1º HIDROGEOMINAS
SIMPÓSIO MINEIRO DE HIDROGEOMORFOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS
07 – 10 de setembro de 2026
Departamento de Geografia – UFMG
Belo Horizonte - MG

# ANÁLISE ESPACIAL DA CRITICIDADE HÍDRICA E DAS LIMITAÇÕES DE MONITORAMENTO NA BACIA DO RIO DAS VELHAS (MG)

Carolina Cramer Almeida Marques Moura [1]
Luis Felipe Soares Cherem [2]
Antônio Magalhães Pereira Júnior [3]

## RESUMO

A crescente pressão sobre os recursos hídricos, associada à intensificação dos usos e à variabilidade da disponibilidade hídrica, impõe desafios à gestão de bacias hidrográficas submetidas a forte intervenção antrópica. Nesse contexto, a integração entre dados de disponibilidade e demanda hídrica constitui ferramenta relevante para análises exploratórias da pressão sobre os recursos hídricos. Este estudo consiste em uma análise exploratória da relação entre disponibilidade hídrica e demanda de uso da água na bacia do rio das Velhas (MG), a partir da integração entre vazões de referência (Q95) e dados de outorga. A metodologia foi estruturada em três etapas principais: levantamento de dados hidrológicos e de uso da água, cálculo do indicador de pressão relativa (D/Q95) e análise espacial comparativa entre os trechos da bacia. Foram selecionadas estações fluviométricas representativas dos trechos de alto curso, transição e baixo curso, bem como pontos de outorga considerados representativos dos diferentes usos e magnitudes de captação. Os resultados indicam tendência de redução da disponibilidade hídrica ao longo do curso fluvial, acompanhada por aumento relativo da pressão sobre os recursos hídricos, com maiores valores do indicador observados no trecho de transição da bacia. Adicionalmente, o estudo evidenciou limitações relevantes associadas à disponibilidade de séries fluviométricas consistentes justamente nas áreas submetidas a maior pressão antrópica. Os resultados devem ser interpretados em caráter exploratório, considerando as limitações associadas à amostragem dos pontos de outorga e à disponibilidade de dados hidrológicos, mas reforçam a importância do monitoramento hidrológico para análises espaciais e suporte à gestão de recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Gestão de recursos hídricos; Pressão hídrica; Disponibilidade hídrica; Uso da água; Pressão antrópica.

## INTRODUÇÃO

A gestão de recursos hídricos tem se tornado progressivamente mais desafiadora diante do aumento das demandas, da degradação da qualidade da água e das alterações no regime hidrológico associadas às mudanças climáticas (UNESCO, 2024; ANA, 2024). Nesse contexto, a relação entre

[1] Doutoranda do Curso de Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, carolinacramer@gmail.com;
[2] Professor do Departamento de Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, lfcherem@ufmg.br;
[3] Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, antonio.magalhaes.ufmg@gmail.com.

disponibilidade hídrica e usos consuntivos assume papel central na avaliação da sustentabilidade dos sistemas fluviais, especialmente em bacias com elevada pressão antrópica. A literatura internacional destaca que a análise da pressão sobre os recursos hídricos deve considerar não apenas volumes absolutos, mas a relação entre demanda e disponibilidade, frequentemente expressa por indicadores de estresse hídrico e pressão hídrica (RASKIN et al., 1997; OECD, 2015).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) estabelece instrumentos voltados à gestão integrada das águas, incluindo outorga, enquadramento e cobrança pelo uso da água. Entretanto, a operacionalização desses instrumentos depende diretamente da disponibilidade de informações hidrológicas consistentes, sobretudo em bacias hidrográficas submetidas a elevada pressão antrópica e forte variabilidade espacial da disponibilidade hídrica.

No âmbito hidrológico, a vazão de permanência Q95 é amplamente utilizada como referência de disponibilidade em condições de baixa vazão, tanto em estudos hidrológicos quanto em processos de gestão e outorga de recursos hídricos (TUCCI, 2012; SMAKHTIN, 2001). A relação entre demanda hídrica e disponibilidade de referência permite avaliar a pressão relativa exercida sobre o recurso ao longo da bacia hidrográfica, constituindo um indicador amplamente empregado em análises exploratórias de criticidade hídrica (OECD, 2015). Para estimativa da demanda, podem ser utilizados dados de outorga, que representam os volumes autorizados de uso da água nos diferentes setores usuários (ANA, 2023).

