

DOI: <https://10.59824/rmrh.v6.350>

## **Modelos hidrológicos como ferramenta da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos**

*Hydrological models as a tool for implementing the Brazilian National Water Resources Policy*

Fábio Luiz Mação Campos<sup>1\*</sup>André Luiz Nascentes Coelho<sup>2</sup>Bruno Sara Delmaschio<sup>3</sup>Monica Amorim Gonçalves<sup>4</sup>Danielle de Almeida Bressiani<sup>5</sup>

### **RESUMO**

A água constitui um recurso de extrema importância para a manutenção das atividades humanas e a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) configura o dispositivo legal mais importante para a gestão das águas e mediação de potenciais conflitos pelo seu uso no Brasil. A implantação efetiva e eficaz dos instrumentos da PNRH é uma tarefa essencial que impõe grandes desafios aos gestores dessa política, que podem ser fortemente auxiliados pela adoção de modelos hidrológicos. Neste estudo é mostrado, com base numa revisão da literatura, os potenciais de uso dessa ferramenta aplicados à implementação dos instrumentos da PNRH e algumas das possibilidades de uso desses modelos pelos órgãos gestores de recursos hídricos, agências e comitês de bacias. São avaliados a situação da legislação

---

<sup>1</sup>Doutorado em Geografia pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestrado em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense (IFF). Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professor do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) – e-mail: [fabiomacao@gmail.com](mailto:fabiomacao@gmail.com)\* Autor correspondente

<sup>2</sup>Doutorado em Geografia pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Pós-Doutor em Geografia na Universidade de Coimbra (CEGOT). Mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professor Associado da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – e-mail: [alnc.ufes@gmail.com](mailto:alnc.ufes@gmail.com)

<sup>3</sup>Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – e-mail: [bruno.delmaschio@edu.ufes.br](mailto:bruno.delmaschio@edu.ufes.br)

<sup>4</sup>Doutorado em Oceanografia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestrado em Biologia Vegetal pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG). Servidora da Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH/ES) – e-mail: [monicaag.agerh@gmail.com](mailto:monicaag.agerh@gmail.com)

<sup>5</sup>Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Graduação em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade de Illinois em Urbana- Champaign (UIUC, Estados Unidos). Professora do curso de Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – e-mail: [daniebressiani@gmail.com](mailto:daniebressiani@gmail.com)

brasileira no contexto internacional e os instrumentos que estão nela dispostos, assim como as principais características dos modelos hidrológicos existentes. São analisados também diversas pesquisas e soluções desenvolvidas com base no uso desses modelos. Os resultados mostram que a utilização dos modelos tem um forte potencial para ajudar a lidar com alguns desafios como alterações de uso da terra, mudanças climáticas, eventos extremos e questões ligadas à qualidade e quantidade de água. Uma proposta de uso de modelos como elemento central da gestão de recursos hídricos e integrador de todos os instrumentos da PNRH é apresentada. O trabalho propõe o uso de um modelo com múltiplas aplicações para gestão da bacia hidrográfica e oferece alguns caminhos para efetivação dessa proposta.

**Palavras-chave:** Modelagem Hidrológica; Bacia Hidrográfica; Comitê de Bacia; Política Nacional de Recursos Hídricos.

### ***ABSTRACT***

*Water is a critical resource for sustaining human activities, and the Brazilian National Water Resources Policy (PNRH) represents the most important legal framework for water management and conflict mediation over water use in Brazil. The effective and efficient implementation of the PNRH's instruments poses significant challenges for policy managers, which can be substantially addressed by adopting hydrological models. This study, based on a comprehensive literature review, highlights the potential applications of hydrological models in the implementation of the PNRH and explores various ways in which water resource management agencies and watershed committees can employ these tools. It assesses the position of Brazilian legislation within the international context, the instruments established under the PNRH, and the main features of existing hydrological models. The study also analyzes diverse research efforts and practical solutions developed using such models. The findings indicate that hydrological modeling holds strong potential for addressing challenges such as land use change, climate change, extreme weather events, and water quality and quantity issues. A proposal is presented for using hydrological models as a central element in water resources management, integrating all instruments of the PNRH. The study advocates for a multi-purpose modeling approach to watershed management and outlines pathways for its effective implementation.*

**Keywords:** *Hydrological Modeling; Watershed Management; Basin Committee; Brazilian National Water Resources Policy.*

Data de submissão: 26/02/2025

Data de aprovação: 20/05/2025

## 1 INTRODUÇÃO

A água constitui um recurso estratégico, de interesse comum e que deve ser bem administrado a fim de promover o seu uso de forma sustentável. Trata-se do recurso natural mais importante para a vida em nosso Planeta, sendo sua gestão fundamental para um desenvolvimento equilibrado. O descuido com as águas no país tem forte ligação com esse suposto cenário de fartura, que pode ser evidenciado por números: dados oficiais acerca da disponibilidade hídrica mundial apontam que cerca de 12% da água doce do mundo encontra-se em terras brasileiras, sendo a bacia amazônica responsável por cerca de 80% deste quantitativo (Jade, 2018).

Para garantir a soberania da sociedade sobre a água e favorecer os usos múltiplos foi elaborada e publicada a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) – também conhecida como Lei das Águas, legislação essencial para estabelecer diretrizes e proteger os recursos hídricos, mas cuja implementação enfrenta, desde o início, diversos obstáculos políticos e econômicos (Brasil, 1997; Bettencourt *et al.*, 2021).

Para auxiliar na implementação e regulamentação de suas diretrizes, a Lei das Águas dispõe de um instrumental que estabelece a elaboração de Planos de Recursos Hídricos, as métricas para o Enquadramento dos Corpos de Água em classes, controla a Outorga dos direitos de uso dos Recursos Hídricos, estabelece a Cobrança pelo uso dos Recursos Hídricos e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

No entanto, a simples existência e implementação dos instrumentos não é suficiente para uma efetiva gestão das águas em território nacional, tornando o uso de ferramentas institucionais e tecnológicas extremamente necessário, visto que estas ampliam o leque de possibilidades de aplicação.

De acordo com Campos e Coelho (2022), a criação de cenários por meio de modelos hidrológicos surge como importante alternativa para a gestão e o planejamento hídricos, sobretudo pela capacidade de simulação de fenômenos e eventos de alto impacto socioeconômico como escassez hídrica, cheias e inundações. Os modelos também auxiliam na elaboração de quadros alternativos para situações envolvendo mudanças climáticas, alteração do uso e cobertura da terra, aplicação e controle de insumos agrícolas, implementação de

práticas conservacionistas, entre outros. Além disso, a abordagem geográfica na gestão de recursos hídricos pode ser fortemente enriquecida com os resultados proporcionados pelo uso dessas ferramentas.

Diante disso, a problemática central da pesquisa é explorar de que forma os modelos hidrológicos podem ser colocados como elemento central da gestão de recursos hídricos no Brasil. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo geral de propor a incorporação dos modelos como ferramenta central para gestão de recursos hídricos no Brasil e como objetivos específicos contextualizar a legislação brasileira frente à legislações de outros países, revisar as funções dos diversos instrumentos da PNRH, exemplificar como os modelos têm sido utilizados para geração de soluções na gestão de águas e demonstrar como a implementação dos instrumentos existentes na legislação podem ser apoiados pela modelagem hidrológica.

Para além desses objetivos, o trabalho apresenta as possibilidades de contribuição do uso de modelos hidrológicos e seu potencial para simulação de cenários na implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, visando colaborar para sua operacionalização de forma prática e aplicada.

Para isso uma breve revisão sobre o histórico da PNRH e seus instrumentos foi realizada, posicionando a legislação brasileira no âmbito internacional e debatendo alguns indicadores de sua implementação. Além disso, foram realizadas considerações sobre os modelos utilizados ao redor do mundo e suas características. Por fim, abordam-se as formas como estes modelos podem ser aplicados para auxiliar na implementação dos instrumentos dispostos na PNRH, com o objetivo de auxiliar o uso de cenários gerados pelos modelos por Comitês de Bacias, Órgãos Gestores de Recursos Hídricos e Agências de Bacias, otimizando a tomada de decisões no âmbito do Sistema de Gestão e subsidiando a aplicação da Lei das águas.

