ISSN 2675-3359
Revista Mineira de Recursos Hídricos
v. 7, 2026
Instituto Mineiro de Gestão das Águas - rmrh.igam.mg.gov.br

METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS E BARRAMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM SENSORIAMENTO REMOTO E COMPUTAÇÃO EM NUVEM COMO FERRAMENTA PARA GESTÃO E FISCALIZAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A Remote Sensing and Cloud-Based Methodology for Mapping Water Bodies and Dams in Watersheds

Igor José de Lima Silva[1]*

Diego Rodrigues Macedo[2]

Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega[3]

RESUMO

A gestão territorial e o planejamento dos recursos hídricos são primordiais para assegurar controle sobre os usos da água. O mapeamento de corpos hídricos e barragens de acumulação proporciona maior controle sobre os recursos hídricos, auxiliando na fiscalização tanto dos usos quanto nas intervenções em cursos d'água, práticas que, sem a devida autorização, aumentam a probabilidade de surgirem situações de escassez. Visto isso, o objetivo geral deste trabalho foi elaborar uma proposta metodológica que permita identificar e mapear de maneira eficaz corpos hídricos superficiais e possíveis barramentos em cursos d'água utilizando o *Google Earth Engine*, viabilizando estratégias de monitoramento e fiscalização por meio dos órgãos responsáveis. A metodologia proposta permitiu mapear corpos hídricos superficiais de maneira eficaz, oferecendo uma abordagem de fácil implementação que pode viabilizar estratégias de fiscalização mais efetivas, as quais podem ser replicadas em outras bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais.

[1] Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Especialista em Meio Ambiente e Sustentabilidade pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Bacharel em Geografia pela UFMG. Analista GIS – e-mail: igorlimacmd@ufmg.br *Autor correspondente

2 Doutor em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre pela UFMG. Mestre em Geografia, Análise Ambiental pela UFMG. Especialista em Geoprocessamento e Estatística pela UFMG. Bacharel em Geografia pela UFMG. Professor Adjunto da UFMG – e-mail: diegorm@ufmg.br

3 Mestre e Doutor em Engenharia de Transportes com ênfase em Sensoriamento Remoto e SIG pela Escola Politécnica da USP e Mississippi State University. Graduado em Engenharia Cartográfica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Professor Associado da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – e-mail: raanobrega@ufmg.br

(cc) BY-NC

Palavras-chave: Recursos hídricos; Fiscalização ambiental; Geotecnologias.

ABSTRACT

This study highlights the importance of territorial management and water resources planning in ensuring effective control over water use. The mapping of water bodies and storage structures enhances water governance by supporting the monitoring and regulation of both water uses and interventions in watercourses. Unauthorized activities in this context may increase the risk of water scarcity. In this regard, the main objective of this study was to develop a methodological framework for the efficient identification and mapping of surface water bodies and potential river impoundments using Google Earth Engine, thereby enabling improved monitoring and enforcement actions by regulatory authorities. The proposed methodology proved effective in mapping surface water bodies, offering a practical, scalable, and easily implementable approach. This framework has the potential to support more efficient environmental enforcement strategies and can be replicated across other watersheds in the state of Minas Gerais.

Keywords: *Water resources; Environmental Enforcement; Geotechnologies.*

Data de submissão: 13/08/2025

Data de aprovação: 15/05/2026

1 INTRODUÇÃO

A gestão territorial e o planejamento dos recursos hídricos no território da bacia hidrográfica são primordiais para assegurar controle sobre os usos da água, principalmente naquelas áreas que apresentam escassez hídrica, que é definida como o processo de desequilíbrio entre demanda e disponibilidade de água (Food And Agriculture Organization - FAO, 2012). A construção e operação de barragens de acumulação geram elevado impacto ambiental, existindo normas, tanto no âmbito estadual quanto nacional, para sua construção e operação. Estas barragens, em sua grande maioria, têm como finalidade o acúmulo de água ou a elevação do nível dos cursos d'água, com objetivo de abastecer sistemas de irrigação em propriedades rurais (Maffra; Souza, 2019). Nesta direção, é comum o uso da água e a realização de intervenções em cursos d'água sem a devida autorização, práticas que aumentam a probabilidade de surgirem situações de escassez em relação à disponibilidade de água, ocasionando conflitos pela utilização dos recursos hídricos. Neste cenário, a segurança hídrica

(cc) BY-NC

- conceito que compreende a salvaguarda da disponibilidade de água para o abastecimento humano e atividades produtivas (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, 2019) - fica comprometida, fazendo-se necessária a intervenção do poder público.