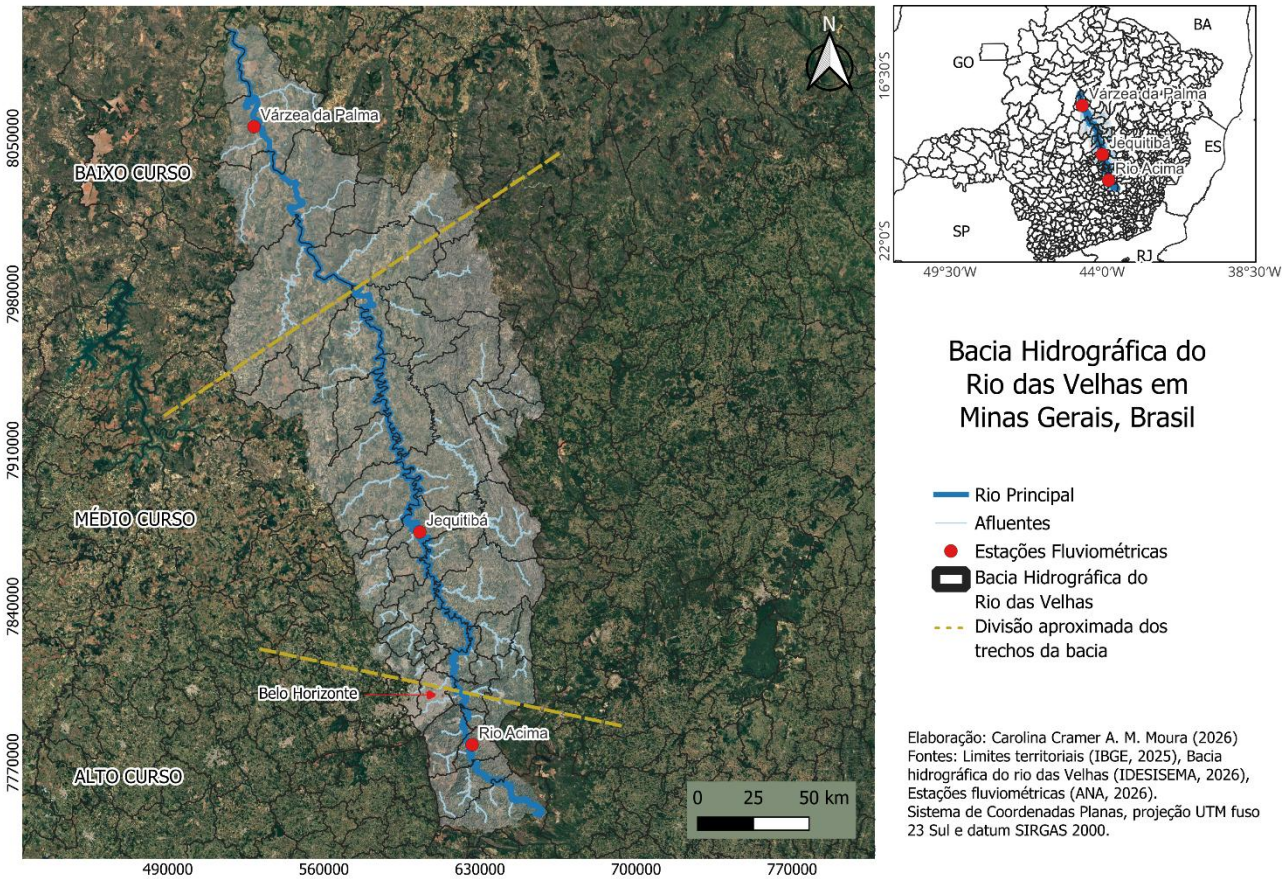
A bacia do Rio das Velhas, um dos maiores afluentes do rio São Francisco (MG), constitui um caso relevante para esse tipo de análise, por apresentar elevada diversidade de usos, forte concentração urbana e industrial na porção central da bacia e significativa heterogeneidade espacial da disponibilidade hídrica. Além disso, a bacia apresenta importantes desafios relacionados à disponibilidade e consistência de dados hidrológicos em determinados trechos, aspecto que pode influenciar diretamente análises de pressão hídrica e suporte à gestão dos recursos hídricos.

Dessa forma, este trabalho consiste em uma análise exploratória da relação entre disponibilidade hídrica e demandas de uso da água na bacia do Rio das Velhas (MG), a partir da integração entre vazões de referência (Q95) e dados de outorga. O objetivo é analisar a variação espacial da pressão relativa sobre os recursos hídricos ao longo da bacia, bem como discutir limitações associadas à disponibilidade de dados hidrológicos em áreas submetidas a maiores pressões antrópicas.

