de modelagem tem como entrada as variáveis dos serviços ecossistêmicos, para descrever as propriedades do solo, topografia, uso da terra, gestão da terra e clima. Isso então simula processos de bacias hidrográficas, primeiro dividindo a bacia em sub-bacias hidrográficas, e depois dividindo as sub-bacias em combinações únicas de uso da terra, solo e declives chamadas unidades de respostas hidrológicas – HRUs (Logsdon, Chaubey, 2013), então é feita uma calibração e validação dos mesmos onde são mensuradas e criados os parâmetros que são transformados em variáveis de saída do sistema que servem para determinar o potencial da produção dos serviços ecossistêmicos, mas adiante são ajustadas, estas variáveis, para simular potenciais cenários para prever condições futuras sobre questões dos referidos serviços.

Os seguintes índices estatísticos são usados para as fases de calibração e validação: o Nash – Sutcliffe, coeficiente de eficiência (NS); o logaritmo NS (NSlog); o percentual de viés (PBIAS) e a razão entre o erro quadrático médio e o desvio padrão dos dados medidos (RSR). Todas essas técnicas são usadas porque testando apenas algumas variáveis, as mesmas podem levar a resultados enganosos e inadequados na seleção do modelo, segundo Tedeschi (2006) apud Fukunaga, D.C., et al. (2015)

Segundo Francisconi et al (2016) as saídas disponíveis atualmente no SWAT são limitadas a serviços ecossistêmicos relacionados a água, dando exatidão e personalizando o modelo que pode ser padronizado pela estimativa e identificação de processos de degradação do ecossistema que ocorrem ao redor do mundo. Ainda conforme os referidos autores, neste caso o SWAT pode servir como

ferramenta de monitoramento, podendo ser direcionadas ao preenchimento de lacunas de conhecimento neste milênio. Após a simulação são apresentados os resultados em diferentes escalas espaciais e temporais sobre a bacia hidrográfica.

Para melhor compreensão desses serviços ecossistêmicos que dão suporte a modelagem hidrográfica, temos as seguintes definições para a classificação dos mesmos, ainda segundo Brenda (2009) e Francesconi (2016),

Serviços de provisão: são responsáveis pela capacidade dos ecossistemas de prover algo. São: os mesmos, disponibilidade da água para irrigação na agricultura, uso doméstico, produção de energia através de barragens e centrais hidroelétricas e também para o serviço de lazer e turismo, além de produção de alimentos, biocombustíveis e habitat para a vida selvagem. Exemplos: alimentos, matéria-prima, recursos genéticos, água, etc.. As saídas produzidas pelo SWAT são: uso do fluxo do curso d'água, produção de sedimentos, biomassa total, produção agrícola, entre outros.

Serviços de regulação: São benefícios resultantes de processos naturais reguladores de condições ambientais, exemplos: regulação do clima, controle de sedimentos, enchentes/inundação, regulação de fluxo para a bacia, erosão e abastecimento d'água e lavoura, purificação do ar, qualidade e quantidade de água, nutrientes, cobertura vegetal e uso do solo.

O SWAT pode ser utilizado para estimar depósitos de sedimentos em reservatórios causados pela erosão do solo em bacias hidrográficas que provocam à redução da vida útil de barragens de energia elétrica que podem afetar ainda atividades como a pesca, aumentando principalmente o risco de inundação (FRANCESCONI, 2016). Para evitar isso se busca a conservação e conversão do uso do solo que possam contribuir para a captação de sedimentos no escoamento superficial.

Então através da simulação e avaliação de cenários de uso do solo pode-se chegar a diferentes componentes de paisagens (florestas, pastagens, terras agrícolas, etc.) que são configurados em diferentes arranjos, usuários e gestores, podendo apoiar ações que conduzam a decisões mais claras e precisas reduzindo externalidades negativas. (FRANCESCONI, 2016). Outras aplicações seriam: sequestro de carbono, inundações, mensurar a evapotranspiração e a qualidade da água principalmente.

Serviços de suporte: a classificação do MEA (2005) coloca o serviço de suporte como suporte para as outras categorias de serviços. São os seguintes serviços: formação do solo, ciclo de nutrientes e da produção de fotossíntese, sendo assim muito difícil de modelar (Francesconi, 2016). Pode ser indiretamente quantificada no SWAT pela mensuração da mudança ou perda de habitat.

Serviço de cultura: são uma série de atividades recreativas ao ar livre como caminhadas, camping, natação ou serviços estéticos como observação de paisagens rurais ou litorâneas e serviços espirituais como: locais de cerimônias sagradas. É também uma limitação do SWAT pelo caráter subjetivo, existindo opções melhores para avaliar este serviço.

