



Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental Curso de  
Graduação em Engenharia Ambiental



**Deiverson Carneiro dos Santos**

**Richard Fernandes de Oliveira Santos**

**Índice de conflito pelo uso da água para a gestão dos recursos hídricos da Bacia do Rio  
Doce, na porção situada em Minas Gerais.**

Ouro Preto

2026

Deiverson Carneiro dos Santos

Richard Fernandes de Oliveira Santos

Índice de conflito pelo uso da água para a gestão dos recursos hídricos da Bacia do Rio Doce,  
na porção situada em Minas Gerais

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Ambiental da Universidade Federal  
de Ouro Preto como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Profa. Livia Cristina Pinto Dias

Coorientadora: Caroline Ferreira Angelo

Ouro Preto

2026

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S237f Santos, Deiverson Carneiro dos.  
Índice de conflito pelo uso da água para a gestão dos recursos  
hídricos da Bacia do Rio Doce, na porção situada em Minas Gerais.  
[manuscrito] / Deiverson Carneiro dos Santos. Richard Fernandes de  
Oliveira Santos. - 2026.  
98 f.: il.: gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Lívia Cristina Pinto Dias.

Coorientadora: Ma. Caroline Ferreira Angelo.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Recursos Hídricos. 2. Água- Uso. 3. Bacia hidrográfica do Rio Doce -  
MG/ES. I. Santos, Richard Fernandes de Oliveira. II. Dias, Lívia Cristina  
Pinto. III. Angelo, Caroline Ferreira. IV. Universidade Federal de Ouro  
Preto. V. Título.

CDU 502

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - CRB6/2322



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Deiverson Carneiro dos Santos**  
**Richard Fernandes de Oliveira Santos**

**Índice de conflito pelo uso da água para a gestão dos recursos hídricos da bacia do rio Doce**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 19 de fevereiro de 2026

**Membros da banca**

Profa. Dra. Livia Cristina Pinto Dias (Orientadora) - Departamento de Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Ouro Preto

Caroline Ferreira Angelo (Coorientadora) - Licenciada em Ciências Biológicas - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Ouro Preto

Profa. Aline de Araújo Nunes - Departamento de Engenharia Urbana - Universidade Federal de Ouro Preto  
Me. Julia Nunes Costa Gomes - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

Profa. Dra. Livia Cristina Pinto Dias, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 05/03/2026



Documento assinado eletronicamente por **Livia Cristina Pinto Dias, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/03/2026, às 16:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1070164** e o código CRC **FCCC7804**.

Dedico este trabalho aos meus pais, Geraldo e Julia, e a todos que contribuíram para a realização deste sonho. (Deiverson Carneiro).

Dedico este trabalho em especial minha mãe Shirlene e aos meus irmãos Ramon, Rhuan e Vitória. (Richard Fernandes)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me dar forças nos momentos difíceis e por ter me permitido chegar à tão sonhada formatura. Deus, obrigado por ser minha base, meu norte e a força que me ergueu quando o cansaço tentou me parar.

Aos meus pais, Geraldo e Julia, pelo apoio incondicional, por cada palavra de incentivo e por sempre estarem ao meu lado.

À minha namorada, Samila, pelo companheirismo, paciência e apoio incondicional, que muito me ajudaram durante a graduação. Essa conquista é nossa.

A todos os familiares que me acompanharam durante esta jornada, em especial à minha tia Marta de Jesus Carneiro (in memoriam), por compreender cada momento em que estive ausente.

Aos colegas de classe, que tornaram este percurso mais leve, obrigado por estarem comigo tanto nas horas boas quanto nas más. Em especial a Richard, Vinicius, Carine, Dalila e Thais, que caminharam comigo desde o início.

Às orientadoras deste trabalho, em especial à Professora Livia Cristina Pinto Dias, pelo incentivo, pela paciência e pelos ensinamentos transmitidos, que contribuíram para minha formação acadêmica e para meu crescimento profissional. A todos os professores, em especial ao professor César, minha admiração e reconhecimento por todos os ensinamentos. Aos professores do Departamento de Engenharia Ambiental (DEAMB), meu sincero agradecimento pelos conhecimentos compartilhados.

À Universidade Federal de Ouro Preto e à tradicional Escola de Minas, pela excelência na formação acadêmica e pelas oportunidades proporcionadas ao longo da minha trajetória. À Fundação Gorceix, pelo apoio concedido por meio de bolsas e cursos, fundamentais para meu desenvolvimento profissional. Estendo meu agradecimento a todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a minha formação.

Deiverson Carneiro dos Santos

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Shirlene, e aos meus irmãos, Ramon, Rhuan e Vitória, meu agradecimento mais profundo por todo o suporte, carinho e força. Vocês foram essenciais para que eu continuasse perseverando. Vocês são a minha base.

Aos amigos que ganhei durante a graduação, Deiverson, Vinícius, Carine e Dalila, com quem compartilhei momentos marcantes ao longo de toda essa caminhada.

Aos meus amigos de longa data, Victor, Felipe, Erick e Marcus, que sempre estiveram presentes, mesmo à distância.

A todos que conheci em Mariana - MG, que se tornaram parte da minha família e acreditaram em todo o processo da minha formação.

Agradeço a todos os Agentes da Defesa Civil de Mariana - MG pelo suporte e carinho durante os anos de estágio. Vocês foram fundamentais para a minha formação, tanto pessoal quanto profissional.

Às orientadoras deste trabalho, que tornaram tudo possível, agradeço pela paciência e pelos ensinamentos ao longo de todo o processo.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Ambiental, em especial à Livia, Guilherme e Cesar, que serviram como inspiração e admiração na área com a qual mais me identifiquei ao longo do curso.

À empresa Renovar Consultoria Júnior do curso de Engenharia Ambiental, onde aprendi muito e me desenvolvi significativamente.

À Universidade Federal de Ouro Preto e à gloriosa Escola de Minas, pela formação e pelo ensino de excelência ao longo de todos esses anos.

Richard Fernandes de Oliveira Santos

“Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam.”

(Salmos 23:4).