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio das Velhas (Figura 1) apresenta elevada relevância estratégica para o abastecimento urbano da Região Metropolitana de Belo Horizonte, além de concentrar usos múltiplos da água associados à mineração, indústria, irrigação e atividades agropecuárias. Do ponto de vista hidrológico, a bacia apresenta significativa heterogeneidade espacial da disponibilidade hídrica e de pressões antrópicas, configurando-se como área relevante para análises exploratórias da relação entre disponibilidade e demandas hídricas.

Figura 1. Mapa da bacia hidrográfica do Rio das Velhas




Fonte: Autores, 2026

## MATERIAIS E MÉTODOS

A base metodológica deste estudo consistiu em uma análise exploratória da relação entre disponibilidade hídrica e demanda de uso da água na bacia do Rio das Velhas (MG), estruturada a partir da integração entre dados hidrológicos e informações de outorga de uso da água. A pesquisa foi organizada em três etapas principais:

(i) levantamento e organização das bases de dados referentes à disponibilidade hídrica (Q95) e à demanda hídrica associada às outorgas de uso da água;

(ii) cálculo da relação entre demanda hídrica e disponibilidade de referência, utilizada como indicador de pressão relativa sobre os recursos hídricos;
(iii) análise espacial comparativa da variação da pressão relativa ao longo da bacia hidrográfica.

Os dados hidrológicos foram obtidos a partir do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH/Hidroweb), disponibilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), enquanto os dados de uso da água foram obtidos por meio de consultas ao sistema IDE-SISEMA, considerando outorgas representativas dos diferentes usos consuntivos.

Foram selecionadas estações fluviométricas ao longo do curso principal do Rio das Velhas, buscando representar a variação espacial da disponibilidade hídrica entre os trechos de alto curso, transição e baixo curso. Para o trecho de cabeceira, foi utilizada a estação Rio Acima (código 41195050), representativa de condições de menor pressão antrópica. Para o trecho de transição, foi utilizada a estação Jequitibá (código 41410000), selecionada em razão da limitação de séries hidrológicas consistentes em parte do trecho médio da bacia. Para o baixo curso, foi utilizada a estação Várzea da Palma (código 41990000), representativa das condições hidroambientais locais.

A disponibilidade hídrica foi representada pela vazão de permanência Q95, amplamente empregada como referência de disponibilidade em condições de baixa vazão em estudos hidrológicos e na gestão de recursos hídricos (TUCCI, 2012; SMAKHTIN, 2001). Os valores de Q95 utilizados neste estudo foram obtidos a partir das séries históricas disponibilizadas no Hidroweb/ANA para as estações selecionadas.

A pressão relativa sobre os recursos hídricos foi estimada a partir da relação entre demanda hídrica e vazão de referência Q95, conforme a expressão:

$$Crit = \mathrm{D} / Q_{95}$$

Em que $Crit$ representa o indicador de pressão relativa, $D$ corresponde à demanda hídrica estimada a partir dos volumes outorgados representativos por trecho da bacia pelo site do IDE-SISEMA, considerando diferentes usos e magnitudes de captação e, $Q_{95}$ representa a vazão de referência associada a condições de baixa disponibilidade hídrica. A estimativa da demanda hídrica foi realizada por meio da agregação de pontos de outorga considerados representativos dos diferentes usos e magnitudes de captação em cada trecho da bacia. A seleção dos pontos teve caráter exploratório e não censitário, buscando representar diferentes perfis de uso da água ao longo do sistema fluvial.

A análise espacial foi conduzida em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), possibilitando a integração dos dados hidrológicos e de uso da água e a elaboração de representações espaciais da variação da pressão relativa ao longo da bacia hidrográfica.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados foi estruturada a partir da integração entre disponibilidade hídrica e demanda de uso da água ao longo da bacia. Inicialmente, são apresentados os padrões espaciais de disponibilidade hídrica e pressão relativa sobre o recurso, seguidos da discussão das limitações associadas à disponibilidade de dados hidrológicos em trechos da bacia. Para o alto curso, na região de Rio Acima (código 41195050), foram selecionados 4 pontos (Tabela 1).