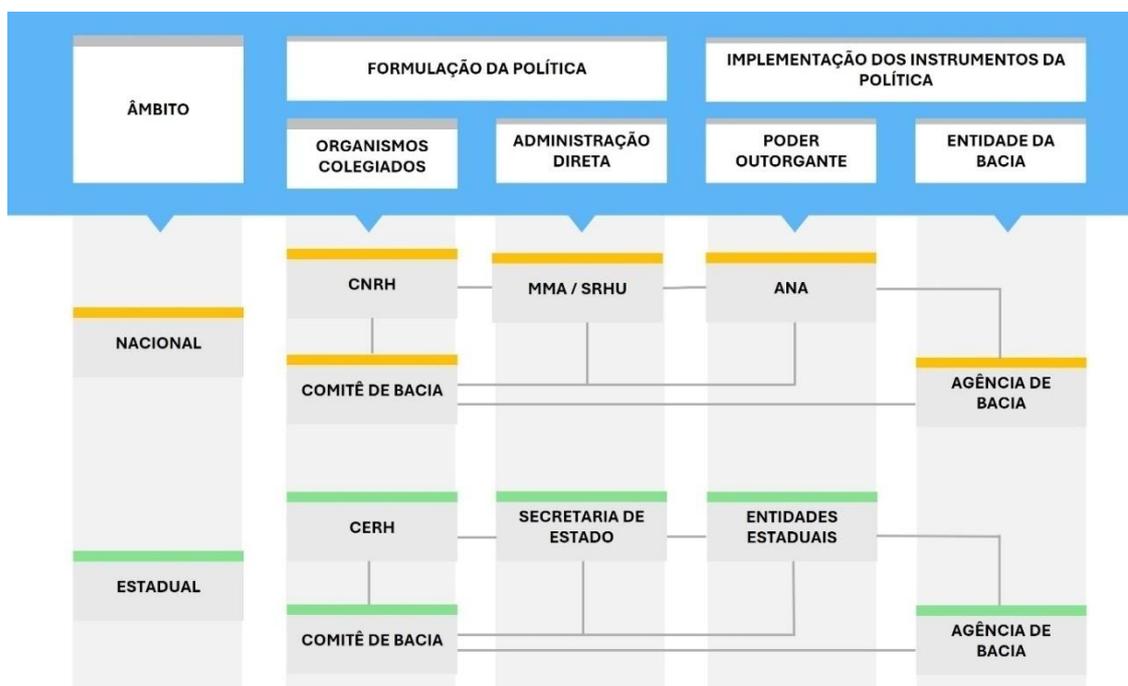
## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A Política Nacional de Recursos Hídricos**

A Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), implementada pela Lei Federal nº 9433 de 1997, é responsável por regulamentar a gestão e o uso da água em território brasileiro, tendo como princípios básicos a integração, descentralização e participação na gestão dos recursos hídricos (Brasil, 1997; Borba *et al.*, 2007). Destaca-se também que a lei foi elaborada alinhada ao primeiro e quarto Princípios de Dublin, formulados para a Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente de 1992 (Bressiani *et al.*, 2015).

A dominialidade pública das águas, a prioridade para consumo humano e o reconhecimento de seus usos múltiplos foram algumas das bases conceituais para construção da PNRH (Senra; Souza; Baptista, 2012). O modelo de gerenciamento descentralizado e participativo inspirou-se no modelo francês de gestão de águas, cuja experiência é considerada uma referência por muitos especialistas (Campos; Fracalanza, 2010; Mesquita, 2018). Este modelo, estabelece a participação de órgãos da administração direta e órgãos colegiados na formulação das políticas de uso da água e descentraliza a atuação para os estados e bacias hidrográficas (FIGURA 1).

Figura 1 – Matriz e funcionamento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH



Fonte: ANA (2017)

## 2.2 A Lei de Águas Brasileira no Panorama Internacional

A crescente escassez hídrica de água potável é pauta mundial de extrema importância (Araújo *et al.*, 2015). Um estudo comparativo do manejo dos recursos hídricos entre Brasil e União Europeia, aponta que ambas as regiões enfrentam problemas hídricos em qualidade e quantidade, porém alertam para a necessidade de implantação de uma rede nacional de pesquisa e monitoramento em território brasileiro.

De acordo com Allan *et al.* (2006) o *Water Framework Directive*, ou Diretiva Quadro da Água, é um programa que objetiva melhorar a qualidade dos corpos de água ao nível da bacia hidrográfica na Europa, protegendo-os dos impactos humanos, e como evidenciado por Faria, (2020), trata-se de uma política com grande potencial de complementação na gestão dos recursos hídricos, auxiliando na implementação da legislação nacional.

Nos Estados Unidos é implementado, desde 1972, a *Clean Water Act*, que visa restaurar a integridade física, química e biológica das águas do país (Keiser; Shapiro, 2019). Foi antecedida de diversas outras leis para a gestão dos recursos hídricos americanos, demonstrando a preconização dessa esfera do meio ambiente no país. A característica da descentralização em direção ao âmbito estadual em muito assemelha a Lei da Água Limpa com a PNRH.

Em linhas gerais, as comparações da legislação brasileira sobre águas com algumas legislações internacionais realizadas por outros pesquisadores apontam para um dispositivo legal robusto e equiparado aos de outros países. No entanto, é preciso reconhecer que os desafios da gestão hídrica num território tão amplo e diverso como o brasileiro, aliado aos constantes avanços tecnológicos e à atual crise climática impõem um monitoramento contínuo e possivelmente induzirão aprimoramento da atual legislação.

## 2.3 Os instrumentos da PNRH

A efetiva aplicação das diretrizes da PNRH se dá por meio de seus instrumentos, sendo estes, como consta no Capítulo IV, Artigo 5º, da Lei nº 9.433/1997: os “Planos de

Recursos Hídricos”; o “Enquadramento dos Corpos de Água em classes” segundo os usos preponderantes da água; a “Outorga de direitos de uso dos Recursos Hídricos”; a “Cobrança pelo uso dos Recursos Hídricos” e o “Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos” (Brasil, 1997).

O Plano de Recursos Hídricos fundamenta e orienta o gerenciamento dos Recursos Hídricos em uma bacia hidrográfica com perspectiva a longo prazo de garantir o uso da água às gerações futuras (Couceiro; Hamada, 2011). Através dele é tomada uma série de decisões sobre o uso da água, desde a elaboração de mecanismos de Cobrança até a mediação de conflitos (Souza; Silva, 2021). O Plano também pode ser elaborado no âmbito dos estados e no âmbito nacional.

O Enquadramento dos corpos hídricos consiste na previsão em classes, segundo os usos preponderantes da água. Assim, visa assegurar qualidade compatível dos recursos hídricos com os usos mais restritivos a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas (Silva; Albuquerque, 2018).

A Outorga e Cobrança pela utilização das águas são importantes instrumentos de gestão para induzir o usuário a uma utilização mais racional e sustentável do recurso natural. O sistema de Outorga objetiva manter a qualidade e o efetivo direito de acesso às águas, enquanto a Cobrança pelo uso dos recursos hídricos visa indicar que o recurso é escasso, atribuindo valor à água, como forma de racionalizar o consumo (Rodrigues; Leal, 2019).

O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos trata-se de um amplo sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, bem como fatores intervenientes para sua gestão. Este instrumento possui uma interface digital acessível ao público em geral por meio do endereço eletrônico<sup>6</sup>, onde é possível explorar diversos dados a respeito das águas no país. Esse sistema, ao considerar a natureza federativa do país, individualiza a administração dos recursos hídricos, trazendo também novos paradigmas de descentralização e utilização de instrumentos econômicos para a gestão e participação pública no processo de tomada de decisão (Braga *et al.*, 2008).

Os instrumentos da PNRH fazem projeções de demanda e de disponibilidade hídrica, estudam minuciosamente as bacias hidrográficas, os usos da água e propõem ações e investimentos a serem realizados para que a qualidade e a disponibilidade hídrica atendam as

---

<sup>6</sup><https://www.snirh.gov.br>

atuais e futuras gerações (Souza; Silva, 2021). Tendo como subsídio um estudo baseado em questionário respondido por membros de Comitês de Bacias Hidrográficas, Dictoro e Hanai (2015), alertam para a necessidade da implementação efetiva dos instrumentos da PNRH, aliado a maior uma participação popular na gestão dos recursos hídricos. Constata-se, porém, que ambos os trabalhos relataram a Outorga e a Cobrança como sendo os instrumentos mais bem implementados nas regiões estudadas, o que pode ser atrelado à importância na obtenção de recursos financeiros que estes possuem.

Silva (2008) apesar de reconhecer as potencialidades da PNRH, conclui que sua efetivação se dá de forma descompassada com outras políticas públicas, sobretudo pela descentralização das políticas e responsabilidades que sobrecarregou os Estados e seus órgãos ambientais e de recursos hídricos.

## 2.4 Modelos Hidrológicos

Para Devia; Ganasri, e Warakish (2015), os Modelos hidrológicos são considerados uma ferramenta importante e necessária para a gestão dos recursos hídricos e ambientais, e para fornecer estimativas espaciais e temporais valiosas destes recursos, ajudando a analisar possíveis projeções e cenários (Sood; Smakhtin, 2015).