## RESUMO

A bacia do rio Doce em Minas Gerais apresenta elevada demanda hídrica e pressão antrópica sem possuir áreas de conflito formalmente declaradas. A gestão carece de diagnósticos que antecipem disputas mediante o cruzamento sistemático entre disponibilidade hídrica e outorgas vigentes. Este trabalho identifica áreas de potencial conflito pelo uso da água na porção mineira da bacia do rio Doce por meio da aplicação dos índices de gestão (Icg) e planejamento (Icp). O cálculo dos índices utilizou a razão entre a demanda acumulada e as vazões de referência Q7,10, Q95 e Qmlt em cada segmento de drenagem. Um complemento customizado em Python para o software QGIS automatizou o processamento espacial e a geração dos resultados. Os resultados indicam que 1,3% dos segmentos da bacia possuem vazões outorgadas superiores aos limites legais, totalizando 1.241 trechos com demandas acima das vazões mínimas de referência. No estudo de caso de Catas Altas, uma outorga de 0,65 m<sup>3</sup>/s para abastecimento público supera a vazão Q7,10 local de 0,00486 m<sup>3</sup>/s. A validação do plugin nas unidades Suaçuí e Caratinga demonstrou equivalência com modelos computacionais prévios. A aplicação desses índices fornece diagnósticos para a regulação e o planejamento de infraestruturas hídricas pelos órgãos gestores. A automação viabiliza o monitoramento contínuo e a transparência na concessão de novos direitos de uso da água.

Palavras-chave: Conflito pelo uso da água; Gestão de recursos hídricos; Geotecnologia; Outorga; Geoprocessamento; Bacia do Rio Doce.

## Abstract

The Doce River basin in Minas Gerais presents high water demand and significant anthropogenic pressure, despite not having formally declared conflict areas. Water management lacks diagnostic tools capable of anticipating disputes through the systematic integration of water availability and existing water rights permits. This study identifies areas of potential water-use conflict in the Minas Gerais portion of the Doce River basin through the application of the Management Conflict Index (Icg) and the Planning Conflict Index (Icp). The indices were calculated using the ratio between cumulative water demand and the reference flows Q7,10, Q95, and Qmlt for each drainage segment. A custom Python plugin developed for QGIS automated the spatial processing and the generation of results. The findings indicate that 1.3% of the basin's segments have granted flows exceeding legal limits, totaling 1,241 reaches with demands above the minimum reference flows. In the case study of Catas Altas, a water right of 0.65 m<sup>3</sup>/s for public supply exceeds the local Q7,10 flow of 0.00486 m<sup>3</sup>/s. Validation of the plugin in the Suaçuí and Caratinga management units demonstrated equivalence with previous computational models. The application of these indices provides diagnostic support for regulation and planning of water infrastructure by management agencies. The automation enables continuous monitoring and enhances transparency in the granting of new water-use rights.

**Keywords:** Water-Use Conflict; Water Resources Management; Geotechnology; Water Rights Permit; Geoprocessing; Doce River Basin.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Bacia Hidrográfica do Rio Doce e suas principais unidades de Planejamento.....                                                                                                               | 29 |
| <b>Figura 2:</b> Fluxograma da metodologia de cálculo dos índices de conflito pelo uso da água (Icg e Icp) .....                                                                                              | 38 |
| <b>Figura 3:</b> Distribuição do cadastro de usos insignificantes na bacia hidrográfica do rio Doce, por finalidade de uso dos recursos hídricos, na porção situada em Minas Gerais (m <sup>3</sup> /s) ..... | 40 |
| <b>Figura 4:</b> Distribuição das outorgas estaduais na Bacia do Rio Doce, por finalidade de uso dos recursos hídricos, na porção situada em Minas Gerais (m <sup>3</sup> /s). .....                          | 41 |
| <b>Figura 5:</b> Distribuição das outorgas federais na Bacia do Rio Doce, por finalidade de uso dos recursos hídricos, na porção situada em Minas Gerais (m <sup>3</sup> /s). .....                           | 42 |
| <b>Figura 6:</b> Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (Icg) da Bacia do Rio Doce na porção situada em Minas Gerais.....                                                        | 43 |
| <b>Figura 7:</b> Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (Icp) da Bacia do Rio Doce na porção situada em Minas Gerais.....                                                  | 46 |
| <b>Figura 8:</b> Localização da área de estudo número 1, situada na D04 - Suaçuí. ....                                                                                                                        | 49 |
| <b>Figura 9:</b> Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos Icg na área de estudo de caso 1 localizada na Bacia Suaçuí. ....                                                         | 50 |
| <b>Figura 10:</b> Distribuição Espacial do Uso e Cobertura do Solo da área de estudo de caso nº 1, situada na Bacia D04 Suaçuí .....                                                                          | 52 |
| <b>Figura 11:</b> Outorga federal, estadual e cadastro de uso insignificante vigentes na área de estudo número 1, DO4 Suaçuí .....                                                                            | 54 |
| <b>Figura 12:</b> Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (Icp) na área de estudo de caso 1, localizada na DO4 - Suaçuí. ....                                               | 55 |
| <b>Figura 13:</b> Localização da área de estudo número 2, situada na D05 - Caratinga .....                                                                                                                    | 57 |
| <b>Figura 14:</b> Distribuição Espacial do Uso e Cobertura do Solo da área de estudo de caso nº 2, situada na Bacia DO5 - Caratinga .....                                                                     | 58 |