Resultados e discussão

Os termos “ecosystem services” e “hydrological modeling” são muito amplos, e praticamente são intrinsecamente relacionados em se tratando de estudos na área da Ciência Ambiental e áreas afins. Como os resultados eram abrangentes demais para o objetivo deste estudo foi acrescentado o termo “SWAT” na pesquisa bibliográfica para contemplar o propósito do mesmo. Então, direcionando os serviços ecossistêmicos a modelagem hidrológica com a aplicação do SWAT tem-se uma amostra do universo anterior orientada para o foco desta revisão. Como resultado foi obtido vinte e oito artigos, de acordo com o Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Temáticas correlatas com os termos “ecosystem services”, “hydrological modeling” e “SWAT”.

AUTORES/ CITAÇÕES	TÍTULO	ANO	PERIÓDICO
1. Khorn,N., Ismail,M.H., Nurhidayu, S., Kamarudin, N., Sulaiman, M.S. Cit 0	Land use/land cover changes and its impact on runoff using SWAT model in the upper Prek Thnot watershed in Cambodia	2022	Environmental Earth Sciences 81(19),466
2.			Water Research

Zhu, Z., Wang, K., Lei, M., (...), Li, S., Liang, J. Cit 0	Identification of priority areas for water ecosystem services by a techno-economic, social and climate change modeling framework	2022	221,118766
3 Gujree, I., Zhang, F., Meraj, G., (...), Muslim, M., Arshad, A. Cit 0	Soil and Water Assessment Tool for Simulating the Sediment and Water Yield of Alpine Catchments: A Brief Review (Book Chapter)	2022	Geospatial Modeling for Environmental Management: Case Studies from South Asia pp. 37-58 Science of the Total Environment 797,149095
4. Pacetti, T., Castelli, G., Schröder, B., Bresci, E., Caporali, E. CIT. 3	Water Ecosystem Services Footprint of agricultural production in Central Italy	2021	Frontiers in Earth Science 9,677191
5. Feng, C., Yang, L., Han, L. Cit 2	Impacts of Climate Change on Blue and Green Water Resources in the Xiangjiang River Basin of the Yangtze River, China	2021	Hydrology Research 52(5), pp. 1159-1172
6. Wu, Y., Xu, Y., Yin, G., (...), Wang, X., Hu, Q. Cit 4	A collaborated framework to improve hydrologic ecosystem services management with sparse data in a semi-arid basin	2021	Water Supply 21(6), pp. 2974-2988
7. Gkiatas, G., Kasapidis, I., Koutalakis, P., (...), Germantzidis, I., Zaimes, G.N. Cit 4	Enhancing urban and sub-urban riparian areas through ecosystem services and ecotourism activities	2021	
8. Veettil, A.V., Green, T.R., Kipka, H., (...), Mankin, K., Clary, J. CIT. 4	Fully distributed versus semi-distributed process simulation of a highly managed watershed with mixed land use and irrigation return flow	2021	Environmental Modelling and Software 140,105000
9. Frizzle, C., Fournier, R.A., Trudel, M., Luther, J.E. Cit. 6	Using the Soil and Water Assessment Tool to develop a LiDAR-based index of the erosion regulation ecosystem service	2021	Journal of Hydrology 595,126009
10 Gallay, I., Olah, B., Gallayová, Z., Lepeška, T.	Monetary valuation of flood protection ecosystem service based on hydrological modelling and	2021	Water (Switzerland) 13(2),198

CIT.2	avoided damage costs. An example from the Čierny hron river basin, Slovakia		
-------	---	--	--

11. Aznarez, C., Jimeno-Sáez, P., López-Ballesteros, A., Pacheco, J.P., Senent-Aparicio, J. CIT. 7	Analysing the impact of climate change on hydrological ecosystem services in laguna del sauce (Uruguay) using the swat model and remote sensing data	2021	Remote Sensing 13(10),2014
12. Worku, G., Teferi, E., Bantider, A., Dile, Y.T. Cit 12	Modelling hydrological processes under climate change scenarios in the Jemma sub-basin of upper Blue Nile Basin, Ethiopia	2021	Climate Risk Management 31,100272
13. Lopes, T.R., Folegatti, M.V., Duarte, S.N., (...), Oliveira, R.K., Santos, O.N.A. CIT. 3	Hydrological modeling for the Piracicaba River basin to support water management and ecosystem services	2020	Journal of South American Earth Sciences 103,102752
14. Togbévi, Q.F., Bossa, A.Y., Yira, Y., (...), Sintondji, L.O., van der Ploeg, M. CIT. 1	A multi-model approach for analysing water balance and water-related ecosystem services in the Ouriyori catchment (Benin)	2020	Hydrological Sciences Journal 65(14), pp. 2453-2465
15. Schmidt, A., Fournier, R.A., Luther, J.E., Trudel, M. CIT. 5	Development of a mapping framework for ecosystem services: The case of sediment control supply at a watershed scale in Newfoundland, Canada.	2020	Ecological Indicators 117,106518