Conforme Horton, Schaeffli e Kauzlaric (2022), desde o advento da modelagem hidrológica, o número de modelos continua aumentando em ritmo acelerado, e têm evoluído com maior complexidade devido ao aumento do poder computacional e à disponibilidade de dados espaço-temporais dos satélites e simulando processos em escalas que variam de encostas a bacias hidrográficas e continentes (Sidle, 2021).

Há na comunidade científica quem argumente também que existem demasiados modelos e que os pesquisadores têm perdido tempo e esforço no desenvolvimento de novos modelos, enquanto um maior esforço deveria ser aplicado no desenvolvimento de um Modelo Hidrológico Comunitário (Weiler; Beven, 2015). Para Brookfield *et al.* (2023) é fundamental desenvolver modelos que sejam acessíveis a todos os usuários, não apenas àqueles aplicados à pesquisa, incentivando o desenvolvimento contínuo de diversas plataformas de modelagem, considerando as necessidades do usuário, a disponibilidade de dados e os recursos computacionais.

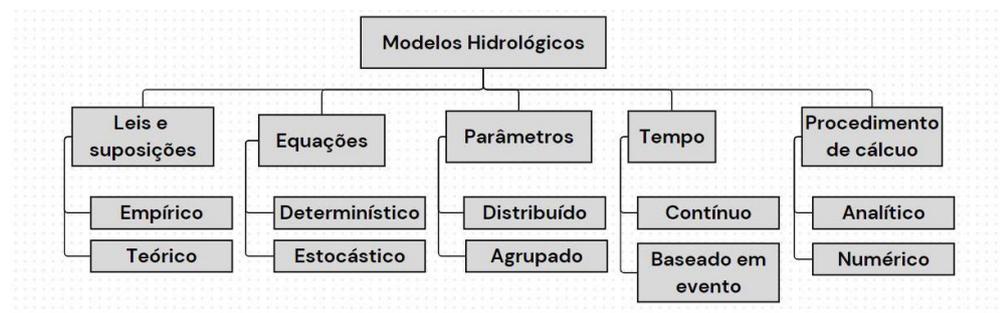
Essa diversidade faz com que, para cada aplicação, seja necessária a avaliação de qual modelo é mais adequado. Não obstante, muitos autores têm se dedicado a descrever as diferenças, avaliar os modelos disponíveis, propor melhorias para o aprimoramento dos mesmos e critérios para escolha de um modelo para determinados projetos (Devia; Ganasri; Dwarakish, 2015; Horton; Schaepli; Kauzlaric, 2022; Kauffeldt *et al.*, 2016; Sharma, 2017; Sood; Smakhtin, 2015; Wagener *et al.*, 2001).

Um exemplo dessa avaliação foi realizada por Kauffeldt *et al.* (2016) que elencaram alguns dos critérios julgados importantes para implementação de um modelo em escala continental como a existência de um código aberto, uma comunidade de usuários ativa, disponibilidade de dados de entrada, flexibilidade para estrutura de grade, possibilidade de calibração com ferramentas adequadas, flexibilidade na resolução espacial, facilidade de introdução de estações e assimilação de dados. Os autores admitem, no entanto, a subjetividade dos critérios adotados.

A adoção de um modelo hidrológico demanda uma série de critérios e escolhas. Devia, Ganasri e Dwarakish (2015) advogam que o melhor modelo é aquele que dá resultados próximos da realidade com o uso de menos parâmetros e com menor complexidade.

As características que diferenciam os modelos são muitas e eles podem ser classificados sob diferentes aspectos (FIGURA 2). A classificação pode ser baseada no tipo de variáveis/equações utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), nas leis e pressupostos utilizados e o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), na forma de apresentação dos dados em relação ao tempo (baseados em eventos ou contínuos), na existência ou não de relações espaciais entre as partes da bacia e seus parâmetros (distribuídos ou concentrados) e no procedimento computacional (analítico ou numérico) (Jajarmizadeh; Harun; Salarpour, 2012).

Figura 2 – Principais características dos Modelos Hidrológicos



Fonte: Adaptado de JAJARMIZADEH, HARUN, SALARPOUR (2012)

Assim, a depender do tipo de fenômeno que se queira representar, determinados modelos podem ser mais apropriados que outros. A representação da área de inundação atingida por uma determinada altura pluviométrica, por exemplo, pode ser bem representada por um modelo baseado em eventos e concentrado, enquanto a disponibilidade hídrica de uma bacia diante de diferentes cenários de uso da terra tende a ser mais apropriadamente simulada por modelos contínuos e distribuídos.

Horton, Schaefli e Kauzlaric (2022), revisaram uma série de trabalhos sobre modelagem hidrológica e concluíram que a maioria das publicações carece crucialmente de abordar a adequação do modelo para o contexto do estudo ou para o cenário. Nesse sentido sugerem que os estudos de modelagem venham acompanhados de uma declaração sucinta sobre a escolha do modelo, mesmo que a escolha tenha sido puramente heurística. Para Addor e Melsen (2019) a escolha de um modelo é impulsionada primordialmente pelo legado (ou seja, pela praticidade, conveniência, experiência e hábito dos usuários), mesmo quando outros modelos possam ser mais adequados ao caso.

No entanto, diante da imensa variedade de modelos disponíveis e das dificuldades inerentes a implementação de um modelo, é preciso reconhecer que uma vez implantado, um único modelo pode ser usado para o tratamento de diferentes problemas relacionados à gestão das águas.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A motivação inicial do trabalho foi a observação das possibilidades de utilização dos modelos hidrológicos para apoiar a implementação e gestão da PNRH em seus mais diversos instrumentos. A partir dos princípios da Conferência Internacional sobre a Água e o Meio Ambiente (ICWE, 1992), em especial no que se refere a necessidade de gestão integrada e participativa dos recursos hídricos e considerando ainda a contribuição de Tundisi e Tundisi (2008) que sugerem uma abordagem sistêmica e preditiva para a gestão de águas, as potencialidades das ferramentas da modelagem hidrológica foram analisadas frente aos desafios encontrados nacionalmente.

Assim, uma pesquisa bibliográfica foi construída a partir da análise de artigos disponíveis nas diversas bases que compõem a plataforma Periódicos CAPES e de outras publicações científicas de interesse encontradas nos principais eventos relacionados à área de recursos hídricos.

A primeira etapa consistiu num aprofundamento sobre a PNRH e seus instrumentos, destacando também a relação da política brasileira com a de outros países. Além disso, foram levantadas também as principais características dos modelos hidrológicos existentes.

Posteriormente, a diversidade de aplicações dos modelos hidrológicos para criação de soluções em recursos hídricos foi levantada, com base em experiências e pesquisas publicadas em periódicos variados.

A terceira etapa da pesquisa consistiu em, a partir das publicações analisadas e da experiência dos autores na utilização de modelos hidrológicos e na gestão de recursos hídricos, destacar os usos potenciais desses modelos como ferramentas da implementação de cada um dos instrumentos previstos na PNRH.

Foi elaborada assim uma proposta de gestão dos recursos hídricos adaptada à legislação brasileira, onde o uso de modelos hidrológicos atue como elemento central e integrador da aplicação de todos os instrumentos, destacando as conexões entre o modelo e os objetivos de cada um deles.

Por fim, algumas sugestões para a escolha e adoção de um modelo pelos diversos entes responsáveis pela gestão de recursos hídricos no Brasil foram elencadas, a fim de

subsidiar a adoção dessa ferramenta pelos comitês de bacias hidrográficas e agências de águas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do trabalho de pesquisa realizado serão apresentados em duas etapas. Primeiramente serão apresentadas algumas das possibilidades do uso dos modelos hidrológicos para geração de soluções diversas na área de recursos hídricos. Noutra sessão as possibilidades de uso e aplicação dos modelos como ferramenta para implementação dos instrumentos da PNRH serão explicitadas mais detalhadamente, demonstrando como cada instrumento pode ser beneficiado pela adoção de modelos na gestão de recursos hídricos.

### 4.1 Uso de modelos hidrológicos para geração de soluções em Recursos Hídricos

Um dos usos mais frequentes observados na literatura quando se trata do uso dos modelos hidrológicos é a criação de cenários alternativos para previsão de impactos na quantidade e qualidade da água. Entre as possibilidades de cenários, alternativas de uso da terra são muito simuladas em todo o mundo.