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 15:</b> Outorgas estaduais e cadastro de uso insignificante vigentes na área de estudo número 2.....                                                      | 60 |
| <b>Figura 16:</b> Distribuição das outorgas estaduais na área de estudo nº 2, por finalidade de uso dos recursos hídricos (m³/s) .....                              | 61 |
| <b>Figura 17:</b> Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( I_cg) na área de estudo de caso 2, localizada na DO5 - Caratinga .....      | 64 |
| <b>Figura 18:</b> Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (Icp) na área de estudo de caso 2, localizada na DO5 - Caratinga.....   | 66 |
| <b>Figura 19:</b> Localização da área de estudo número 3, situada na DO1 - Piranga.....                                                                             | 67 |
| <b>Figura 20:</b> Distribuição Espacial do Uso e Cobertura do Solo da área de estudo de caso 3, situada na DO1 - Piranga.....                                       | 68 |
| <b>Figura 21:</b> Outorga estadual e cadastro de uso insignificante vigentes na área de estudo número 3 .....                                                       | 69 |
| <b>Figura 22:</b> Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos Icg na área de estudo de caso 3 localizada na Bacia Piranga .....             | 71 |
| <b>Figura 23:</b> Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (Icp) na área de estudo de caso 3, localizada na DO5 - Caratinga.....   | 73 |
| <b>Figura 24:</b> Localização da área de estudo número 4, situada na DO2 - Piracicaba.....                                                                          | 75 |
| <b>Figura 25:</b> Distribuição espacial do Uso e Cobertura do Solo da área de estudo de caso nº 4, situada na Bacia DO2 - Piracicaba.....                           | 76 |
| <b>Figura 26:</b> Outorgas estaduais e cadastro de uso insignificante vigentes na área de estudo número 4.....                                                      | 78 |
| <b>Figura 27:</b> Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (Icg) na área de estudo de caso 4, localizada na DO2 - Piracicaba.....        | 80 |
| <b>Figura 28:</b> Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (Icp) na área de estudo de caso 4, localizada na DO2 - Piracicaba ..... | 82 |

|                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 29:</b> Outorga estadual situada no afluente do Rio Maquiné, em proximidade com a área urbana, com a espacialização do índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (Icg) .....      | 83 |
| <b>Figura 30:</b> Outorga estadual situada no afluente do Rio Maquiné, em proximidade com a área urbana, com a espacialização do índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (Icp)..... | 85 |
| <b>Figura 31:</b> Descrição do plugin Índice Icg e Icp. ....                                                                                                                                                          | 86 |
| <b>Figura 32:</b> Interface principal do plugin Índice Icg e Icp.....                                                                                                                                                 | 88 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1:</b> Classificação dos segmentos da Bacia do Rio Doce, na parte situada em Minas Gerais, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos (Icg). ...        | 44 |
| <b>Tabela 2:</b> Classificação dos segmentos da Bacia do Rio Doce, na parte situada em Minas Gerais, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos (Icp) ..... | 46 |
| <b>Tabela 3:</b> Classificação dos segmentos da área de estudo nº 1, na parte situada da Bacia do Suaçuí, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos Icg.....     | 51 |
| <b>Tabela 4:</b> Classificação dos segmentos do estudo de caso 1, na parte situada na Bacia do Suaçuí, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos Icp ..... | 56 |
| <b>Tabela 5:</b> Classificação dos segmentos da área de estudo nº 2, situada na Bacia DO5 - Caratinga, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos (Icg) ..        | 62 |
| <b>Tabela 6:</b> Classificação dos segmentos da área de estudo nº 2, situada na Bacia de Caratinga, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos (Icp) .....  | 65 |
| <b>Tabela 7:</b> Classificação dos segmentos da área de estudo nº 3, situada na Bacia do Piranga, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos (Icg) .....          | 70 |
| <b>Tabela 8:</b> Classificação dos segmentos da área de estudo nº 3, situada na Bacia do Piranga, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos (Icp). .....   | 72 |
| <b>Tabela 9:</b> Classificação dos segmentos da área de estudo nº 4, situada na Bacia do Piracicaba, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos (Icg).....        | 79 |

|                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 10:</b> Classificação dos segmentos da área de estudo nº 4, situada na Bacia do Piracicaba, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos (Icp) |    |
| .....                                                                                                                                                                                                 | 81 |

## LISTA DE SIGLAS

I<sub>cg</sub> - Índices de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos

I<sub>cp</sub> - Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ANA -

Agência Nacional de Águas

BHRD - Bacia Hidrográfica do Rio Doce

CBR-DOCE - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce

CIOB - Conferência Internacional de Órgãos de Bacia

IDE-Sisema - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais.

Igam - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

ML - Machine Learning

MMA - Ministério do Meio Ambiente

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

Q<sub>7,10</sub> - Vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos

Q<sub>95</sub> - Vazão mínima associada à permanência de 95%

Q<sub>mlt</sub> - Vazão média de longo termo

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

WEAP - Water Evaluation and Planning

WEI - Water Exploitation Index

WPI - Water Poverty Index

WSI - Water Stress Index

## Sumário

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introdução.....                                                                                                                                   | 18 |
| 2. Objetivos .....                                                                                                                                   | 20 |
| 2.1. Objetivo geral .....                                                                                                                            | 20 |
| 2.2. Objetivos específicos.....                                                                                                                      | 20 |
| 3. Revisão bibliográfica.....                                                                                                                        | 20 |
| 3.1. Gestão de recursos hídricos .....                                                                                                               | 20 |
| 3.2. Sistema de gestão das águas no Brasil.....                                                                                                      | 22 |
| 3.3. Avaliação de conflitos de uso da água.....                                                                                                      | 25 |
| 3.4. Geotecnologias nos recursos hídricos.....                                                                                                       | 27 |
| 4. Materiais e métodos.....                                                                                                                          | 28 |
| 4.1. Área de estudo .....                                                                                                                            | 28 |
| 4.2. Obtenção e pré-processamento dos dados .....                                                                                                    | 30 |
| 4.3. Índice de conflito de uso da água para gestão dos recursos hídricos.....                                                                        | 32 |
| 4.4. Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos .....                                                                 | 34 |
| 4.5. Caracterização de áreas da bacia identificadas com maior vulnerabilidade .....                                                                  | 35 |
| 4.6. Desenvolvimento do plugin no QGIS.....                                                                                                          | 36 |
| 5. Resultados e discussão .....                                                                                                                      | 39 |
| 5.1. Levantamento dos dados de outorgas de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Doce, na porção situada em Minas Gerais .....              | 39 |
| 5.2. Identificar regiões prioritárias para intervenção e ações de gestão e planejamento na Bacia do Rio Doce na porção situada em Minas Gerais ..... | 42 |
| 5.3. Caracterização de áreas vulneráveis .....                                                                                                       | 48 |
| 5.3.1. Estudo de caso 1 .....                                                                                                                        | 48 |
| 5.3.2. Estudo de caso 2 .....                                                                                                                        | 56 |
| 5.3.3. Estudo de caso 3 .....                                                                                                                        | 66 |
| 5.3.4. Estudo de caso 4 .....                                                                                                                        | 74 |

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 5.4. Apresentação do Plugin (Índice Icg e Icp)..... | 86 |
| 6. Conclusão .....                                  | 89 |
| 7. Considerações futuras.....                       | 91 |
| 8. Referências bibliográficas .....                 | 92 |

## 1. Introdução

Segundo a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2018), apesar de possuir a maior disponibilidade de água doce do mundo, o Brasil enfrenta desafios significativos em relação à gestão das águas. A distribuição desigual dos recursos hídricos pelo território - tanto em termos espaciais quanto temporais - aliada às diferentes demandas impostas pelos setores produtivos e às pressões antrópicas crescentes, resulta em contextos de potencial conflito pelo uso da água. (ANA, 2018).