16. Hamel, P., Valencia, J., Schmitt, R., (...), Francesconi, W., Guswa, A.J. CIT. 12	Development of a mapping framework for ecosystem services: The case of sediment control supply at a watershed scale in Newfoundland, Canada.	2020	Journal of Environmental Management 270,110792
---	--	------	---

--	--	--	--

17. Tan, M.L., Gassman, P.W., Yang, X., Haywood, J. CIT. 72	A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes	2020	Advances in Water Resources 143,103662
18. Cong, W., Sun, X., Guo, H., Shan, R. Cit 71	Comparison of the SWAT and InVEST models to determine hydrological ecosystem service spatial patterns, priorities and trade- offs in a complex basin	2020	Ecological Indicators 112,106089
19 Qi, J., Du, X., Zhang, X., (...), Sadeghi, A.M., McCarty, G.W. CIT. 7	Modeling riverine dissolved and particulate organic carbon fluxes from two small watersheds in the northeastern United States	2020	Environmental Modelling and Software 124,104601

12 Kim, I., Arnhold, S., Ahn, S., (...), Park, S.J., Koellner, T. CIT. 35	Land use change and ecosystem services in mountainous watersheds: Predicting the consequences of environmental policies with cellular automata and hydrological modeling.	2019	Environmental Modelling and Software 122,103982
21. Arhonditsis, G.B., Neumann, A., Shimoda, Y., (...), Ni, F., Cheng, V. Cit. 14	Castles built on sand or predictive limnology in action? Part B: Designing the next monitoring-modelling- assessment cycle of adaptive management in Lake Erie	2019	Ecological Informatics 53,100969
22. Tang, C., Li, J., Zhou, Z., (...), Zhang, C., Ran, H. Cit 8	How to optimize ecosystem services based on a Bayesian model: A case study of Jinghe River Basin	2019	Sustainability (Switzerland) 11(15),4149

23. Lehmann, A., Timoner, P., Fasel, M., (...), Ashraf Vaghefi, S., Abbaspour, K.C. CIT. 5	SWATCH21: A project for linking eco-hydrologic processes and services to aquatic biodiversity at river and catchment levels	2019	Ecohydrology and Hydrobiology 19(2), pp. 182-197
24. Taffarello, D., Srinivasan, R., Samproгна Mohor, G., (...), Do Carmo Calijuri, M., Mendiando, E.M. CIT.16	Modeling freshwater quality scenarios with ecosystem-based adaptation in the headwaters of the Cantareira system, Brazil	2018	Hydrology and Earth System Sciences 22(9), pp. 4699-4723
25. Ashagre, B.B., Platts, P.J., Njana, M., (...), Turner, R.K., Schaafsma, M. Cit 14	Integrated modelling for economic valuation of the role of forests and woodlands in drinking water provision to two African cities.	2018	Ecosystem Services 32, pp. 50-61
26 Näschen, K., Diekkrüger, B., Leemhuis, C., (...), Thonfeld, F., van der Linden, R. CIT. 33	Hydrological modeling in data-scarce catchments: The Kilombero floodplain in Tanzania	2018	Water (Switzerland) 10(5),599
27 Fan, M., Shibata, H., Chen, L. CIT.8	Assessing high impacts of climate change: spatial characteristics and relationships of hydrological ecosystem services in northern Japan (Teshio River watershed)	2018	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 23(4), pp. 525-552
28. Ha, L.T., Bastiaanssen, W.G.M., van Griensven, A., van Dijk, A.I.J.M., Senay, G.B. CIT. 39	Calibration of spatially distributed hydrological processes and model parameters in SWAT using remote sensing data and an auto-calibration procedure: A case study in a Vietnamese river basin	2018	Water (Switzerland) 10(2),212

Fonte: Autora adaptado da Base de dados SCOPUS (28.12.2022).

Estes artigos foram publicados em periódicos especializados na área de Ciências Ambientais, principalmente no: Environmental Science com 24 artigos. Houve apenas dois artigos de revisão, um capítulo de livro e os demais 25 artigos são resultados de pesquisa e casos utilizando o SWAT em estudos de uso da terra, sedimentação, mudança climática, gestão, além da modelagem hidrológica.