Tabela 1. Pontos selecionados do trecho de alto curso.

| Ponto | Uso | Vazão original (m³/h) | Vazão convertida (m³/s) |
|---|---|---|---|
| Prefeitura (Rio Acima) | Abastecimento público | 6 | 0,0017 |
| Sudoeste Rio Acima | Uso consultivo produtivo | 50 | 0,0139 |
| Vale (Nova Lima) | Mineração/industrial | 690 | 0,1917 |
| Sul Nova Lima | Mineração/industrial | 300 | 0,0833 |

D = 0,0017+0,0139+0,1917+0,0833 ≈ **0,291 m³/s**

Crit = 0,291 / 57,34 ≈ **0,005**

O trecho de alto curso apresentou menor pressão relativa sobre os recursos hídricos (Crit ≈ 0,005), indicando que a demanda estimada representa pequena parcela da vazão de referência disponível. Ainda que estejam presentes usos associados ao abastecimento público e à atividade minerária, há maior disponibilidade hídrica relativa em comparação aos demais trechos analisados.

Para o trecho médio-baixo (transição), na região de Jequitibá (código 41410000), foram selecionados 8 pontos (Tabla 2).

Tabela 2. Pontos selecionados do trecho de transição.

| Município | Uso principal | Vazão original (m³/h) | Vazão convertida (m³/s) |
|---|---|---|---|
| Belo Horizonte | Caminhão-pipa | 20,1 | 0,00558 |
| Nova Lima | Mineração / rebaixamento | 1260 | 0,35 |
| Lagoa Santa | Consumo humano / industrial | 15 | 0,00417 |
| Pedro Leopoldo | Industrial / serviços | 34,66 | 0,00963 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sete Lagoas | Consumo humano / dessedentação | 15 | 0,00417 |
| Prudente de Morais | Irrigação | 90 | 0,025 |
| Funilândia | Irrigação | 33,12 | 0,0092 |
| Jequitibá | Irrigação | 45 | 0,0125 |

D = 0,42025 + 0,00828 ≈ **0,42853 m³/s**

Crit = 0,42853 / 27,87 ≈ **0,01538**

Para reduzir a subestimação inicial das demandas no trecho de transição, a amostragem de pontos de outorga foi ampliada, contemplando usos urbanos, industriais, minerários e agropecuários em diferentes faixas de vazão. A seleção não teve caráter censitário, isto é, não corresponde ao total de outorgas existentes no trecho, mas a uma amostra intencional destinada a representar a diversidade e a magnitude dos usos consuntivos na região. O trecho de transição apresentou maior pressão relativa sobre os recursos hídricos em comparação ao alto curso (Crit ≈ 0,01538), padrão associado à concentração de usos urbanos, industriais, minerários e agropecuários ao longo do eixo metropolitano.

Para a bacia do baixo curso, na região de Várzea da Palma (código 41990000), foram selecionados 4 pontos (Tabela 3).

Tabela 3. Pontos selecionados do trecho de baixo curso.

| **Município** | **Uso principal** | **Vazão original (m³/h)** | **Vazão convertida (m³/s)** |
|---|---|---|---|
| Curvelo | Consumo humano | 10 | 0,00278 |
| Santo Hipólito | Irrigação / consumo humano / dessedentação | 12 | 0,00333 |
| Augusto de Lima | Irrigação | 200 | 0,05556 |
| Várzea da Palma | Irrigação / consumo humano / dessedentação | 198 | 0,055 |

D = 0,00278+0,00333+0,05556+0,05500 ≈ **0,11667m³/s**

Crit = 0,11667 / 9,33 ≈ **0,0125**

Este trecho apresentou pressão relativa superior à observada no alto curso (Crit ≈ 0,0125), dinâmica associada à redução da vazão de referência e à presença de demandas ligadas principalmente à irrigação, consumo humano e dessedentação animal. Observa-se tendência de aumento da pressão relativa sobre os recursos hídricos em direção aos segmentos a jusante da bacia (Tabela 4).