Para garantir um planejamento eficiente no uso dos recursos hídricos, é imprescindível a realização de estudos técnicos e científicos que avaliem tanto a demanda por água quanto a disponibilidade hídrica da bacia. Nesse contexto, o uso de geotecnologias se destaca como uma ferramenta estratégica, ao possibilitar a análise detalhada da dinâmica do uso e ocupação do solo.

Dessa forma, contribui-se para a geração de conhecimentos que servem de suporte às ações dos órgãos gestores, especialmente nos processos de planejamento, tomada de decisão e fiscalização. Nesta direção, a utilização de sensoriamento remoto e geoprocessamento associados a plataformas de alta performance, baseadas em computação em nuvem para análise de dados, propicia diversas soluções, como é o caso do *Google Earth Engine* (GEE). O GEE permite a realização de análises geoespaciais em diversas escalas através de um amplo catálogo de imagens de livre acesso (p.ex. Landsat, Sentinel, modelos de elevação), gerando produtos que são utilizados em diversos ramos das ciências ambientais, como no combate ao desmatamento, gestão de água, monitoramento climático e proteção ambiental (Gorelick *et al*., 2017). Neste contexto, o geoprocessamento, sensoriamento remoto e computação em nuvem vêm sendo utilizados frequentemente em trabalhos voltados a gestão do território e sua associação com a disponibilidade de água (Shen et al., 2015; Zhang *et al*, 2021), assim como no mapeamento de uso e ocupação da terra (Phan; Kuch; Lehnert, 2020; Zhao *et al*., 2024).

Com base nessa fundamentação teórica e associado ao fato de que a adoção de novos procedimentos, durante o processo de gestão de bacias hidrográficas, tem potencial de auxiliar na manutenção da segurança hídrica e na sustentabilidade ambiental, este trabalho tem como objetivo elaborar uma proposta metodológica que permita identificar e mapear de maneira eficaz corpos hídricos superficiais e possíveis barramentos em cursos d'água, como subsídio à gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas, viabilizando estratégias de monitoramento e fiscalização por meio dos órgãos responsáveis.