Oliveira *et al.* (2022) avaliaram os efeitos da expansão da cana-de-açúcar numa bacia do estado de São Paulo com o Modelo Hidrológico Distribuído (MHD-INPE), demonstrando que essa expansão tem impactos de redução da vazão e da evapotranspiração, além de aumentar o consumo de água na bacia. Rápalo *et al.* (2021) usaram o Modelo de Grandes Bacias (MGB) para simular três diferentes cenários de mudança no uso da terra numa Bacia do estado do Mato Grosso e mostraram que os cenários de expansão de pastagens e da agricultura tendem a aumentar a vazão hídrica podendo, em caso de chuvas intensas, ampliar o risco de inundações e, em períodos de estiagem, piorar as secas. Os autores afirmam que os resultados demonstraram estratégias de planejamento e manejo para evitar cenários críticos de falta de água na bacia devido à intensidade de uso do solo além de sua capacidade.

Carvalho *et al.* (2022) utilizaram os modelos *Variable Infiltration Capacity - VIC* e *Lavras Simulation of Hydrology – LASH* para avaliar os impactos da alteração do uso da terra no regime hidrológico da bacia do Rio Verde (Minas Gerais) e obtiveram resultados que

demonstraram a importância do reflorestamento na bacia, com diminuição do escoamento total e aumento da evapotranspiração, enquanto cenários com desmatamento foram responsáveis por efeitos opostos.

A preocupação com a disponibilidade e segurança hídrica é outra questão que inquieta muito os pesquisadores de todo o mundo. Luo *et al.* (2018) utilizaram o modelo *SWAT (Soil and Water Assessment Tool)* para analisar o impacto do manejo florestal numa bacia japonesa e concluíram que a descarga mensal aumenta substancialmente em florestas que são adequadamente mantidas por desbaste, mesmo durante a estação seca. Tefera *et al.* (2023), também com o uso do modelo SWAT, realizaram previsões de até quando o suprimento de água poderá ser efetivado na capital da Etiópia, indicando a necessidade de projetos adicionais de abastecimento e uso hídricos, além da manutenção de serviços ecossistêmicos para preencher a lacuna entre a oferta e a demanda de água que será observada nos próximos anos.

Wu *et al.* (2018) utilizaram o SWAT acoplado a outras ferramentas para avaliar a capacidade de suporte dos recursos hídricos numa bacia da China. Wang *et al.* (2021) utilizaram o modelo WEP para investigar os efeitos do uso agrícola da água na vazão fluvial e mostraram que o desenvolvimento agrícola era insustentável devido à escassez hídrica, advertindo sobre possíveis perdas econômicas dessas ações e propondo alternativas compensatórias.

Não só questões ligadas à escassez hídrica podem ser apoiadas pelos modelos, mas também episódios de excesso de água como enchentes e inundações. Godara, Bruland e Alfredsen (2023) reproduziram sete eventos de inundações numa pequena bacia da Noruega com o modelo TELEMAC-2D e seus resultados mostraram uma boa correlação entre os picos de inundação observados e simulados, indicando que modelos que representam bem picos de inundação podem ser uma boa ferramenta para lidar com riscos e alertas de desastres.

Neste contexto, Lin *et al.* (2022) propuseram um sistema de previsão de inundações em ambiente WEB baseado no modelo HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*) e os testes realizados numa bacia chinesa mostraram que a ferramenta pode prever razoavelmente bem a duração, o volume total de inundação e o pico de vazão. Esses autores propõem ainda uma acoplagem dos dados meteorológicos e afirmam que isso pode ser muito útil para a funcionalidade de previsão automática de cheias,

pois sempre que houver novos dados de previsão meteorológica o processo de simulação do modelo das cheias pode ser atualizado.

As mudanças climáticas talvez sejam a grande preocupação da comunidade relacionada com a gestão de águas, haja vista que variações no padrão climático afetam diretamente a disponibilidade hídrica. Diante disso, muitos estudos têm simulado o comportamento das bacias hidrográficas a partir de cenários meteorológicos diversos. Acharkiet *et al.* (2023) avaliaram cenários de mudanças climáticas no Marrocos e mostraram que 82% dos modelos indicaram que o clima futuro poderia diminuir o fluxo de água e alertam que suas descobertas podem auxiliar planejadores no desenvolvimento de políticas de gestão hídrica e medidas de adaptação.

No Brasil, Serrão *et al.* (2023) avaliaram a variabilidade espacial e temporal dos processos hidrológicos de vazão, precipitação, evapotranspiração, armazenamento de água, escoamento superficial e índice de aridez na bacia do Rio Mearim usando o Modelo de Grandes Bacias (MGB) e as evidências estatísticas revelam que as mudanças nas variáveis hidrológicas são insignificantes, sem tendências de aumento ou diminuição na quantidade de água na bacia.

Por outro lado, Oliveira *et al.* (2019) modelaram os efeitos das mudanças climáticas na bacia do Alto Rio Paranaíba usando o SWAT e mostraram que ela sofreria sérios problemas em relação à disponibilidade hídrica em condições climáticas extremas.

Além das questões ligadas à quantidade, a qualidade da água sob diferentes cenários também pode ser simulada pelos modelos hidrológicos. Silveira *et al.* (2022) utilizaram dados estimados disponíveis pelo SUPer (Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco), que é baseado no SWAT, para efetuar uma análise temporal dos parâmetros de qualidade de água na bacia hidrográfica do Rio Moxotó. Nepal *et al.* (2023) avaliaram a variação do escoamento superficial, da produção de sedimentos e das cargas de fósforo e nitrogênio com as dinâmicas de uso da terra no Mississipi, EUA.

Também analisando o impacto das alterações climáticas e do uso do solo no equilíbrio hídrico de uma bacia por meio do SWAT, Khadka, Babel e Kamalamma (2023), evidenciaram que, embora os fatores climáticos tenham maior influência no escoamento da bacia, a mudança no uso da terra também terá impacto nos fluxos numa escala mensal.

A variação da vazão com a captação e utilização da água também pode ser avaliada através de modelos hidrológicos. Usando como exemplo a irrigação, que é um dos consumos que mais demandam água, o estudo de Gao *et al.* (2021) usou o SWAT para avaliar a demanda hídrica diária e mensal das culturas irrigadas e mostraram que a estratégia de irrigação deve ser ajustada para lidar com o impacto das condições meteorológicas. Luan *et al.* (2018) avaliaram a pegada hídrica de um distrito na China com o SWAT e segundo os autores, os cálculos da demanda hídrica podem refletir as diferenças espaciais durante o processo de produção agrícola e serem usados para avaliar os volumes de consumo de água por fonte, o que poderia auxiliar na gestão da irrigação. Ceppiet *al.* (2013) usaram o FEST-WB (*Flash Flood Event-based Spatially-distributed rainfall-runoff Transformations-Water Balance*) para desenvolvimento e implementação do sistema de previsão de secas em tempo real. Os autores afirmam que a previsão da quantidade de água e das necessidades de irrigação das culturas podem auxiliar a gerir melhor os volumes distribuídos em diferentes épocas do ano, evitando o desperdício de água de irrigação.

A previsão de como as ações implementadas nas bacias hidrográficas podem interferir na qualidade da água também podem ser auxiliadas por modelos hidrológicos. Neste contexto, Tan *et al.* (2023) avaliaram cenários de reflorestamento para redução de sedimentos e pagamento de serviços ambientais que tivessem custo-benefício apropriado.

Outra abordagem muito interessante que pode ser realizada pelos modelos é a simulação dos efeitos de práticas conservacionistas e boas práticas de manejo (*Best Management Practices - BMPs*). Uniyal *et al.* (2020) simularam cenários de aplicação dessas práticas numa bacia da Índia e demonstraram que algumas dessas práticas combinadas poderiam proporcionar a uma redução dos sedimentos em até 80%. Wang *et al.* (2018) testaram três práticas numa bacia chinesa e constataram que as cargas de nitrogênio poderiam ser reduzidas em até 66%. Assim, diversas abordagens têm sido trabalhadas com o uso de modelos como a realizada por Lin *et al.* (2023) que usaram o modelo HydroCNHS para propor uma nova forma de compartilhamento de custos e definição da aplicação de práticas conservacionistas.

Questões de ordem prática podem também ser auxiliadas pelos modelos, como Woo *et al.* (2021) que utilizaram o SWAT para avaliar os impactos da transposição de águas entre bacias na Coreia do Sul, demonstrando que seus resultados podem auxiliar a decidir

sobre as quantidades de água a serem transferidas e considerar questões ligadas à qualidade da água nas bacias doadoras e receptoras.

## **4.2 Aplicação de modelos na implementação dos instrumentos do PNRH**

### ***4.2.1 Planos de Recursos Hídricos***

Os Planos de Recursos Hídricos visam fundamentar e orientar a implementação da PNRH e o gerenciamento dos recursos hídricos, sendo planos de longo prazo (Brasil, 1997). O fato de os Planos serem elaborados para prazos extensos, exige de antemão um esforço de previsibilidade, em que os modelos podem ajudar a quantificar alguns aspectos essenciais para sua aplicação.