Tabela 4. Tabela das estações e seus respectivos dados de Q95, D e Crit.

| Estação | Trecho | Q95 (m³/s) | D (m³/s) | Crit |
|---|---|---|---|---|
| 41195050 | Alto | 57,34 | 0,291 | 0,00507 |
| 41410000 | Transição | 27,87 | 0,42853 | 0,01538 |
| 41990000 | Baixo | 9,33 | 0,11667 | 0,0125 |

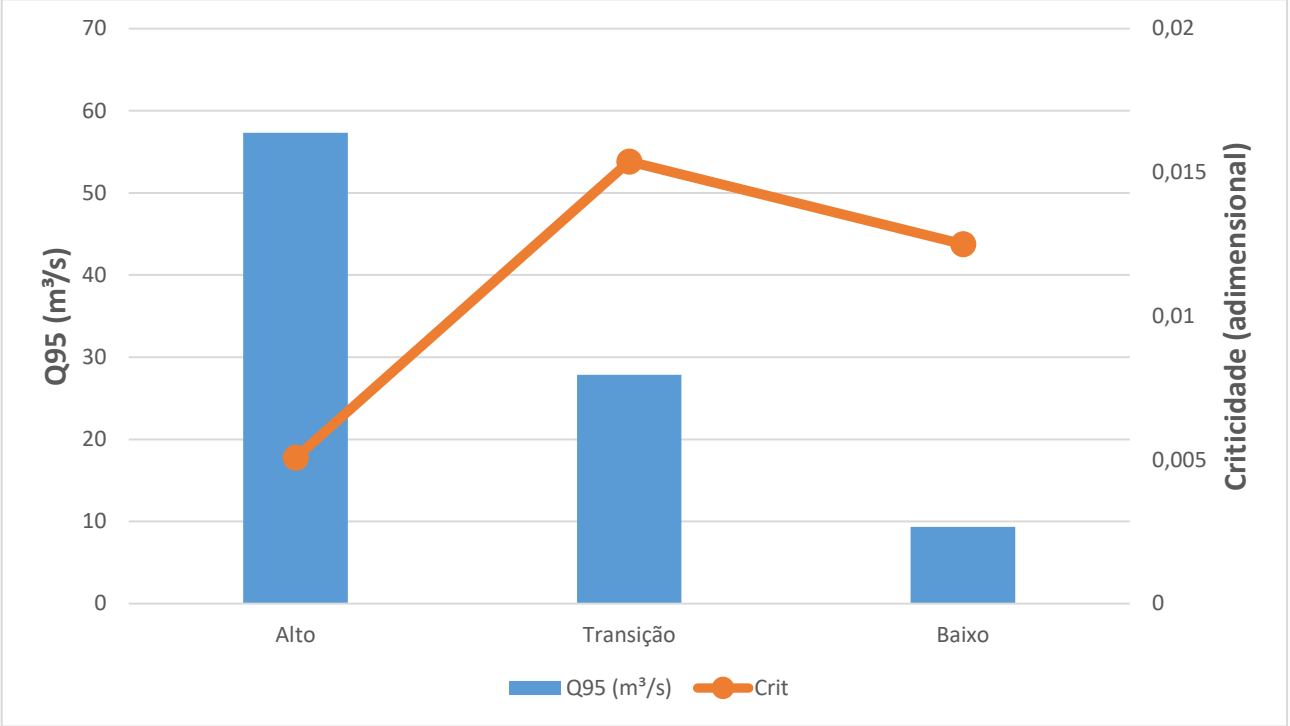
A síntese dos resultados indica uma tendência espacial de redução da disponibilidade hídrica ao longo do Rio das Velhas, acompanhada por aumento relativo da pressão sobre os recursos hídricos. Em termos quantitativos, a vazão de referência Q95 diminui progressivamente entre os trechos analisados, passando de 57,34 m³/s no alto curso para 9,33 m³/s no baixo curso, enquanto os valores do indicador de pressão relativa aumentam de 0,00507 para 0,01250.

Do ponto de vista hidrológico, esse padrão é compatível com sistemas fluviais submetidos à redução gradual da disponibilidade hídrica associada à concentração espacial de usos consuntivos ao longo da bacia. Entretanto, os resultados dos trechos devem ser interpretados em caráter exploratório, considerando as limitações associadas à amostragem dos pontos de outorga e à disponibilidade de séries hidrológicas consistentes em determinados trechos da bacia.

Adicionalmente, a análise evidencia uma fragilidade relevante relacionada à disponibilidade de dados hidrológicos, especialmente no trecho de transição da bacia, onde se concentram usos urbanos, industriais, minerários e agropecuários mais intensivos. Paradoxalmente, essa região apresentou maior limitação de séries fluviométricas consistentes no Hidroweb, impondo restrições à representatividade espacial da análise. Esse resultado reforça a importância do fortalecimento das redes de monitoramento hidrológico em áreas submetidas a maior pressão antrópica, como condição relevante para aprimoramento de análises hidrológicas e suporte à gestão dos recursos hídricos.

A Figura 2 apresenta a relação entre disponibilidade hídrica (Q95) e pressão relativa sobre os recursos hídricos ao longo da bacia do Rio das Velhas.