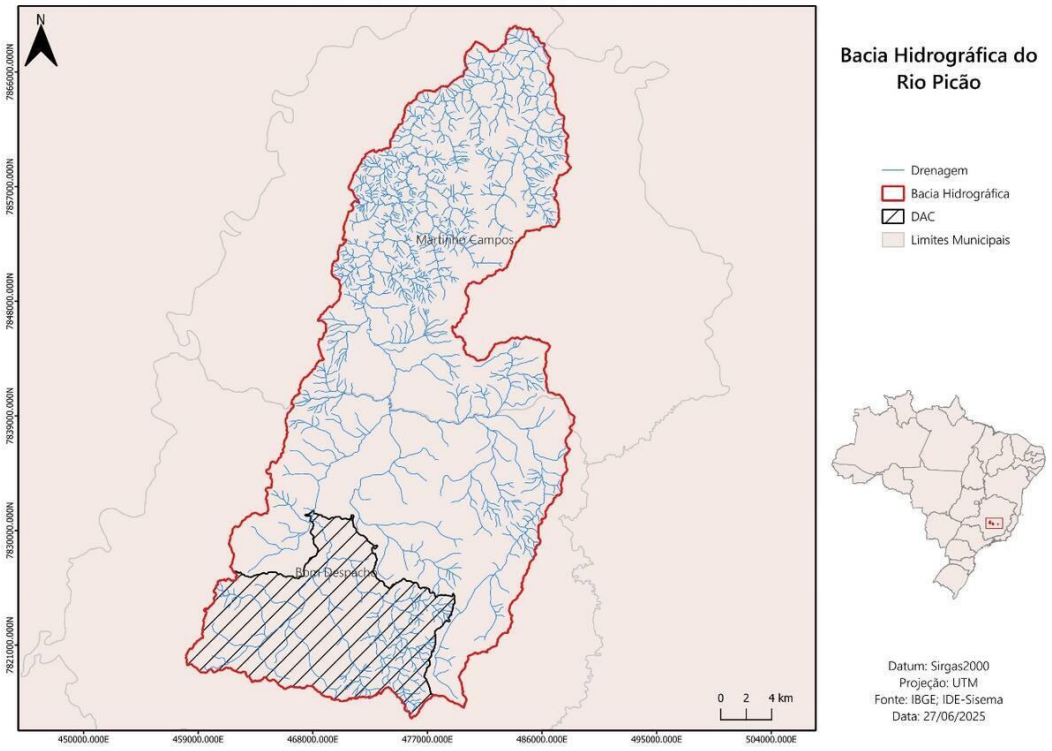
(cc) BY-NC

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Caracterização da área de estudo

A área deste estudo, segundo Mapa 1, corresponde à bacia hidrográfica do Rio Picão (BHRP) que abrange uma área de aproximadamente 894,87 km² e está inserida na região do Alto Rio São Francisco. Esta bacia hidrográfica está situada nos municípios de Bom Despacho e Martinho Campos, ambos no estado de Minas Gerais. A cobertura do solo na bacia é composta, em sua maioria, por áreas de agricultura e pastagem (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pará - CBH DO RIO PARÁ, 2008). Atualmente, a BHRP está em situação de Declaração de Área de Conflito (DAC), este instrumento é empregado em casos de indisponibilidade hídrica e prevê a intervenção do poder público no planejamento das demandas futuras por água, assim como, a alocação negociada de recursos, por meio da concessão de outorgas coletivas (Minas Gerais, 2019).

Mapa 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Picão (BHRP)