Entre os conteúdos mínimos dos Planos, alguns podem ser apoiados pelos modelos hidrológicos. O balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos em quantidade e qualidade, por exemplo, pode ser previsto para diferentes cenários. Sobretudo no atual contexto de emergência climática, alguns estudos como os de Castro *et al.* (2018), Jiménez-Bonilla *et al.* (2023), Liu *et al.* (2023) e Sun *et al.* (2023) podem ajudar a prever questões ligadas à oferta de água nos corpos hídricos.

Além disso, os planos também devem conter uma análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de uso da terra. Esses tipos de alteração são facilmente simulados pelos modelos, como feito em algumas pesquisas, como as de Al Khoury *et al.* (2023), Ayele *et al.* (2023), Ferraz *et al.* (2023), Mosbahi *et al.* (2023) e Yu; Zhang (2023), que realizaram previsões acerca do comportamento de aspectos de qualidade e/ou quantidade da disponibilidade hídrica em diferentes escalas de bacias ao redor do mundo.

Assim, traçadas as possíveis alternativas de acordo com as características e tendências regionais, os modelos podem mensurar o comportamento hidrológico e a disponibilidade hídrica das bacias em seus diferentes afluentes, auxiliando em outros conteúdos que precisam ser previstos pelos planos como a identificação de conflitos potenciais, a definição de metas de racionalização de uso, o aumento da quantidade e

melhoria da qualidade da água, a escolha das medidas, programas e projetos a serem implantados e ainda na proposição da criação de áreas sujeitas a restrição de uso.

Os Planos devem, também, trazer diretrizes para implementação de outros instrumentos como o Enquadramento, a Outorga e a Cobrança, que podem ser apoiados de maneira mais específica pela criação dos possíveis cenários como veremos adiante.

#### **4.2.2 Enquadramento de Corpos D'água**

O Enquadramento dos Corpos Hídricos visa assegurar a qualidade das águas compatível com os usos e diminuir os custos de combate à poluição mediante ações preventivas permanentes. A Resolução do CNRH nº 91/2008 propõe cinco etapas para realização do Enquadramento dos Corpos D'água: diagnóstico, prognóstico, elaboração de alternativas de Enquadramento, deliberação do Comitê e efetivação do programa de Enquadramento (CNRH, 2008).

Segundo Costa *et al.* (2019) as duas últimas ações possuem caráter mais político/decisório e devem ser conduzidas pelo Comitê de Bacia juntamente com sua Agência. Para os autores, na etapa de prognóstico e elaboração das alternativas, uma das atividades a ser realizada é a modelagem de cenários futuros.

Nesse contexto, Knapik *et al.* (2007) afirmam que a modelagem da qualidade da água deve ser entendida como uma importante ferramenta para o apoio ao processo de tomada de decisões, em especial quando da implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

A Resolução CONAMA nº 357/2005, que previu a possibilidade de Enquadramento com metas progressivas, é uma importante variável de planejamento (CONAMA, 2005). À medida que as metas forem traçadas, os modelos podem ser utilizados para prever cenários que as atendam, seja por alterações de uso da terra, implantação de práticas conservacionistas/medidas compensatórias, redução das cargas poluentes ou outras medidas. A implementação das metas pode ser acompanhada de um custo financeiro que pode ser compartilhado entre os diversos usuários da água existentes na bacia. Isso pode ser relacionado diretamente com os instrumentos da Outorga e da Cobrança por uso da água.

### 4.2.3 Outorga de Uso da Água

Pereira, Kayser e Collischonn (2012) defendem que é possível melhorar a análise dos procedimentos de Outorga com Sistemas de Suporte a Decisão (SSD), integrando os modelos hidrológicos utilizados para a análise a um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os modelos hidrológicos e sua capacidade de criar cenários alternativos são, portanto, uma ferramenta fundamental para implementação desse instrumento. Um exemplo dessa possibilidade foi realizado por Souza, Kobiyama e Santos (2009), evidenciando a modelagem como uma excelente ferramenta para a concessão de Outorga de direito de uso dos recursos hídricos, haja vista que as vazões de referência não apresentam um comportamento linear em relação à área de drenagem da bacia (obtido por regionalização de vazões), o que impede a simples transferência da vazão por área de drenagem.

Entre os usos sujeitos à Outorga, pode-se destacar a captação para uso final e o lançamento de resíduos para diluição. A captação, além de diminuir a vazão e alterar a quantidade de água disponível pode comprometer os processos de diluição de poluentes. O lançamento de efluentes, por sua vez, pode aumentar a vazão e afetar a qualidade da água. Desta forma, ambos processos devem ser avaliados conjuntamente, inclusive, com outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água. Para realização dessa complexa avaliação com relativa precisão, os modelos são uma ferramenta de extrema utilidade.

Havendo um registro das quantidades e características das captações e lançamentos, esses dados podem ser inseridos no modelo hidrológico da bacia a fim de prever a disponibilidade hídrica tanto em qualidade como em quantidade, permitindo a avaliação da capacidade de suporte do corpo hídrico em diferentes locais conforme realizado por Wu *et al.* (2018) e subsidiando a uma série de decisões, entre as quais pode-se citar a possibilidade ou não da concessão de novas Outorgas.

Relacionando isso com o Enquadramento de Corpos D'água, a qualidade da água pode então ser prevista por meio dos modelos conforme os usos outorgados na bacia. Não estando determinado trecho dentro dos parâmetros estabelecidos, cenários alternativos para alcance das metas podem ser projetados, seja por revogação de Outorgas, estabelecimento de condicionantes ou adoção de medidas compensatórias.

#### ***4.2.4 Cobrança por uso dos Recursos Hídricos***

O estabelecimento de medidas compensatórias tende a ser aplicado em casos de escassez hídrica e o custo de implantação dessas medidas pode ser compartilhado entre os usuários através do instrumento da Cobrança por uso dos recursos hídricos, haja vista que um dos objetivos da Cobrança é obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

Uma vez que os cenários compensatórios para alcance das metas sejam estipulados através da modelagem da qualidade de água, o custo para implantação desses cenários também pode ser previsto. Assim, as metas progressivas de Enquadramento podem ser planejadas de maneira mais assertiva prevendo-se as condicionantes a serem adotadas por cada usuário existente na bacia e estimando o valor que deverá ser cobrado. Alguns trabalhos nesse sentido já foram publicados para diferentes partes do mundo (Liu *et al.*, 2014; Mtibaa; Hotta; Irie, 2018; Veith; Wolfe; Heatwole, 2003).

#### ***4.2.5 Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos***

Por fim, os Sistemas de Informações configuram outro instrumento da PNRH que pode ser beneficiado pela utilização dos modelos hidrológicos. Seus objetivos são reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos, atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda e fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos.

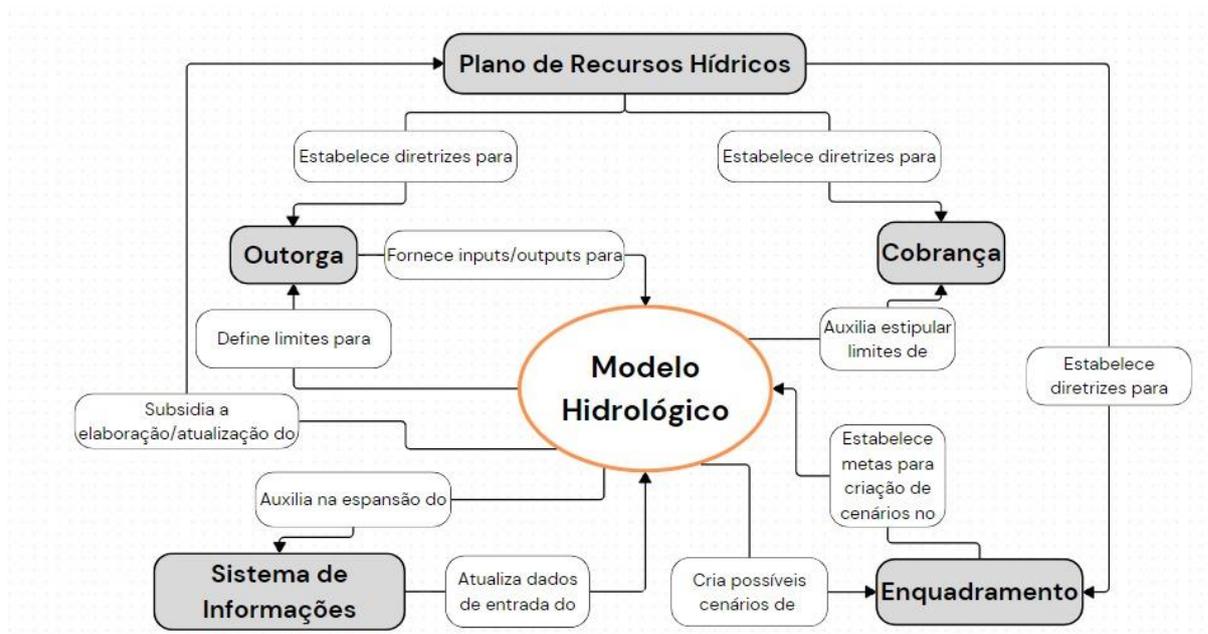
Os modelos podem não só auxiliar na divulgação das informações existentes como orientar sobre a necessidade de aprimoramento e expansão das redes de monitoramento. As informações oriundas desse sistema, acopladas a sistemas de previsão meteorológica podem subsidiar a execução de um modelo de previsão quali-quantitativa em tempo real, auxiliando a tomada de decisões em tempo hábil para minimizar os efeitos de eventuais suspensões de captação ou riscos de desastres.