Do ponto de vista geográfico, o Brasil apresenta grande desigualdade na distribuição espacial dos recursos hídricos (Machado, 2023). A região Norte, que abriga apenas 7% da população, possui 70% dos recursos hídricos, concentrados principalmente na bacia amazônica. Em contrapartida, a região Sudeste, com a maior densidade populacional (42,63%), detém apenas 6% desses recursos. Situação semelhante ocorre no Nordeste, onde quase um terço da população brasileira (28,91%) conta com apenas 3,3% dos recursos hídricos disponíveis no país. Assim, 93% da população brasileira têm acesso a apenas 30% dos recursos hídricos disponíveis.

Além da escassez relativa decorrente da distribuição desigual, a qualidade da água constitui um desafio adicional para a gestão dos recursos hídricos. Processos de poluição difusa e pontual, erosão, contaminação por efluentes, sedimentos e produtos químicos reduzem a disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para usos múltiplos (Machado, 2003). Mesmo em regiões com oferta hídrica relativamente elevada, a degradação dos corpos d'água pode comprometer sua capacidade de atender às demandas existentes, intensificando conflitos potenciais.

Essas condições estruturais (como a escassez relativa em áreas densamente povoadas, pressões de uso e problemas de qualidade) favorecem o surgimento de conflitos, definidos por Moreira et al. (2012) como disputas resultantes da incompatibilidade entre demandas e disponibilidade hídrica. Conflitos também podem emergir de práticas agrícolas intensivas, desmatamento, mudanças climáticas e urbanização acelerada, que alteram regimes hidrológicos e ampliam incertezas (Tamura & Almeida, 2022).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) reconhece explicitamente o conflito pelo uso da água como um problema central da gestão, estabelecendo que a água é um recurso limitado, dotado de valor econômico, e cuja gestão deve ser descentralizada, participativa e baseada nos usos múltiplos. A PNRH prevê mecanismos como outorga de direito de uso, enquadramento dos corpos d'água, cobrança, instrumentos de monitoramento e atuação

dos Comitês de Bacia, que são responsáveis por mediar disputas de forma participativa e propor soluções pactuadas. Assim, compreender e antecipar potenciais áreas de conflito é parte essencial da governança hídrica no país.

No sudeste brasileiro, uma das bacias hidrográficas que se destaca é a bacia do rio Doce. Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Doce (CBH-DOCE), a bacia hidrográfica abrange uma extensão significativa de aproximadamente 86.715 quilômetros quadrados, dos quais 86% estão no Leste mineiro e 14% no Nordeste do Espírito Santo. A população da Bacia do Rio Doce, estimada em torno de 3,5 milhões de habitantes, está distribuída em 228 municípios, sendo 200 mineiros e 28 capixabas (CBH-DOCE, 2016).

A Bacia do Rio Doce apresenta uma economia diversificada, destacando-se na agropecuária com a produção de café, cana-de-açúcar, gado e suínos, e na agroindústria, especialmente na produção de açúcar e álcool. A região abriga o maior complexo siderúrgico da América Latina e integra empresas de mineração, além de contar com indústrias de celulose, laticínios, e um setor comercial e de serviços voltado para essas atividades. A geração de energia elétrica também é relevante. Ambientalmente, 98% da bacia está no bioma da Mata Atlântica e 2% no Cerrado, sustentando uma rica biodiversidade e diversos habitats aquáticos e terrestres (CBH-DOCE, 2016).

Segundo o Panorama das Águas de Minas Gerais (2023), o Rio Doce não possui áreas de conflito formalmente declaradas. Contudo, a ausência de conflitos declarados não implica ausência de vulnerabilidade. A bacia apresenta intensa demanda por água, significativa pressão antrópica, episódios de degradação ambiental e variações hidrológicas que podem indicar potenciais áreas de conflito, sobretudo quando consideradas as projeções de crescimento populacional, expansão econômica e mudanças climáticas.

Diante desse cenário, compreender a dinâmica dos usos da água na Bacia do Rio Doce e identificar áreas potenciais de conflito torna-se essencial para subsidiar a gestão integrada dos recursos hídricos. Assim, o presente trabalho visa identificar e analisar áreas de potencial conflito por meio da aplicação de índices de conflito de gestão e planejamento, contribuindo para o aprimoramento das ações de monitoramento, tomada de decisão e planejamento da bacia.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo geral

Identificar e analisar áreas de potencial conflito pelo uso da água na bacia do rio Doce, na porção situada em Minas Gerais, por meio da aplicação de índices de conflito de gestão e planejamento, visando subsidiar a gestão integrada dos recursos hídricos.

### 2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar a demanda hídrica na bacia hidrográfica do rio Doce, na porção situada em Minas Gerais;
- Mapear, por trecho de rio, a vulnerabilidade a conflitos pelo uso da água na bacia do rio Doce por meio de índices de conflito de gestão e planejamento;
- Caracterizar as áreas da bacia identificadas com maior vulnerabilidade a conflitos pelo uso da água, analisando uso e cobertura do solo, outorgas, qualidade da água e população, a fim de compreender os fatores que contribuem para essa vulnerabilidade;
- Apresentar um *plugin* para o QGIS que facilite a análise da vulnerabilidade a conflitos em bacias hidrográficas.