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

(cc) BY-NC

2.2 Metodologia

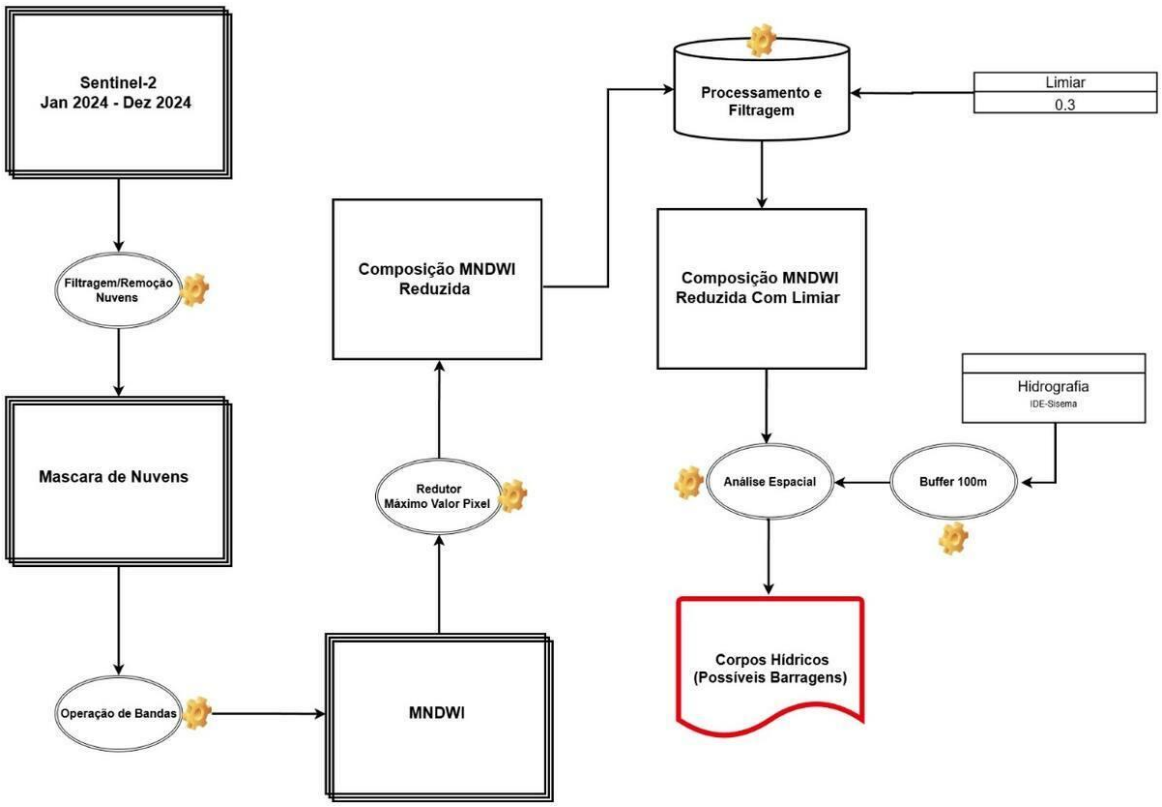
A estratégia metodológica de identificação dos corpos hídricos superficiais foi desenvolvida através de índices espectrais normalizados, que são obtidos por meio de operações envolvendo as bandas existentes em uma imagem obtida por sensoriamento remoto. Neste caso, foi utilizado o MNDWI (*Modified Normalised Difference Water Index* - Índice de Água de Diferença Normalizado Modificado), sendo este um índice que permite diferenciar de forma precisa a água de outras feições que não são água, realçando corpos d'água em áreas com muitos elementos construídos (Xu, 2006). Através da plataforma *Google Earth Engine*, foram selecionadas as imagens Sentinel-2 (resolução espacial 10 metros) - para a área da BHRP - de janeiro a dezembro de 2024 que apresentassem no máximo 5% de cobertura de nuvens, totalizando 26 imagens. Este recorte temporal foi definido buscando obter dados que representassem a área de estudo durante todas as estações do ano, obtendo informações de períodos com maior e menor precipitação. Através destas imagens, foi calculado o MNDWI e este foi adicionado como uma banda nas 26 imagens e a partir destas, uma imagem única composta foi gerada, reduzindo a coleção de imagens calculando o valor máximo em cada pixel na pilha de todas as bandas correspondentes, ou seja, foi utilizado um redutor de máximo valor de pixel na coleção de imagens. Este processo busca obter uma composição onde somente os maiores valores de cada pixel são mantidos, como forma de identificar os locais da BHRP que ao longo do ano de 2024 apresentaram, segundo o índice, a presença de água.

Após elaborada a imagem composta, resultante da operação pelo máximo valor de pixel, foi definido um limiar para o índice, a fim de distinguir os corpos hídricos das áreas restantes. Para isto, adotou-se o valor de 0,3, visando reduzir eventuais confusões entre áreas cobertas por água e aquelas com presença de áreas úmidas ou cobertas por sombras. Segundo Xu (2006) limiares a partir de zero, já garantem boa acurácia na identificação de corpos d'água com o MNDWI, sendo o valor escolhido neste estudo uma medida conservadora para aumentar a precisão. Com a imagem binária resultante da aplicação do limiar, as áreas mapeadas como água foram filtradas com base em sua proximidade a um curso d'água, considerando-se que o objetivo deste estudo é identificar barramentos construídos utilizando águas superficiais. Neste sentido, foi calculado um *buffer* de 100 metros, dos dados de hidrografia da BHRP (MINAS GERAIS, 2019), uma vez que devido a escala de produção deste dado, os trechos de drenagem

(cc) BY-NC

podem estar deslocados espacialmente em relação a realidade (FLUXOGRAMA 1).