Além disso, um Sistema de Informações gerido dentro do ambiente de um modelo hidrológico subsidiaria não só a elaboração e atualização dos Planos de Recursos Hídricos,

mas a implementação e gestão mais efetivas dos instrumentos da Outorga e do Enquadramento, como demonstrado anteriormente.

A Figura 3 ilustra, de forma resumida, as possíveis relações e propostas da utilização dos modelos como ferramentas de implantação dos instrumentos da PNRH.

Figura 3 – Possíveis relações entre os instrumentos e os modelos hidrológicos



Fonte: Elaboração dos autores (2025)

## 5 CONCLUSÃO

Neste estudo, algumas das principais questões conceituais e de aplicação dos modelos hidrológicos à implementação dos instrumentos da PNRH foram apontadas. Através dos estudos de caso, mostrou-se como os modelos hidrológicos podem ampliar sua aplicabilidade na gestão de águas superficiais e subterrâneas e atuar como elemento central e integrador dos instrumentos previstos na PNRH. Além das aplicações práticas, isso pode apoiar análises científicas por profissionais das mais diversas áreas e escalas ligadas aos recursos hídricos, como engenheiros, geógrafos, geólogos, biólogos e oceanógrafos.

Cabe, no entanto, o apontamento de algumas considerações elaboradas com base nas experiências analisadas a fim de orientar práticas mais assertivas na adoção dos modelos.

Embora as aplicações sejam empreendidas com diversos modelos, dificilmente um único modelo responderá integralmente a todas as demandas existentes. Porém, alguns modelos, como o SWAT / SWAT+, vêm agregando diferentes módulos e permitindo aplicações e avaliações de diversas naturezas para as agências de águas e comitês de bacias.

Modelos com múltiplas aplicações e possibilidades podem demandar algum esforço inicial para sua implementação e calibração, porém, vencida essa etapa, podem servir de base para a aplicação de vários instrumentos simultaneamente. Para a escolha de um modelo multiuso recomenda-se que características desejáveis como ser um modelo de base física e possuir código aberto sejam observados, para que adaptações possam ser feitas atendendo demandas específicas de cada usuário, agência ou comitê de bacia.

Assim, advoga-se aqui pela escolha e implementação de um único modelo hidrológico por bacia, desde que esse represente de maneira satisfatória os processos físicos e possa atender às principais demandas dos instrumentos como inserção de lançamentos de fontes pontuais, captação de água, simulação de reservatórios e aplicação de medidas compensatórias. Além disso é importante que seja escolhido o modelo que contemple, ao mesmo tempo, questões relacionadas à qualidade e quantidade de água e efetive a simulação em escala temporal e espacial adequada à gestão hídrica da bacia.

Outro ponto importante é a obtenção constante de informações que alimentem e aprimorem o modelo, a fim de que os processos possam ser simulados cada vez com maior precisão. A existência de um modelo pode orientar a expansão das redes de monitoramento hidrometeorológico a fim de melhor responder às demandas da gestão dos recursos hídricos existentes e vindouras.

É imprescindível ainda que, uma atualização rotineira das informações sobre Outorgas, mudanças de uso da terra e regimes climáticos seja realizada. Isso ajuda a garantir que o modelo possa estar sempre adaptado à realidade observada no momento das tomadas de decisão.

Iniciativas que podem subsidiar o uso de um único modelo para tomadas de decisão em diversos âmbitos como o Sistema de Unidades de resposta hidrológica para Pernambuco – SUPER<sup>7</sup> e o *Brazilian Ecohydrological Simulation Tool – BEST* começam a ser

---

<sup>7</sup><https://super.hawqs.tamu.edu/#/>

implantadas no Brasil nessa direção, mas sua adoção pelas agências de águas ainda não são efetivas (Bressiani *et al.*, 2023).

A implantação e gestão da modelagem hidrológica pode ser realizada direta ou indiretamente pelos comitês / agências de bacias ou mesmo agências estaduais ou nacionais de águas, a depender da abrangência de cada bacia. Parcerias com universidades e institutos de pesquisa ou contratação de empresas especializadas para a implantação e gestão dos modelos também são um caminho promissor para efetivação das propostas aqui elencadas. A adoção de bacias piloto para realização de um teste de gestão via modelo hidrológico também pode ser uma boa estratégia para implantação das sugestões contidas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ACHARKI, S. *et al.* Hydrological modeling of spatial and temporal variations in streamflow due to multiple climate change scenarios in northwestern Morocco. **Climate Services**, Amsterdam, v. 30, p. 100388, abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100388>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880723000493?pes=vor&utm\\_source=scopus&getft\\_integrator=scopus](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880723000493?pes=vor&utm_source=scopus&getft_integrator=scopus). Acesso em: 15 nov. 2023.
- ADDOR, N.; MELSEN, L. A. Legacy, rather than adequacy, drives the selection of hydrological models. **Water Resources Research**, Malden, v. 55, n. 1, p. 378-390, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018WR022958>. Disponível em: <https://ueaeprints.uea.ac.uk/id/eprint/69223/>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- AL KHOURY, I. *et al.* Impact of land-use change on karst spring response by integration of surface processes in karst hydrology: the ISPEEKH model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 626, p. 130300, nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130300>. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85174909760>. Acesso em: 27 nov. 2023.
- ALLAN, I. J. *et al.* Strategic monitoring for the European Water Framework Directive. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**. Amsterdam, v. 25, n. 7, p. 704–715, 1 jul. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2006.05.009>. Disponível em: <https://researchportal.port.ac.uk/en/publications/strategic-monitoring-for-the-european-water-framework-directive>. Acesso em: 30 nov. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Infográfico do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH**. [Brasília: ANA.], 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/gestao-da-agua/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos/o-que-e-o-singreh?> Acesso em: 27 nov. 2023.

ARAÚJO, R. S. *et al.* Water resource management: a comparative evaluation of Brazil, Rio de Janeiro, the European Union, and Portugal. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 511, p. 815–828, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.098>. Disponível em: <http://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969714016994?> Acesso em: 01 dez. 2023.

AYELE, G. T. *et al.* Response of streamflow and nutrient loads in a small temperate catchment subject to land use change. **Environmental Monitoring and Assessment**, Berlin, v. 195, n. 12, p. 1418, dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11828-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-023-11828-z>. Acesso em: 05 dez. 2023.

BETTENCOURT, P. *et al.* A comparison between the european and the brazilian models for management and diagnosis of river basins. **Water Policy**, London, v. 23, n. 1, p. 58-76, 1 fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.2166/wp.2021.204>. Disponível em: <https://iwaponline.com/wp/article/23/1/58/79776/A-comparison-between-the-European-and-the>. Acesso em: 02 dez. 2023.

BORBA, M. L. G. *et al.* Atenção dada pelo plano nacional de recursos hídricos (PNRH) à integração, à descentralização e à participação. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABRH, 2007. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/f88da323c875f201edc740b76b7b7738\\_c63b087b361da5417541ea7c3b4b4390.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/f88da323c875f201edc740b76b7b7738_c63b087b361da5417541ea7c3b4b4390.pdf). Acesso em: 07 nov. 2023.

BRAGA, B. P. F. *et al.* Pacto federativo e gestão de águas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, p. 17-42, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/HKZcynK4dzMcVhrqhS33k8d/?lang=pt>. Acesso em: 05 dez. 2023.

BRASIL, **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm). Acesso em: 11 nov. 2023.

BRESSIANI, D. de A. *et al.* Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Pequim, v. 8, n.3, 2015. DOI: 10.3965/j.ijabe.20150803.1765. Disponível em: <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/1765>. Acesso em: 08 dez. 2023.