## 3. Revisão bibliográfica

### 3.1. Gestão de recursos hídricos

A gestão de recursos hídricos no Brasil é regida pela Lei nº 9.433/1997, que estabelece a bacia hidrográfica como a unidade territorial fundamental para o planejamento e a implementação de ações. Nessa perspectiva, Soares Neto e Pedrosa (2018) destacam que a legislação brasileira fundamenta-se em um modelo descentralizado e participativo, integrando obrigatoriamente o Poder Público, os usuários e as comunidades nos processos decisórios sobre o uso do bem comum, uma vez que, segundo os autores, “trata-se de uma imposição factual: não é possível gerir um bem fluido, que se desloca e tem variações significativas no tempo e no espaço, cuja fiscalização do uso requer uma rede de observação com larga escala espacial e temporal, sem haver um acordo, um pacto entre todos que usam as águas de um rio, desde sua nascente até a sua foz” (SOARES NETO; PEDROSA, 2018, p. 140).

Segundo Pedrosa (2021), a efetividade operacional da governança das águas depende do engajamento dos Comitês de Bacia Hidrográfica, que atuam como fóruns deliberativos e

detêm a atribuição legal de dirimir, em primeira instância administrativa, os conflitos decorrentes dos usos múltiplos da água. Nesse contexto, a eficácia na administração dessas disputas exige que gestores e representantes superem uma abordagem estritamente técnica (*hard skills*) e desenvolvam habilidades interpessoais (*soft skills*), como comunicação, empatia, tomada de decisão, motivação, formação de equipes e inteligência emocional, essenciais para a mediação de conflitos.

Os principais desafios estabelecidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil mencionados pela Agência Nacional de Águas na conferência internacional de órgãos de Bacia (CIOB), em 2002, abrange:

- (i) Gestão compartilhada. O primeiro desafio, a gestão compartilhada, tem como pressuposto a atuação harmônica do tripé: poder público, usuários e sociedade civil organizada. Para tanto se requer formação de parcerias entre o poder público, sociedade civil e usuários, respondendo ao novo paradigma de gestão integrada, descentralizada e participativa estabelecido na lei 9.433.
- (ii) A bacia hidrográfica como unidade de gestão, em contraposição com a divisão administrativa do país em estados e regiões administrativas.
- (iii) Compatibilização da legislação da União com a dos estados e preenchimento de lacunas legais. A legislação define quais rios são de domínio da União e quais são de domínio dos Estados; não define, no entanto, qual a relação de subordinação entre eles. Torna-se necessário compatibilizar a legislação da União, especialmente a Lei nº 9.433 com a dos estados federados, suprimindo as referidas omissões legais através de processos de negociação.
- (iv) Criação da identidade da bacia. Os participantes no processo não possuem ainda um sentimento de identidade com a Bacia. Isso reflete, naturalmente, em certas tensões por maior quota de poder a nível de estado ou regiões administrativas, com as quais o processo de identificação já está consolidado. A construção de um sentido de cidadão da bacia é um dos desafios importantes na consolidação deste novo paradigma.
- (v) Diversidade regional. As dimensões continentais do Brasil propiciam a existência de uma grande diversidade: climática; ecossistêmica; cultural; de estrutura produtiva; de dotação de recursos naturais. A esta diversidade se somam, ainda, diferentes legislações estaduais e a existência de nações indígenas em algumas bacias. (ANA; Conferência Internacional de Órgãos de Bacia, 2002, p. 11).

Para enfrentar os desafios contemporâneos, como o crescimento populacional e as mudanças climáticas, a gestão moderna dos recursos hídricos passa a priorizar a segurança hídrica, com o objetivo de assegurar o acesso sustentável à água, promovendo o bem-estar social e o desenvolvimento econômico. Nesse cenário, passa a ser muito importante a

incorporação de inovações associadas à Indústria 4.0, como sensores em tempo real, a conectividade, big data e inteligência artificial, visando otimizar o monitoramento hidrológico e o controle da demanda (SOARES NETO; PEDROSA, 2018).

### **3.2. Sistema de gestão das águas no Brasil**

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/1997, estabelece os fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos para a gestão dos recursos hídricos no Brasil. A política reconhece a água como um bem de domínio público, um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, cujo uso deve assegurar a disponibilidade para as atuais e futuras gerações (Brasil, 1997). Nesse contexto, a PNRH orienta a gestão dos recursos hídricos de forma a compatibilizar os múltiplos usos da água, promover a participação do poder público, dos usuários e da sociedade civil e garantir o uso racional e sustentável desse recurso essencial.

Para a efetivação de seus princípios e objetivos, a Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece um conjunto de instrumentos de gestão voltados ao planejamento, ao controle e à regulação do uso da água. Esses instrumentos, abordados no capítulo IV, Art. 5º, são:

- I - Os Planos de Recursos Hídricos;
  - II - O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
  - III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
  - IV - A cobrança pelo uso de recursos hídricos;
  - V - A compensação a municípios;
  - VI - O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.
- (Brasil, 1997).

Esses instrumentos atuam de forma integrada, permitindo a compatibilização entre disponibilidade hídrica e demandas dos diversos usuários. Dentre eles, a outorga assume papel central, por constituir o mecanismo legal que autoriza e disciplina o uso da água, assegurando o controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos, a prevenção de conflitos entre usuários e a garantia dos usos prioritários, especialmente em situações de escassez.

A implementação dos instrumentos da PNRH ocorre no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), responsável por articular os diferentes níveis de governo e promover a gestão integrada das águas no país. Nesse sistema, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) exerce papel central na coordenação do

sistema e na regulação dos recursos hídricos de domínio da União, incluindo a concessão de outorgas em corpos d'água federais.