Fluxograma 1 – Metodologia utilizada



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

2.3 Resultados e discussões

As áreas mapeadas como água através da utilização de sensoriamento remoto e geoprocessamento, segundo Mapa 2, propiciam o entendimento da distribuição espacial destas no território da bacia hidrográfica. Tal dado permite direcionar órgãos públicos somente àquelas áreas realmente de interesse, sendo que filtros, como de tamanho do espelho d'água e distância à rios, podem ser aplicados de acordo com a área alvo da análise. A metodologia empregada neste trabalho obteve bons resultados em mapear corpos hídricos superficiais, segundo Mapa 3, entretanto ainda é necessária uma avaliação visual em imagem de melhor qualidade, como as disponibilizadas na plataforma *Google Earth*, a fim de diferenciar barragens de lagos e lagoas naturais, por exemplo.

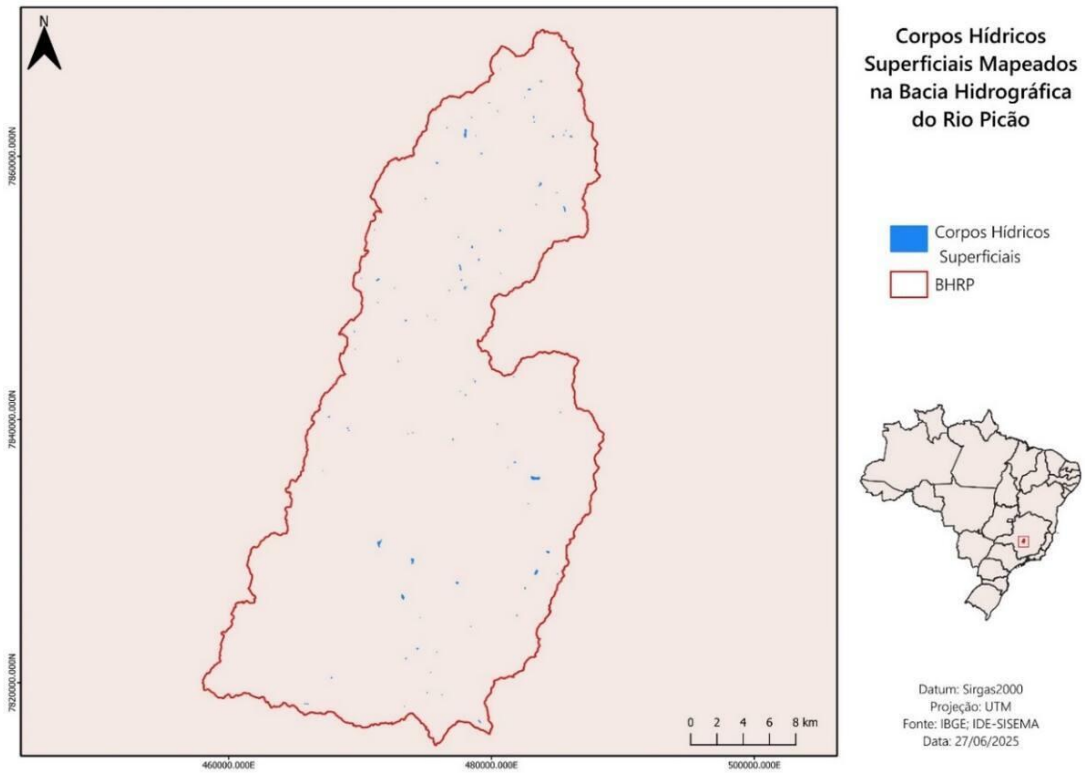
(cc) BY-NC

O uso da metodologia aqui proposta, tem a potencialidade de aprimorar o ordenamento territorial e o gerenciamento de recursos hídricos, servindo de subsídio na definição de ações prioritárias de fiscalização que devem ser realizadas pelo poder público, por meio dos órgãos competentes, como é o caso do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), já que, em sua maioria, barragens de irrigação são construídas de maneira irregular - em desconformidade aos padrões construtivos necessários e sem autorização dos órgãos ambientais responsáveis - sendo comum que a utilização dessas estruturas não considere a perenidade a jusante dos cursos d'água alvo do barramento, causando, entre outros, que proprietários rurais sofram com falta de água, inclusive para consumo humano e dessedentação de animais (Maffra; Souza, 2019).