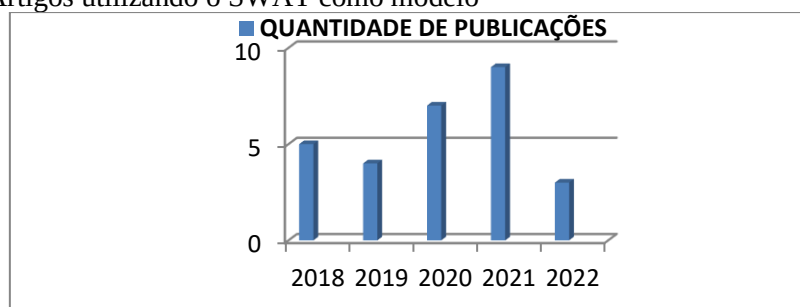
Há dois artigos que comparam o SWAT com outros softwares como o artigo comparando o SWAT com o InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem services And Tradeoffs), para determinar padrões espaciais, prioridades e trade-offs de serviços ecossistêmicos hidrológicos em uma bacia complexa. E outro artigo comparando, além dos acima citados, com o VIC (variable infiltration capacity) que é usado para estudos de inundações.

Todos estes softwares são programados em Inteligência Artificial, mas com finalidades diferentes,

o primeiro é voltado para a modelagem hidrológica o segundo e terceiro, para valoração de serviços ecossistêmicos. Mas todos se complementam tendo em comum os serviços ecossistêmicos.

O ano de 2021 teve o maior número de artigos publicados (nove) e 2022 teve o menor número de publicações com três artigos apenas. Houve uma ligeira queda em 2019 com quatro publicações, voltando a crescer em 2020 com sete artigos publicados em plena pandemia de COVID- 19. Podemos notar que os dois anos da crise sanitária foram os anos de maior produção científica com os três temas junto. Nos anos antes e pós-pandemia a produção não foi tão expressiva, principalmente em 2022: o pós-pandemia. O ano de 2018 houve apenas 5 artigos publicados como pode ser visto no gráfico 2 com o número de publicações em cada ano.

Grafico 2 – Artigos utilizando o SWAT como modelo



Fonte: adaptado de SCOPUS (28.12.2022)

Com relação à **autoria** nenhum autor se destacou em termos de **número de publicação** já que teve três autores com duas publicações cada (Fournier, R.A. Luther, J.E. Trudel, M.) e os demais com apenas um único artigo publicado nesse intervalo temporal.

Mas não menos importantes, destacamos os seguintes autores pelo numero de citações de seus artigos o que denota a importância dos mesmos: Tan, M.L., Gassman, P.W., Yang, X., Haywood, J. cuja obra A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes (2020) com 72 **citações** foi a obra mais citada nesta amostra, sendo também artigo de revisão sobre a aplicação do SWAT na simulação de extremos hidro-climáticos. Acompanhado pelos seguintes autores: Cong, W., Sun, X., Guo, H., Shan, R. (2020) com 71 **citações** com a obra: Comparison of the SWAT and InVEST models to determine hydrological ecosystem service spatial patterns, priorities and trade-offs in a complex basin. Essa comparação trata de dois

softwares complexos desenvolvidos em Inteligência Artificial e ambos tratam da utilização de serviços ecossistêmicos, mas com utilizações diferente sendo um complementado o outro e ambos estão sendo procurados por pesquisadores na área ambiental e afins.

Ainda se destacam os autores Ha, L.T., Bastiaanssen, W.G.M. (2018) com 39 citações; Kim, I., Arnhold, S., Ahn, S., (...), Park, S.J., (2019), com 35 citações; Näschen, K com 33 citações, Taffarello, D et al (2018) com 16 citações, sendo este artigo brasileiro e Aznarez C., com sete citações,

O artigo dos autores Taffarello, D et al (2018). trata da Modelagem de cenários de qualidade de água doce com adaptação ecossistêmica nas cabeceiras do sistema Cantareira, Brasil. Este artigo compara cenários de qualidade de água doce sob diferentes mudanças de uso e cobertura do solo (LULC), uma delas relacionada à adaptação ecossistêmica (Eba), em cabeceiras brasileiras.

Usando o modelo SWAT, nitrato, fósforo total (TP) e sedimentos foram modelados em bacias hidrográficas que variam de 7,2 a 1037km². Foram projetados três cenários LULC: 1. : cenário passado recente (S1), com histórico LULC em 1990; 2. Cenário atual de uso da terra (S2), com LULC para o período 2010-2015 com validação de campo; e 3. Cenário futuro de uso da terra com PES (S2+Eba).