Criada pela Lei nº 9.984/2000, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é a agência reguladora responsável por assegurar o cumprimento dos objetivos e diretrizes estabelecidos pela Lei das Águas do Brasil (Lei nº 9.433/1997) e pelo novo marco legal do saneamento básico (Lei nº 14.026/2020). Para isso, a ANA atua em quatro principais frentes:

- **Regulação:** regula o acesso e o uso dos recursos hídricos de domínio da União, que incluem aqueles que fazem fronteira com outros países ou atravessam mais de um estado, como o rio São Francisco. A ANA também é responsável pela regulação dos serviços públicos de irrigação (quando em regime de concessão) e adução de água bruta. Além disso, a agência emite e fiscaliza o cumprimento de normas, especialmente as outorgas, e supervisiona a segurança das barragens sob sua jurisdição. Com a aprovação do novo marco legal do saneamento básico (Lei nº 14.026/2020), a ANA passou a ser responsável por editar normas de referência que contenham diretrizes para a regulação dos serviços de saneamento básico, abrangendo abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais.
- **Monitoramento:** é responsável por monitorar a situação dos recursos hídricos no Brasil. Coordena a Rede Hidrometeorológica Nacional, que coleta, com o apoio dos estados e outros parceiros, informações sobre o nível, vazão e sedimentos dos rios, além da quantidade de chuvas. Esses dados são essenciais para planejar o uso da água e prevenir eventos críticos, como secas e inundações. Em colaboração com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a ANA também define as regras de operação dos reservatórios das usinas hidrelétricas, garantindo que todos os setores que utilizam o reservatório tenham acesso à água represada.
- **Aplicação da lei:** coordena a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, promovendo e apoiando programas e projetos, órgãos gestores estaduais, e a criação de comitês e agências de bacias. Dessa forma, a ANA incentiva a participação de representantes dos governos, usuários e comunidades, promovendo uma gestão participativa e democrática.

- Planejamento: elabora ou colabora na realização de estudos estratégicos, como os Planos de Bacias Hidrográficas e os Relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos, em parceria com instituições e órgãos do poder público.

A ANA, com autonomia administrativa e financeira, é vinculada ao Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Sua responsabilidade inclui fornecer informações, autorizar o uso, aplicar a regulação e monitorar os recursos hídricos sob domínio da União, ou seja, aqueles que atravessam mais de um estado, fazem fronteira com outros países e se encontram em regiões com reservatórios construídos com recursos federais. Em julho de 2020, a nomenclatura "Saneamento Básico" foi adicionada, embora a fiscalização dos serviços de saneamento continue sendo responsabilidade dos órgãos regionais.

Nos estados e no Distrito Federal, a gestão dos recursos hídricos de domínio estadual é atribuída aos respectivos órgãos gestores, que atuam em consonância com as diretrizes nacionais. Em Minas Gerais, essa função é exercida pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), responsável por planejar, conceder, regular e fiscalizar o uso da água em consonância com os princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Compete ao IGAM implementar os instrumentos de gestão hídrica no âmbito estadual e atuar na prevenção e mediação de conflitos pelo uso da água, assegurando que a alocação dos recursos hídricos ocorra de forma integrada, sustentável e compatível com a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas mineiras.

Além das funções de planejamento, regulação e fiscalização do uso dos recursos hídricos, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) elabora e publica normativas técnicas - formalizadas por meio de portarias, deliberações e instruções técnicas - que orientam a aplicação dos instrumentos de gestão hídrica no Estado de Minas Gerais. As deliberações, por sua vez, são editadas pelos conselhos de recursos hídricos, como o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e os conselhos estaduais, no âmbito de suas competências. Entre esses instrumentos normativos, para esse trabalho, destaca-se a Portaria IGAM nº 32, de 06 de setembro de 2022, que institui as vazões de referência mensais como base para disponibilidade hídrica oficial na bacia hidrográfica do rio Doce.

A bacia hidrográfica do rio Doce será a primeira circunscrição hidrográfica do Estado de Minas Gerais a contar com vazão de referência mensal ( $Q_{7,10}$  mensal). Isso implica que, nos estudos de disponibilidade e demandas hídricas, na regularização dos usos de recursos hídricos superficiais e em outros produtos relacionados nas Circunscrições Hidrográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, serão consideradas as variações mensais da vazão de referência ou

a vazão de referência baseada em períodos sazonais (seco e chuvoso). A Portaria 32/2022, do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), estabeleceu os novos valores para a bacia.

Até a publicação da Portaria Igam nº 32/2022, o Igam adotava como vazão de referência para a Bacia do Rio Doce a  $Q_{7,10}$  em base anual, aplicando um percentual outorgável máximo de 50% ou 30% dessa vazão para as bacias hidrográficas do Estado. Nas outras bacias do estado, enquanto não forem concluídos os estudos de regionalização de vazão mensal, a vazão de referência permanece como  $Q_{7,10}$  em base anual, aplicando-se o percentual outorgável máximo de 50% ou 30% dessa vazão, conforme estabelecido no artigo 3º da Portaria Igam nº 48/2019.

### 3.3. Avaliação de conflitos de uso da água

A avaliação de conflitos pelo uso da água requer a aplicação de uma variedade de metodologias que buscam tanto quantificar a escassez hídrica quanto entender as dinâmicas sociais, disponibilidade de água e uso (Liu et al., 2017). A escolha do método depende da finalidade da avaliação, ser analisada criticamente, para ver se realmente indicam os problemas e prioridades mais importantes, levando em conta o contexto histórico e as circunstâncias específicas daquele país naquele momento (Ohlsson, 2000).

Os métodos quantitativos iniciais começaram na década de 1980, baseados em índices de estresse hídrico (Damkjaer, 2017). O *Water Stress Index* (WSI), conhecido como “indicador *Falkenmark*”, é um método clássico que quantifica a disponibilidade de água superficial anual por pessoa (Liu et al., 2017). Outra abordagem quantitativa é o *Water Exploitation Index* (WEI), que mede o nível de escassez hídrica pela razão entre a retirada anual de água e a disponibilidade média anual (Sondermann e Oliveira, 2022). Contudo, esses índices clássicos são criticados por utilizarem médias anuais de recursos hídricos, mascarando a variabilidade hidrológica intra e interanual, não considerando a demanda real ou a infraestrutura existente (Liu et al., 2017; Damkjaer, 2017; Sondermann e Oliveira, 2022).

Em resposta a essas limitações, desenvolveram-se índices mais holísticos e avançados. O *Water Exploitation Index Plus* (WEI+) aprimora a avaliação ao ser calculado em intervalos mensais, o que permite capturar a sazonalidade e períodos de estresse não detectados em análises anuais (Sondermann e Oliveira, 2022). Outras abordagens integradas incluem o Índice Social de Estresse Hídrico, que combina a disponibilidade física da água com o Índice de Desenvolvimento Humano como *proxy* para a capacidade social de adaptação (Ohlsson, 2000).