Como a metodologia é baseada em uma plataforma de computação em nuvem não são necessários computadores de alto desempenho - geralmente necessários no tratamento de imagens de satélite - para sua realização, o que propicia que diversos agentes públicos tenham acesso aos dados produzidos. Essa abordagem possibilita o compartilhamento do conhecimento, além do acesso a uma grande quantidade de dados, aplicações e serviços, propiciando uma maximização de recursos computacionais (Carvalho Júnior, 2018). Além disso, é possível replicar essa metodologia em bacias hidrográficas de extensões variadas de acordo com as necessidades existentes, sendo então uma metodologia completamente escalável.

(cc) BY-NC

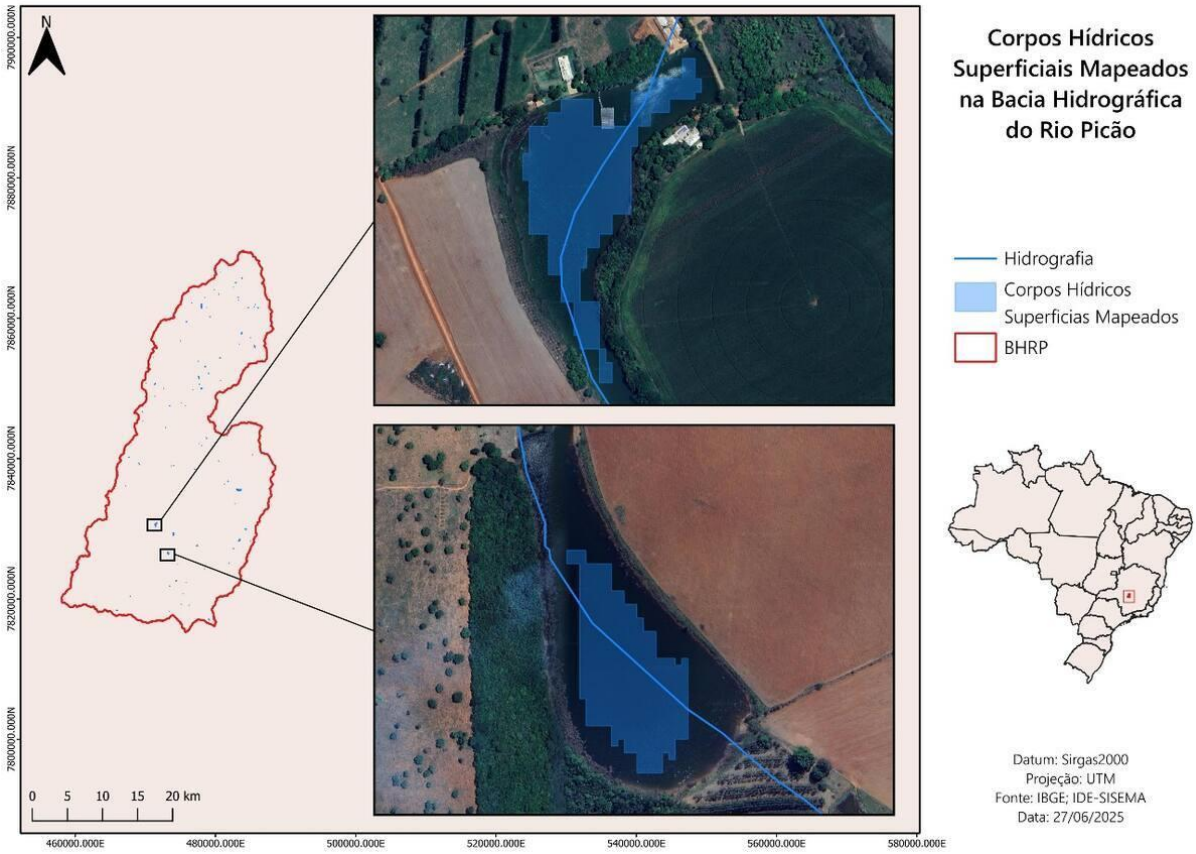
Mapa 2 – Corpos Hídricos Mapeados na BHRP