BRESSIANI, D. *et al.* An open collaborative Web-Based Brazilian Ecohydrological Simulation Tool – BEST. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Aracaju. **Anais** [...]. Aracaju - SE: ABRHidro, 2023. v. 1, p. 1-7. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH1104-1-0-20230619-171415.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2024.

BROOKFIELD, A. E. *et al.* Recent advances in integrated hydrologic models: integration of new domains. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 620, p. 129515, maio, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129515>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169423004572?> . Acesso em: 14 jan. 2024.

CAMPOS, F. L. M.; COELHO, A. L. N. Geotecnologias, geomorfologia e modelos hidrológicos: possibilidades para o planejamento hídrico e ambiental. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)**, Buenos Aires, v. 24, p. 1-14, 2022. Disponível em: <https://revistageosig.wixsite.com/geosig/geosig-24-2022>. Acesso em: 08 dez. 2023.

CAMPOS, V. N. D. O.; FRACALANZA, A. P. Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 365-382, dez. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2010000200010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/CSQMWFyvcv8MJV4vkMV6dBm/?lang=pt>. Acesso em: 15 dez. 2023.

CARVALHO, V. S.O. *et al.* Assessment of land use changes in the Verde River basin using two hydrological models. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 118, p. 103954, out. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103954>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895981122002437?> Acesso em: 01 dez. 2023.

CASTRO, A. L. A. *et al.* Applicability and relevance of water scarcity models at local management scales: review of models and recommendations for Brazil. **Environmental Impact Assessment Review**, Amsterdam, v. 72, p. 126-136, set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925517303530?> Acesso em: 28 nov. 2023.

CEPPI, A. *et al.* Real time drought forecasting system for irrigation management. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 19, p. 776-784, jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.06.086>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029613003563?> Acesso em: 20 nov. 2023.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/portallpnqa/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20357.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Brasil). **Resolução CNRH n° 91, de 5 de novembro de 2008.** Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/portallpnqa/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CNRH%20n%C2%BA%2091.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

COSTA, D. D. A. *et al.* Dos instrumentos de gestão de recursos hídricos - o Enquadramento - como ferramenta para reabilitação de rios. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 43, n. spe3, p. 35-50, dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019s303>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/rHLdw9ChCyxV9ZJK5kbZNnD/?lang=pt>. Acesso em: 02 dez. 2023.

COUCEIRO, S. R. M.; HAMADA, N. Os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos na região norte do Brasil. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 04, p. 762-774, dez. 2011. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2011.1504.02>. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8165>. Acesso em: 11 dez. 2023.

DEVIA, G. K.; GANASRI, B. P.; DWARAKISH, G. S. A review on hydrological models. **Aquatic Procedia**, Amsterdam, v. 4, p. 1001-1007, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214241X15001273>? Acesso em: 22 nov. 2023.

DICTORO, V. P.; HANAI, F. Y. Implementação, efetividade e conhecimento dos instrumentos da PNRH na bacia hidrográfica Piancó-Piranha-Açú: uma visão de alguns membros do seu respectivo comitê. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., Brasília, 2015. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRHidro, 2025. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/4/PAP019215.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

FARIA, R. S. D. **Proposição do enquadramento de corpos hídricos a partir da política da comunidade europeia:** uma análise documental. 2020. 79 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília - DF, Distrito Federal, 2020. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/40825/1/2020\\_RafaelaSilvadeFaria.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/40825/1/2020_RafaelaSilvadeFaria.pdf). Acesso em: 10 nov. 2023.

FERRAZ, L. L. *et al.* Hydrological modeling in an agricultural basin in the Brazilian Cerrado using satellite precipitation data. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 130, p. 104548, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104548>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895981123003607?> Acesso em: 14 nov. 2023.

GAO, J. *et al.* Water footprints of irrigated crop production and meteorological driving factors at multiple temporal scales. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 255, p. 107014, set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377421002791?> Acesso em: 18 nov. 2023.

GODARA, N.; BRULAND, O.; ALFREDSEN, K. Simulation of flash flood peaks in a small and steep catchment using rain-on-grid technique. **Journal of Flood Risk Management**, New Jersey, v. 16, n. 3, p. e12898, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12898>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfr3.12898>. Acesso em: 06 dez. 2023.

HORTON, P.; SCHAEFLI, B.; KAUZLARIC, M. Why do we have so many different hydrological models? A review based on the case of Switzerland. **WIRES Water**, New Jersey, v. 9, n. 1, p. e1574, jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1574>. Disponível em: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wat2.1574>. Acesso em: 15 jan. 2024.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER AND THE ENVIRONMENT (ICWE). **The Dublin statement on water and sustainable development**. Geneva, v. 1, n. 1, 1992. Disponível em: <https://www.ielrc.org/content/e9209.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2024.

JADE, L. **Onde está a água no Brasil?** 2018. Disponível em: <https://www.ebc.com.br/especiais-agua/agua-no-brasil/>. Acesso em: 27 nov. 2023.

JAJARMIZADEH, M. HARUN, S. SALARPOUR, M. A Review on Theoretical Consideration and Types of Models in Hydrology. **Journal of Environmental Science and Technology**, London, v. 5, n. 5, p. 249-261. 2012. DOI: <https://10.3923/jest.2012.249.261>. Disponível em: <https://scialert.net/fulltext/fulltextpdf.php?pdf=ansinet/jest/2012/249-261.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2024.

JIMÉNEZ-BONILLA, A. *et al.* Hydrological modelling and evolution of lakes and playalakes in southern Spain constrained by geology, human management and climate change. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 905, p. 167183, dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167183>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723058102?> Acesso em: 28 nov. 2023.

KAUFFELDT, A. *et al.* Technical review of large-scale hydrological models for implementation in operational flood forecasting schemes on continental level. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 75, p. 68-76, jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.09.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815215300529>? Acesso em: 07 dez. 2023.

KEISER, D. A.; SHAPIRO, J. S. Consequences of the clean water act and the demand for water quality. **The Quarterly Journal of Economics**, Cambridge, v. 134, n. 1, p. 349-396, fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/qje/qjy019>. Disponível em: <https://academic.oup.com/qje/article-abstract/134/1/349/5092609?redirectedFrom=fulltext&login=false>. Acesso em: 12 dez. 2023.

KHADKA, D.; BABEL, M. S.; KAMALAMMA, A. G. Assessing the impact of climate and land-use changes on the hydrologic cycle using the SWAT Model in the Mun River Basin in northeast Thailand. **Water**, Basil, v. 15, n. 20, p. 3672, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15203672>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/20/3672>. Acesso em: 17 jan. 2024.

KNAPIK, H. G. *et al.* Avaliação da qualidade da água baseada em metodologia de hierarquização de cargas com vistas ao enquadramento com metas progressivas: estudo de caso da Bacia do Alto Iguaçu. 2007. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 27., São Paulo, 2007. **Anais [...]**. São Paulo: ABRHidro, 2007. Disponível em: [https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/151/b45943a43c60da0f74f11cdb07fee529\\_a8d4d21eda9d8e77bdb4ebf1aee1b560.pdf](https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/151/b45943a43c60da0f74f11cdb07fee529_a8d4d21eda9d8e77bdb4ebf1aee1b560.pdf). Acesso em: 02 dez. 2023.

LIN, C.Y.; YANG, Y. C. E.; KUMAR, C. A. Pay-for-practice or Pay-for-performance? A coupled agent-based evaluation tool for assessing sediment management incentive policies. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 624, p. 129959, set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129959>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169423009010>? Acesso em: 04 dez. 2023.

LIN, Q. *et al.* Web-based prototype system for flood simulation and forecasting based on the HEC-HMS model. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 158, p. 105541, dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105541>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815222002419>? Acesso em: 29 nov. 2023.

LIU, R. *et al.* Cost-effectiveness and cost-benefit analysis of BMPs in controlling agricultural nonpoint source pollution in China based on the SWAT model. **Environmental Monitoring and Assessment**, Berlin, v. 186, n. 12, p. 9011-9022, dez. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4061-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-014-4061-6>. Acesso em: 20 jan. 2024.

LIU, W. *et al.* Strategy for cost-effective BMPs of non-point source pollution in the small agricultural watershed of Poyang Lake: a case study of the Zhuxi River. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 333, p. 138949, ago. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138949>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004565352301216X?> Acesso em: 23 nov. 2023.

LUAN, X. *et al.* Quantitative study of the crop production water footprint using the SWAT model. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 89, p. 1-10, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.046>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X18300529?via%3Dihub>. Acesso em: 22 nov. 2023.