Ainda segundo os autores para a avaliação dos resultados foi utilizado o índice de serviços hidrológicos (HSI) como métrica e relacionando com a pegada hídrica cinzenta (greyWF) e o rendimento hídrico. O resultado foi que se por um lado as simulações da qualidade da água permitiram a regionalização da greyWF em escalas espaciais em cenários LULC, de acordo com o limiar crítico, a HSI identificou áreas como bacias menos ou mais sustentáveis. Por outro lado, as práticas de conservação simuladas no cenário S2+Eba previam não só melhores práticas de gestão (BMP) adicionais e viáveis, mas também a tomada de decisões preventivas nas cabeceiras dos sistemas de abastecimento de água (TAFFARELLO, D. et al, 2018). Também foi um estudo na região metropolitana de São Paulo, nas cabeceiras do sistema de abastecimento dessa região que ainda segundo os autores tinham as cabeceiras como áreas elegíveis do pagamento brasileiro para projetos de serviços ecossistêmicos (PSA).

Os principais periódicos foram o Environmental Modeling and Software e Water Switzerland com três artigos publicados respectivamente, figurando também na lista dos principais periódicos escolhido pelos autores para publicação no universo dessa pesquisa, o que só comprova a importância dos mesmos entre os pesquisadores do mundo todo.

Neste caso as instituições de maior destaque foi a Universidade de São Paulo, USP – Brasil, a Canadian Forest Service, Université de Sherbrooke, Texas A&M University e a Natural Resources Canada e University of Exeter com dois artigos utilizando o SWAT para modelagem.

A Instituição de fomento a pesquisa que mais investiu foi a National Natural Science Foundation of China com patrocínio de seis artigos. O Department of Agriculture – USDA, EUA. Fomentaram apenas dois artigos de pesquisadores americanos, bem com as seguintes instituições: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Natural Science Foundation of Hunan Province, e Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada. Os demais não tiveram participação expressiva.

Os países de maior destaque em publicações de pesquisa na área de Ciência Ambiental foram; China com dez artigos publicados, EUA com sete

artigos, Canadá e Alemanha com quatro publicações, Brasil e Noruega com dois artigos e Australia, Bélgica, Benin e Burkina com apenas uma publicação respectivamente. Estes resultados comprovam a hegemonia da China e Estados Unidos no campo da pesquisa em ciências ambientais.

Como o estudo aborda apenas ecossistemas ligados à modelagem hidrológica, identificamos a quantidade e qualidade de água, sedimentação e alimentos como serviços de provisão e/ou regulação de entrada para ser modelado pelo SWAT e como saída do processamento temos as variáveis, ou serviços ecossistêmicos de produção de sedimentação, escoamento superficial, evapotranspiração, armazenamento de água no aquífero superficial e profundo, carga de fósforo e nitrogênio, manejo do solo, fluxos de água, fluxo lateral e de água subterrâneas, rendimento da água, água do solo e percolação.

Os artigos embora tratem de aplicações do SWAT utilizando variáveis e objetivos diferentes, alcançaram os resultados esperados. Ambos visavam resolver problemas de gestão hídrica, portanto os resultados seriam utilizados no processo decisório e também, alguns poucos não todos, tinham como proposta utilizar o pagamento por serviços ambientais (PSA) como solução para conservação dos sujeitos de seus estudos.

3 Considerações finais

A base de dados Scopus possui um considerável acervo de artigos contendo os termos: “ecosystem services”, “hydrological modeling” e “SWAT” por serem muito usados em estudos nas ciências ambientais e áreas interdisciplinares. Os estudos sobre serviços ecossistêmicos só têm crescido nestes últimos anos com 46.175 publicações, só nesta base de dados, o que mostra a relevância desse tema para a Ciência Ambiental e outras Ciências por ser um tema interdisciplinar.

A Modelagem Hidrológica foca este estudo na área de recursos hídricos, neste caso são 27.971 publicações, sendo uma importante área do conhecimento por está voltado a escassez de um recurso importante no planeta a água, A aplicação da modelagem hidrológica é importante para apoiar o processo decisório, fornecendo base técnica para melhor gestão dos recursos hídricos, uso correto do solo e introdução de políticas públicas e programas setoriais, identificando potenciais áreas para sua implementação.