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

(cc) BY-NC

Mapa 3 – Corpos Hídricos Mapeados na BHRP



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

3 CONCLUSÃO

O entendimento da disponibilidade hídrica e da disposição espacial de corpos d'água superficiais é extremamente importante para subsidiar a tomada de decisão, assim como, um planejamento ambiental robusto em bacias hidrográficas. Nesta nota técnica buscamos demonstrar como a utilização de geotecnologias, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, podem ser incorporadas à processos de gestão do território de bacias hidrográficas, refinando o mapeamento de possíveis barramentos em cursos d'água, fornecendo subsídios ao gerenciamento de recursos hídricos e processos de fiscalização. O trabalho propõe uma abordagem de fácil implementação que pode viabilizar estratégias de fiscalização mais eficazes, as quais podem ser replicadas em outras bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais.

(cc) BY-NC

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/78093. Acesso em: 7 jun. 2024.

CARVALHO JÚNIOR, A. O. A. de. Aplicações e perspectivas do sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas inundáveis. **Revista de Geografia**, Recife, v. 35, n. 4, p. 412- 431, set. 2018. DOI: https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.238239 . Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/352115661_APLICACOES_E_PERSPECTIVAS_DO_SENSORIAMENTO_REMOTO_PARA_O_MAPEAMENTO_DE_AREAS_INUNDAVEIS. Acesso em: 7 jun. 2024.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARÁ - CBH DO RIO PARÁ. **Plano Diretor de Bacia Hidrográfica do Rio Pará**. 2008. Disponível em: https://cbhriopara.org.br/riopara/plano-diretor. Acesso em: 25 jun. 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security**. Roma: FAO, 2012. Disponível em: http://www.fao.org/docrep/016/ i3015e/i3015e. pdf. Acesso em: 07 jun. 2025.

GORELICK, N. *et al*. Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment,** New York, v. 202, p. 18-27, dec. 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900. Acesso em: 7 jun. 2024.

MAFFRA, M. A.; SOUZA, D. C. D. Barragens para irrigação: aspectos jurídicos e ambientais da sua construção, operação e remoção. **Revista do CNMP**, Brasília, DF, n. 7, p. 146-166, jun. 2019. DOI: https://doi.org/10.36662/revistadocnmp.i7.107. Disponível em: https://ojs.cnmp.mp.br/index.php/ revistacnmp/article/view/107. Acesso em: 27 jun. 2025.

MINAS GERAIS. Decreto n. 47.705, de 04 de setembro de 2019. Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. **Minas Gerais**, Belo Horizonte, 04 set. 2019. Disponível em: https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49498. Acesso em: 23 maio 2024.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (Igam). **Regionalização de vazão - vazões calculadas dos ottotrechos de drenagem**. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2025. Camada vetorial (shapefile). Disponível em: https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/. Acesso em: 25 maio 2025.

(cc) BY-NC

PHAN, T. N.; KUCH, V.; LEHNERT, L. W. Land cover classification using google earth engine and random forest classifier - the role of image composition. **Remote Sensing**, Basel, v.12, n. 15, p. 2411, jan. 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12152411. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/12/15/2411. Acesso em: 17 jun. 2024.

SHEN, Z. *et al*. Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: a case study in a typical urbanised watershed in China. **Ecological Indicators**, Amsterdam,v. 48, p. 417- 427, jan. 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X14003744. Acesso em: 25 jun. 2024.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, London, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, jul. 2006. DOI: https://doi.org/10.1080/01431160600589179. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431160600589179. Acesso em: 27 jun. 2025.

ZHANG, X. *et al*. Identifying the drivers of water yield ecosystem service: a case study in the yangtze river basin, China. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 132, dez. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108304. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21009699. Acesso em: 25 jun. 2024.

ZHAO, Z. *et al*. Comparison of three machine learning agorithms using google earth engine for land use land cover classification. **Rangeland Ecology & Management**, Lakewood, CO, v. 92, p.129-137, jan. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rama.2023.10.007. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1550742423001227. Acesso em: 17 jun. 2024.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebe financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Igam (APQ-00261-22), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (Código 001) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (PQ-311002/2023-4 para DRM e PQ-315631/2021-0 para RAAN).

(cc) BY-NC