LUO, P. *et al.* Impact of forest maintenance on water shortages: hydrologic modeling and effects of climate change. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 615, p. 1355-1363, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.044>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X18300529?> Acesso em: 30 nov. 2023.

MESQUITA, L. F. G. Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 45, 2018. DOI: <https://10.5380/dma.v45i0.47280>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/47280>. Acesso em: 27 nov. 2023.

MOSBAHI, M. *et al.* Modeling hydrological responses to land use change in Sejnane Watershed, northern Tunisia. **Water**, Basel, v. 15, n. 9, p. 1737, abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15091737>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/9/1737>. Acesso em: 18 nov. 2023.

MTIBAA, S.; HOTTA, N.; IRIE, M. Analysis of the efficacy and cost-effectiveness of best management practices for controlling sediment yield: a case study of the Joumine watershed, Tunisia. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 616-617, p. 1-16, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.290>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717330085?> Acesso em: 14 dez. 2023.

NEPAL, D. *et al.* Assessing hydrological and water quality responses to dynamic land use change at watershed scale in Mississippi. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 625, p. 129983, out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129983>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169423009253?> Acesso em: 10 jan. 2024.

OLIVEIRA, V. A. *et al.* Modeling the effects of climate change on hydrology and sediment load in a headwater basin in the Brazilian Cerrado biome. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 133, p. 20-31, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857419301284?> Acesso em: 02 dez. 2023.

OLIVEIRA, K. D. *et al.* Impacts of sugarcane expansion on water availability in a river basin in southeastern Brazil. **CATENA**, Amsterdam, v. 216, p. 106437, set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106437>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816222004234?> Acesso em: 16 dez. 2023.

PEREIRA, M.; KAYSER, R.; COLLISCHONN, W. Integração do modelo hidrológico para grandes bacias MGB IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 21-33, 2012. DOI: <https://doi.org/10.21168/rega.v9n2.p21-33>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=95&SUMARIO=1299> Acesso em: 24 nov. 2023.

RÁPALO, L. M. C. *et al.* Effects of land-use and -cover changes on streamflow regime in the Brazilian Savannah. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, Amsterdam, v. 38, p. 100934, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100934>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581821001634?> Acesso em: 22 nov. 2023.

RODRIGUES, A. L.; LEAL, L. V. M. Outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos como instrumentos de gestão da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Revista de Direito**, Viçosa, v. 11, n. 01, p. 61-101, 30 ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.32361/20191116423>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/revistadir/article/view/6423>. Acesso em: 11 jan. 2024.

SENRA, J. C. B.; SOUZA, R. D. S.; BAPTISTA, M. B. O papel do plano nacional de recursos hídricos na implementação de uma política nacional de águas subterrâneas. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, jan. 2012. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27762>. Acesso em: 27 nov. 2023.

SERRÃO, E. A. de O. *et al.* Hydrological processes in a watershed on the transition from Amazon to Cerrado in Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 129, p. 104507, set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104507>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895981123003188?> Acesso em: 22 nov. 2023.

SHARMA, S. Effects of urbanization on water resources- facts and figures. **International Journal of Scientific and Engineering Research**, Rajasthan, v. 8, n. 4, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/317950856\\_EFFECTS\\_OF\\_URBANIZATION\\_ON\\_WATER\\_RESOURCES-FACTS\\_AND\\_FIGURES](https://www.researchgate.net/publication/317950856_EFFECTS_OF_URBANIZATION_ON_WATER_RESOURCES-FACTS_AND_FIGURES). Acesso em: 03 dez. 2023.

SIDLE, R. C. Strategies for smarter catchment hydrology models: incorporating scaling and better process representation. **Geoscience Letters**, Berlin, v. 8, n. 1, p. 24, jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40562-021-00193-9>. Disponível em: <https://geoscienceletters.springeropen.com/articles/10.1186/s40562-021-00193-9>. Acesso em: 14 dez. 2023.

SILVA, N. R. da; ALBUQUERQUE, T. de N. Enquadramento de corpos de água: um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos. **Geoambiente On-line**, Jataí, n. 32, dez. 2018. DOI: <https://10.5216/revgeoamb.v0i32.54654>. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/54654>. Acesso em: 27 nov. 2023.

SILVA, S. de M. **Avaliação Ambiental Estratégica na Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH**. 2008. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/2691>. Acesso em: 12 dez. 2023.

SILVEIRA, N. T. *et al.* Qualidade da Água e modelagem hidrológica: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, Pernambuco, v.3, n.3, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufs.br/index/login?source=%2Frbsr%2Farticle%2Fview%2F18691>. Acesso em: 28 nov. 2023.

SOOD, A.; SMAKHTIN, V. Global hydrological models: a review. **Hydrological Sciences Journal**, United Kingdom, v. 60, n. 4, p. 549–565, abr. 2015. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.950580>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2014.950580>. Acesso em: 29 nov. 2023.

SOUZA, M. V. K. de; SILVA, H. de P. Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH): um estudo comparativo sobre arrecadação e desembolso das bacias hidrográficas interestaduais no Brasil. **Caderno PAIC**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 659-684, 9 dez. 2021. Disponível em: <https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/477>. Acesso em: 02 dez. 2023.

SOUZA, R. M. de; KOBAYAMA, M.; SANTOS, I. dos. O modelo SWAT como ferramenta para a gestão de recursos hídricos: avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do altíssimo Rio Negro. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., Campo Grande, 2009. **Anais [...]**. Campo Grande, MS: ABRHidro, 2009. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=110&SUMARIO=2047>. Acesso em: 12 jan. 2024.

SUN, Y. *et al.* Projecting China's future water footprints and water scarcity under socioeconomic and climate change pathways using an integrated simulation approach. **Climate Services**, Amsterdam, v. 30, p. 100385, abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100385>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880723000468?> Acesso em: 28 nov. 2023.

TAN, L.; YANG, G.; ZHU, Q.; WAN, R.; SHI, K. Optimizing payment for ecosystem services in a drinking water source watershed by quantifying the supply and demand of soil retention service. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 331, p. 117303, abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117303>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723000919?> Acesso em: 09 jan. 2024.

TEFERA, G. W.; DILE, Y. T.; SRINIVASAN, R.; BAKER, T.; RAY, R. L. Hydrological modeling and scenario analysis for water supply and water demand assessment of Addis Ababa city, Ethiopia. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 46, p. 101341, abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101341>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581823000289>. Acesso em: 11 dez. 2023.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

UNIYAL, B. *et al.* Identification of critical areas and evaluation of best management practices using SWAT for sustainable watershed management. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 744, p. 140737, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140737>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720342595>. Acesso em: 05 dez. 2023.

VEITH, T. L.; WOLFE, M. L.; HEATWOLE, C. D. Optimization procedure for cost effective BMP placement at a watershed scale. **Journal of the American Water Resources Association**, New Jersey, v. 39, n. 6, p. 1331-1343, dez. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb04421.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1752-1688.2003.tb04421>. Acesso em: 30 nov. 2023.

WAGENER, T. *et al.* A framework for development and application of hydrological models. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 5, n. 1, p. 13-26, mar. 2001. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-5-13-2001>. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/5/13/2001/hess-5-13-2001.html>. Acesso em: 01 dez. 2023.

WANG, W. *et al.* Effects of best management practices on nitrogen load reduction in tea fields with different slope gradients using the SWAT model. **Applied Geography**, Germany, v. 90, p. 200-213, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.08.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622817302692>. Acesso em: 22 nov. 2023.

WANG, W. *et al.* Scenario analysis for the sustainable development of agricultural water in the Wuyuer River basin based on the WEP model with a reservoir and diversion engineering module. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 758, p. 143668, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143668>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720371990>. Acesso em: 08 dez. 2023.

WEILER, M.; BEVEN, K. Do we need a Community Hydrological Model? **Water Resources Research**, New Jersey, v. 51, n. 9, p. 7777-7784, set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014WR016731>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014WR016731>. Acesso em: 20 jan. 2024.

WOO, S.Y.*et al.* Evaluating the impact of interbasin water transfer on water quality in the recipient river basin with SWAT. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 776, p. 145984, jul. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145984>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721010512>. Acesso em: 07 dez. 2023.

WU, L.*et al.* Integrated modeling framework for evaluating and predicting the water resources carrying capacity in a continental river basin of Northwest China. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 204, p. 366-379, 10 dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.319>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618326805>. Acesso em: 05 dez. 2023.

YU, X.; ZHANG, J. The Application and applicability of HEC-HMS model in flood simulation under the condition of river basin urbanization. **Water**, Basel, v. 15, n. 12, p. 2249, jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15122249>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/12/2249>. Acesso em: 25 nov. 2023.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo), por meio de financiamento do projeto de pesquisa aprovado no Edital Universal 03/2021.