O estudo de Bacias Hidrográficas buscando o equilíbrio no balanço hídrico como foco para solucionar problemas de captação e uso da água, provocou estudos onde se tem como procedimento de partida, os serviços ecossistêmicos que entram na

modelagem hidrológica buscando alternativas para o processo decisório na gestão da água doce na natureza e a utilização do modelo SWAT com 8.440 publicações como instrumento de modelagem de grande complexidade, mas que permite através da quantificação dos serviços ecossistêmicos, calibrar e validar os serviços de regulação e funções dos mesmos, gerando cenários de simulação que serviram como resultado para reduzir o grau de incerteza na tomada de decisão, e emitindo como saída neste processo serviços ecossistêmicos que poderão servir para valoração e criação de políticas futuras.

Sendo o SWAT uma tecnologia de largo uso e moderna para o estudo do tema, vem contribuindo com avançados resultados nesta área conforme visto no quadro apresentado, mostrando-se, ainda, como um campo de estudo bastante promissor para a gestão ambiental.

Destaque para duas publicações que tiveram o maior número de citações: A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes com 72 citações e Comparison of the SWAT and InVEST models to determine hydrological ecosystem service spatial patterns, priorities and trade-offs in a complex basin com 71 citações, ambos publicados em 2020. Os principais periódicos foram o Environmental Modeling and Software e Water Switzerland com três artigos publicados respectivamente.

Assim sendo, os países de maior destaque em publicações e estudos destes temas apresentados nos dois quadros foram EUA e China, onde estão também os maiores centros de pesquisa como USDA Forest Service (EUA) e Chinese Academy of Science,, University of Chinese Academy of Science, Ministry of Education China e Southwest University of Science and Technology na China, tendo também os principais autores e os mais citados, consequentemente. As

4 Referências

- Altmann, A.; Souza, L.F, e Stanton, M.S. *Manual de apoio à atuação do ministério público pagamento por serviços ambientais* 1. ed. – Porto Alegre : Andrefc.com Assessoria e Consultoria em Projetos, 2015.
- Arhonditsis, G.B., Neumann, A., Shimoda, Y., (...), Ni, F., Cheng, V. 2019, Castles built on sand or predictive limnology in action? Part B: Designing the next monitoring-modelling-assessment cycle of adaptive management in Lake Erie, *Ecological Informatics* 53,100969.
- Ashagre, B.B., Platts, P.J., Njana, M., (...), Turner, R.K., Schaafsma, M. (2018), Integrated modelling for economic valuation of the role of forests and woodlands in drinking water provision to two African cities, *Ecosystem Services* 32, pp. 50-61.

principais instituições de fomento também foram Americanas e Chinesas como a. National Natural Science Foundation of China (China) e a National Science Foudation (EUA). Constituindo estes dois países como os maiores incentivadores a criação de pesquisadores e conhecimento nas ciências ambientais.

Não menos importantes também se destacaram a Alemanha, Canada, Brasil, Austrália, França, Índia, Japão e Noruega e tivemos a Universidade de São Paulo (USP) como a principal Instituição de Pesquisa no Brasil, e no cenário mundial, principalmente em estudos com a Modelagem utilizando o SWAT. Os principais periódicos escolhidos para publicações pelos autores foram a Environmental Modeling and Software e Water Switzerland devido a sua credibilidade e fator de impacto na área de Ciências Ambientais e áreas afins.

Portanto, mesmo tendo os anos de 2020 e 2021 muito difíceis com as medidas necessárias impostas pela pandemia da COVID-19 que afetou o mundo inteiro, a produção do conhecimento científico se manteve ativo, sendo o ano de 2021 o mais importante com maior número de publicações na Ciência Ambiental e também nas ciências de um modo geral. O que demonstra que esta quantidade de artigos feitos por estudiosos com a maior credibilidade pertencentes a instituições de pesquisas reconhecidas mundialmente, só reforça a relevância de estudos envolvendo os serviços ecossistêmicos, modelagem hidrológica e SWAT, por serem instrumentos utilizados no processo de tomada de decisão na gestão hídrica, mostrando-se como um vasto campo para pesquisa na América Latina e América do Sul, mas especificamente no Brasil pela sua dimensão continental e pela sua diversidade.