Figura 2. Relação entre disponibilidade hídrica (Q95) e pressão relativa ao longo da bacia do rio das Velhas.




Fonte: Autores, 2026

Observa-se redução progressiva da vazão de referência entre os trechos analisados, acompanhada por aumento relativo do indicador de pressão hídrica. O trecho de transição mostra os maiores valores do indicador (Crit ≈ 0,01538), refletindo a concentração de usos múltiplos ao longo do eixo metropolitano da bacia, enquanto o baixo curso manteve valores relativamente superiores aos observados no alto curso (Crit ≈ 0,01250), mesmo com menor disponibilidade hídrica absoluta.

Esse padrão sugere que a pressão relativa sobre os recursos hídricos resulta da interação entre disponibilidade e intensidade de uso ao longo do território, não estando associada exclusivamente à magnitude da vazão disponível. Dessa forma, os resultados reforçam o potencial de análises espaciais integrando disponibilidade hídrica e dados de uso da água como instrumento exploratório de apoio à compreensão da dinâmica hidrológica da bacia.

Os resultados indicam ainda que a pressão relativa sobre os recursos hídricos não depende exclusivamente da magnitude da vazão disponível, mas da interação entre disponibilidade hídrica e intensidade de uso ao longo da bacia. Nesse contexto, análises espaciais integrando dados hidrológicos e informações de uso da água podem contribuir para a compreensão exploratória das dinâmicas de pressão hídrica em sistemas fluviais com elevada heterogeneidade territorial.

## CONCLUSÕES

Os resultados indicam tendência espacial de redução da disponibilidade hídrica e aumento relativo da pressão sobre os recursos hídricos ao longo da bacia do Rio das Velhas, evidenciando diferenças na relação entre oferta e demanda hídrica entre os trechos analisados. O trecho de transição apresentou os maiores valores do indicador de pressão relativa, associado à concentração de usos urbanos, industriais, minerários e agropecuários ao longo do eixo metropolitano da bacia.

Além dos padrões hidrológicos observados, o estudo evidenciou limitações relevantes relacionadas à disponibilidade de dados fluviométricos consistentes, especialmente no trecho de transição, justamente onde se concentram pressões antrópicas mais intensas. Esse resultado reforça a importância do fortalecimento das redes de monitoramento hidrológico como elemento relevante para análises espaciais de disponibilidade hídrica e suporte à gestão de recursos hídricos.

Os resultados devem ser interpretados em caráter exploratório, considerando limitações metodológicas associadas à amostragem não censitária dos pontos de outorga, à ausência de análise de incerteza e à limitação de séries hidrológicas consistentes em parte do trecho médio da bacia, o que demandou a escolha de estação representativa em área de transição. Nesse contexto, estudos futuros com maior cobertura espacial, integração censitária de dados de outorga e ampliação das bases hidrológicas poderão contribuir para o aprofundamento das análises de pressão hídrica na bacia.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais (UFMG) pelo apoio institucional durante o desenvolvimento desta pesquisa. A autora Carolina Cramer Almeida Marques Moura agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de bolsa de doutorado.

## REFERÊNCIAS

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA).** *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024: informe anual*. Brasília, DF: ANA, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-dos-recursos-hidricos. Acesso em: 18 maio 2026.

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA).** *Orientações gerais para a implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos em bacias hidrográficas*. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-

aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/cobranca/arquivos-cobranca/documentos-relacionados/guia-de-orientacoes-gerais-cobranca.pdf. Acesso em: 18 maio 2026.

**OECD.** *Water resources allocation: sharing risks and opportunities*. Paris: OECD Publishing, 2015. DOI: https://doi.org/10.1787/9789264229631-en.

**RASKIN, P.; GLEICK, P.; KIRSHEN, P.; PONTIUS, G.; STRZEPEK, K.** *Water futures: assessment of long-range patterns and problems*. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 1997. Background document to the Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Disponível em: https://www.sei.org/publications/water-futures-assessment-long-range-patterns-problems/. Acesso em: 18 maio 2026.

**SMAKHTIN, V. U.** Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 240, n. 3-4, p. 147-186, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1.

**TUCCI, C. E. M.** *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2012.

**UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO).** *The United Nations world water development report 2024: water for prosperity and peace*. Paris: UNESCO, 2024. Disponível em: https://www.unesco.org/reports/wwdr/2024/en. Acesso em: 18 maio 2026.