O Índice de Pobreza Hídrica (*Water Poverty Index* - WPI) vai além, avaliando cinco componentes: disponibilidade de recursos hídricos, acesso à água para uso humano, eficácia da capacidade das pessoas de gerir a água, uso da água para diferentes fins, integridade ambiental relacionada à água e aos bens e serviços ecossistêmicos dos habitats aquáticos da região (Liu et al., 2017).

A modelagem de simulação oferece uma abordagem quantitativa para detalhar a dinâmica dos conflitos e antever cenários futuros. Modelos como *Water Evaluation and Planning* (WEAP) são ferramentas de gestão integrada de recursos hídricos que simulam a oferta, a demanda e a alocação de água em diversos setores (Hirko et al., 2025). Destacam-se por usar uma heurística de programação linear para resolver o problema de alocação de água com base em prioridades de demanda e preferências de suprimento (Yates, 2005).

As abordagens de simulação estão sendo aprimoradas com incorporação de *Machine Learning* (ML). A integração de ML com o modelo WEAP, por exemplo, melhora a precisão das previsões de variáveis não lineares, como a demanda de água e o fluxo de rios, e aprimora a análise de cenários sob incertezas climáticas e socioeconômicas dinâmicas (Hirko et al., 2025).

Índices de estresse hídrico, ao sintetizar a relação entre disponibilidade e demanda, constituem ferramentas importantes para identificar situações de pressão sobre os recursos hídricos e antecipar potenciais conflitos entre usuários. Porém, no Brasil, a avaliação dessas condições não deve ocorrer de forma dissociada do arcabouço institucional de gestão. Por isso, Moreira (2010) propôs dois índices para identificar conflitos potenciais relacionados ao uso da água, considerando a análise das vazões outorgadas e a disponibilidade hídrica. Devido a este estudo, o índice de conflitos pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $I_{cg}$ ) teve como objetivo fornecer subsídios para ações relacionadas à gestão dos recursos hídricos, enquanto o índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos  $I_{cp}$  visa fornecer subsídio para ações de planejamento.

Almeida e Moreira (2013) discutem que a análise combinada do  $I_{cg}$  e  $I_{cp}$  sugere que, em casos de conflito pelo uso da água, a solução pode envolver a implementação de políticas públicas ou investimentos em infraestrutura hidráulica para aumentar a disponibilidade de água para outorga ao longo do ano. Além do mais, os autores citam que as principais vantagens dos índices  $I_{cg}$  e  $I_{cp}$  são:

Facilidade na obtenção dos dados primários e no cálculo dos resultados, uma vez que utilizam dados gratuitos e ferramentas

computacionais que permitem a automatização do processo; o uso de geoprocessamento, o que possibilita uma análise relativamente rápida de grandes bacias hidrográficas, dando ideia do comprometimento dos recursos hídricos e subsidiando tomadas de decisões; e a facilidade na repetição das análises, vantagem relevante quando se tem o interesse de monitorar a situação da bacia no nível de segmentos em períodos mensais, por exemplo.

(Almeida; Moreira, 2013, p. 7)

Assim, a compreensão dos conflitos pelo uso da água exige uma abordagem que considere os instrumentos de gestão dos recursos hídricos vigentes, já que eles não apenas regulam o uso da água, mas também incorporam, de maneira implícita ou explícita, informações relacionadas ao estresse hídrico, funcionando como mecanismos de prevenção, ordenamento e mitigação dos conflitos pelo uso da água. Essa perspectiva orienta as análises apresentadas na sequência deste trabalho.

### **3.4. Geotecnologias nos recursos hídricos**

Para Bitar, Iyomasa e Cabral Jr. (2000), a consolidação das geotecnologias no cenário mundial ocorre em um contexto marcado por intensos debates sobre os impactos ambientais das atividades humanas. As múltiplas aplicações das geociências, voltadas à solução de problemas de engenharia e à gestão de recursos naturais, passam a ser orientadas pela necessidade de promover um desenvolvimento sustentável, capaz de compatibilizar o uso racional dos recursos hídricos, minerais e energéticos com a preservação ambiental.

Conforme Cantador e Matias (2017), as águas são um dos recursos naturais com maior enfoque dentro dos planos de gestão, e nisto muitos trabalhos apresentam o uso das geotecnologias como auxílio para o tratamento de todo e qualquer dado referente às águas, segundo os autores, “a utilização de geotecnologias para obtenção de informações pode contribuir para melhoria na gestão dos recursos hídricos, alguns gestores municipais identificam essas tecnologia como facilitador quando se deseja espacializar informações antes mesmo de obras serem feitas, nas quais os custos são altos”.

De acordo com Aragão et al. (2022), os mapas digitais e as geotecnologias desempenham papel fundamental na análise das relações entre sociedade e meio ambiente,