- Aznarez, C., Jimeno-Sáez, P., López-Ballesteros, A., Pacheco, J.P., Senent-Aparicio, J. 2021, Analysing the impact of climate change on hydrological ecosystem services in laguna del sauce (Uruguay) using the swat model and remote sensing data, *Remote Sensing* 13(10),2014.
- Bagstad, K.J., Villa, F., Batker, D., Harrison-Cox, J., Voigt, B., Johnson, G.W., 2014. From theoretical to actual ecosystem services: mapping beneficiaries and spatial flows in ecosystem service assessments. *Ecol. Soc.* 19 (2), 64.
- Brenda, F; Turner, R. K; Morling, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making, *Ecological Economics* 68 (3): 643-653, <https://doi-10.1016/j.ecolecon.2008.09.014> 2009.
- Cong, W., Sun, X., Guo, H., Shan, R. 2020, Comparison of the SWAT and InVEST models to

- determine hydrological ecosystem service spatial patterns, priorities and trade-offs in a complex basin, *Ecological Indicators* 112,106089.
- Costanza, R., D'arge, R., de Groot, R.S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Van den belt, M., The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, 387 (15 de maio), 253-260. 1997.
- Daily, G.C., 1997. Introduction: what are ecosystem services. In: Daily, G.C. (Ed.), **Nature's Services**. Island Press, Washington , DC, pp. 1–10.
- Daniel, T. C. et al. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 109, n. 23, 2012. pp. 8812–8819.
- Fan, M., Shibata, H., Chen, L. 2018, Assessing high impacts of climate change: spatial characteristics and relationships of hydrological ecosystem services in northern Japan (Teshio River watershed), *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 23(4), pp. 525-552.
- Feng, C., Yang, L., Han, L. 2021, Impacts of Climate Change on Blue and Green Water Resources in the Xiangjiang River Basin of the Yangtze River, China, *Frontiers in Earth Science* 9,677191.
- Francesconi, W.; Srinivasan, R.; Perez-Minãna, E.; Willcock, S.P.; Quintero, M. 2016 Using the soil and water assessment tool (swat) to model ecosystem services: a systematic review. *Journal of Hydrology*. Vol.535,,p.625-636, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.034>.
- Frizzle, C., Fournier, R.A., Trudel, M., Luther, J.E. 2021, Using the Soil and Water Assessment Tool to develop a LiDAR-based index of the erosion regulation ecosystem service, *Journal of Hydrology* 595,126009.
- Fukunaga, D.C., Cecílio, 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, 206–213.
- Gallay, I., Olah, B., Gallayová, Z., Lepeška, T. (2021), Monetary valuation of flood protection ecosystem service based on hydrological modelling and avoided damage costs. An example from the Čierny hron river basin, Slovakia, *Water Switzerland*, 13.2.198.
- Gkiatas, G., Kasapidis, I., Koutalakis, P., (...), Germantzidis, I., Zaimes, G.N. 2021, Enhancing urban and sub-urban riparian areas through ecosystem services and ecotourism activities, *Water Supply* 21(6), pp. 2974-2988.
- Gleick, P.H., (1993). Water and conflict: fresh water resources and international security. *Int. Secur.* 18, 79–112.
- Gujree, I., Zhang, F., Meraj, G., (...), Muslim, M., Arshad, A. 2022, Soil and Water Assessment Tool for Simulating the Sediment and Water Yield of Alpine Catchments: A Brief Review (Book Chapter), *Geospatial Modeling for Environmental Management: Case Studies from South Asia* pp. 37-58.
- Ha, L.T., Bastiaanssen, W.G.M., van Griensven, A., van Dijk, A.I.J.M., Senay, G.B. 2018, Calibration of spatially distributed hydrological processes and model parameters in SWAT using remote sensing data and an auto-calibration procedure: A case study in a Vietnamese river basin, *Water (Switzerland)* 10(2),212.
- Hamel, P., Valencia, J., Schmitt, R., (...), Francesconi, W., Guswa, A.J. 2020, Modeling seasonal water yield for landscape management: Applications in Peru and Myanmar, *Journal of Environmental Management* 270,110792.
- Khorn,N., Ismail,M.H., Nurhidayu, S., Kamarudin, N., Sulaiman, M.S. 2022, Land use/land cover changes and its impact on runoff using SWAT model in the upper Prek Thnot watershed in Cambodia, *Environmental Earth Sciences*, 81(19),466.
- Kim, I., Arnhold, S., Ahn, S., Park, S.J., Koellner, T. 2019, Land use change and ecosystem services in mountainous watersheds: Predicting the consequences of environmental policies with cellular automata and hydrological modeling, *Environmental Modelling and Software* 122,103982
- Krysanova, V., White, M., 2015. Advances in water resources assessment with SWAT—an overview. *Hydrol. Sci. J.* 60, 771–783.
- Lehmann, A., Timoner, P., Fasel, M., Ashraf Vaghefi, S., Abbaspour, K.C. 2019, SWATC21: A project for linking eco-hydrologic processes and services to aquatic biodiversity at river and catchment levels, *Ecology and Hydrobiology* 19(2), pp. 182-197.
- Logsdon, R.A., Chaubey, I., 2013. A quantitative approach to evaluating ecosystem services. *Ecol. Model.* 257, 57–65.
- Lopes, T.R., Folegatti, M.V., Duarte, S.N., (...), Oliveira, R.K., Santos, O.N.A. 2020, Hydrological modeling for the Piracicaba River basin to support water management and ecosystem services, *Journal of South American Earth Sciences* 103,102752.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being*.Vol. 5., United States of America,, Island press, p. 563.
- Nätschen, K., Dieckrüger, B., Leemhuis, C., (...), Thonfeld, F., van der Linden, R. 2018, Hydrological modeling in data-scarce catchments:

- The Kilombero floodplain in Tanzania, *Water (Switzerland)* 10(5),599.
- Pacetti, T., Castelli, G., Schröder, B., Bresci, E., Caporali, E. (2021), Water Ecosystem Services Footprint of agricultural production in Central Italy, *Science of the Total Environment* 797,149095.
- Plataforma Agenda 2030. 2019. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/sobre/>. Acessado em: 29.09.2019.
- Qi, J., Du, X., Zhang, X., Sadeghi, A.M., McCarty, G.W. 2020, Modeling riverine dissolved and particulate organic carbon fluxes from two small watersheds in the northeastern United States, *Environmental Modelling and Software* 124,104601.
- Radcliffe, D.E., Reid, D.K., Blombäck, K., Bolster, C.H., Collick, A.S., Easton, Z.M., Francesconi, W., Fuka, D.R., Johnsson, H., King, K., Larsbo, M., Youssef, M.A., Mulkey, A.S., Nelson, N.O., Persson, K., Ramirez-Avila, J.J., Schmieder, F., Smith, D.R., 2015. Applicability of models to predict phosphorus losses in drained fields: a review. *J. Env. Qual.* 44 (2), 614- 628.
- Rennó. C. D.; Soares. J. V. 2022, Conceitos básicos de modelagem hidrológica, Disponível em: www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais. Acesso em: 20. maio. 2022
- Schmidt, A., Fournier, R.A., Luther, J.E., Trudel, M. 2020, Development of a mapping framework for ecosystem services: The case of sediment control supply at a watershed scale in Newfoundland, Canada. *Ecological Indicators* 117,106518.
- Stiling, P. D. 1999, *Ecology: theories and applications*. 3ª Ed. EUA: Prentice-Hall.
- Tan, M.L., Gassman, P.W., Yang, X., Haywood, J.(2020), A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes, *Advances in Water Resources* 143,103662.
- Tang, C., Li, J., Zhou, Z., Zhang, C., Ran, H. 2019, How to optimize ecosystem services based on a Bayesian model: A case study of Jinghe River Basin, *Sustainability (Switzerland)* 11(15),4149.
- Taffarello, D., Srinivasan, R., Samprognia Mohor, G., Do Carmo Calijuri, M., Mendiondo, E.M. 2018, Modeling freshwater quality scenarios with ecosystem-based adaptation in the headwaters of the Cantareira system, Brazil, *Hydrology and Earth System Sciences* 22(9), pp. 4699-4723.
- Togbévi, Q.F., Bossa, A.Y., Yira, Y., Sintondji, L.O. van der Ploeg, M. 2020, A multi-model approach for analysing water balance and water-related ecosystem services in the Ouriyori catchment (Benin), *Hydrological Sciences Journal* 65(14), pp. 2453-2465.
- Veetil, A.V., Green, T.R., Kipka, H., Mankin, K., Clary, J. 2021, Fully distributed versus semi-distributed process simulation of a highly managed watershed with mixed land use and irrigation return flow, *Environmental Modelling and Software* 140,105000.
- Vigerstol, K.L., Aukema, J.E., 2011. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *J. Environ. Manage.* 92,2403–2409.
- Worku, G., Teferi, E., Bantider, A., Dile, Y.T. 2021, Modelling hydrological processes under climate change scenarios in the Jemma sub-basin of upper Blue Nile Basin, Ethiopia, *Climate Risk Management* 31,100272.
- Wu, Y., Xu, Y., Yin, G., Wang, X., Hu, Q. 2021, A collaborated framework to improve hydrologic ecosystem services management with sparse data in a semi-arid basin, *Hydrology Research* 52(5), pp. 1159-1172.
- Zhu, Z., Wang, K., Lei, M., Li, S., Liang, J. 2022. Identification of priority areas for water ecosystem services by a techno-economic, social and climate change modeling framework, *Water Research* 221,118766..
- Zeitoun, M., Warner, J., 2006 Hydro-hegemony-a framework for analysis of transboundary water conflicts. *Water Policy* 8 (5)