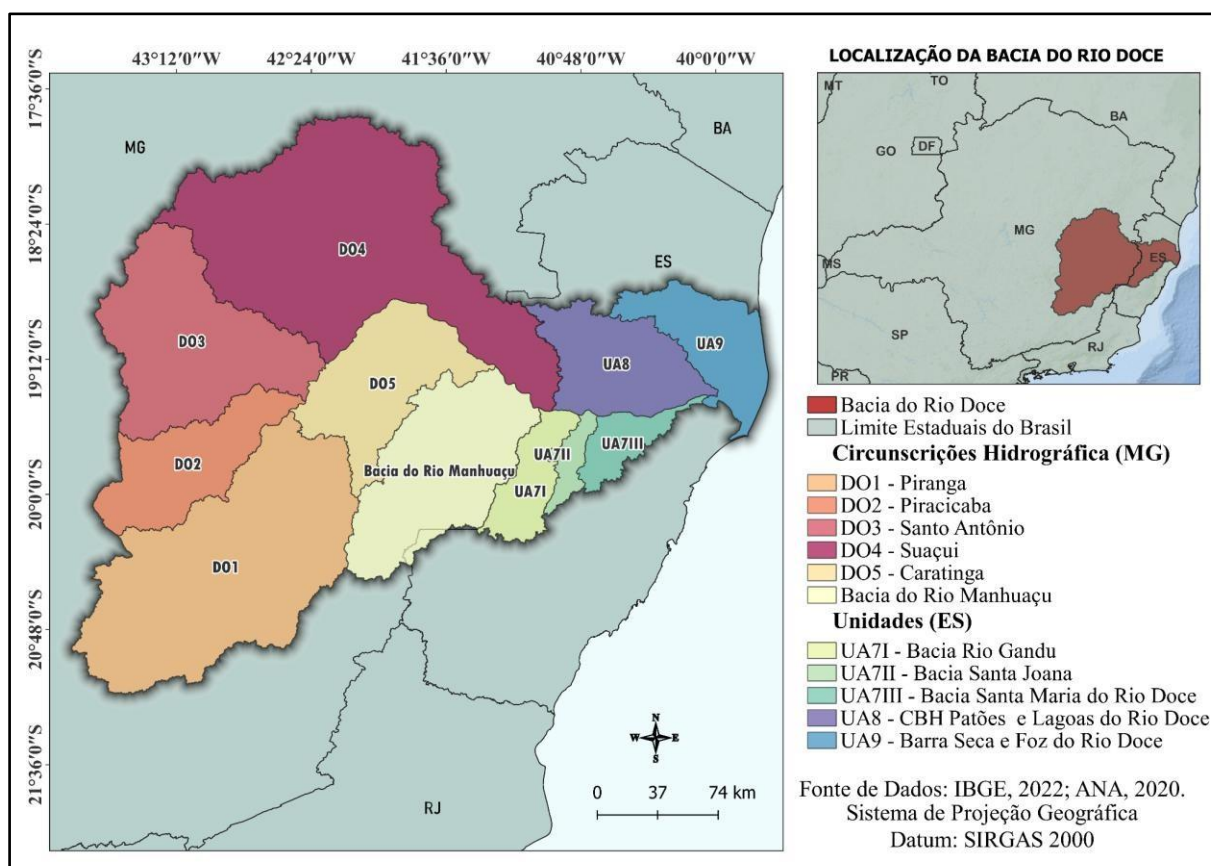
especialmente na gestão dos recursos hídricos. Embora amplamente utilizados por empresas e órgãos governamentais, muitos desses sistemas ainda são baseados em softwares proprietários de alto custo, o que pode dificultar sua implementação em organizações com menor capacidade de investimento. Nesse contexto, o uso de softwares livres, como o QGIS, surge como alternativa viável para ampliar o acesso às geotecnologias, favorecendo análises espaciais complexas mesmo em cenários de restrição orçamentária.

## **4. Materiais e métodos**

### **4.1. Área de estudo**

A bacia hidrográfica do rio Doce (BHRD), situada na região Sudeste do Brasil, entre os paralelos 17°36'0''S e 21°36'0''S e os meridianos 40°0'00''W e 43°12'0''W faz parte da região hidrográfica do Atlântico Sudeste, com uma área de drenagem de 86.226,9 km<sup>2</sup> (Figura 1). Deste total, 86% estão localizados no estado de Minas Gerais, enquanto o restante pertence ao estado do Espírito Santo (PIRH-DOCE, 2023).

A bacia do rio Doce abrange um total de 228 municípios, dos quais 198 estão totalmente inseridos em seu território. Desses, 179 são municípios mineiros e 19 pertencem ao estado do Espírito Santo. Entre os 228 municípios total ou parcialmente localizados na bacia, 211 têm suas sedes administrativas dentro da área da bacia, enquanto 17 estão parcialmente inseridos na bacia, mas com sedes fora dela (PIRH-DOCE, 2023). Além de sua importância territorial, os recursos hídricos do rio Doce são essenciais para as economias locais, fornecendo água para usos domésticos, agropecuários, industriais e para geração de energia elétrica (ANA, 2015).



**Figura 1:** Bacia Hidrográfica do Rio Doce e suas principais unidades de Planejamento

Fonte: Os autores, 2026.

O principal curso d'água da BHRD percorre 879 km, sendo formado pela junção dos rios Piranga e do Carmo. O rio Piranga tem sua nascente na Serra das Vertentes, localizada entre a Serra da Mantiqueira e a Serra do Espinhaço, no município de Ressaquinha, a uma altitude aproximada de 1.200 metros. Ele deságua na confluência com o rio do Carmo. O rio Doce (Figura 2) se forma na junção do rio Piranga com o rio do Carmo, estendendo-se por 570 km até desaguar no oceano Atlântico. Seus principais afluentes pela margem esquerda são os rios Piracicaba, Suaçuí Grande, Suaçuí Pequeno, Santo Antônio e São José, enquanto pela margem direita destacam-se os rios Caratinga, Manhuaçu e Guandu (Coelho, 2007; Consórcio Ecoplan-Lume, 2010).

A bacia do Rio Doce apresenta uma economia amplamente diversificada, o que intensifica as pressões sobre seus recursos hídricos em diferentes setores. No âmbito

agropecuário, destacam-se as lavouras tradicionais, o cultivo de café e cana-de-açúcar, além da pecuária de corte e leite e da suinocultura, atividades que demandam volumes expressivos de água. No segmento agroindustrial, sobressai a produção de açúcar e etanol, que também contribui para o aumento da demanda hídrica. A região abriga ainda o maior polo siderúrgico da América Latina, ao qual se associam empresas de mineração e reflorestamento, configurando um importante eixo industrial com elevado consumo de água. Além disso, possuem relevância as indústrias de celulose e laticínios, bem como o comércio e os serviços voltados ao suporte desses complexos industriais. Soma-se a esse contexto a geração de energia elétrica, atividade com significativo potencial de expansão e que também interfere na dinâmica dos recursos hídricos (CBH-DOCE, 2016).

Com uma vasta biodiversidade, a BHRD é composta por 98% de bioma de Mata Atlântica e 2% de bioma de Cerrado (CBH-DOCE, 2016). A Mata Atlântica, reconhecida por sua rica biodiversidade, abrange formações florestais nativas e ecossistemas associados, como restingas, manguezais, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste (MMA, 2024).

O regime pluviométrico da região é bem definido, com períodos distintos de chuva e seca. A estação chuvosa começa em outubro e se estende até março, sendo que os maiores índices de precipitação ocorrem em dezembro e janeiro. O período seco ocorre entre abril e setembro, influenciando diretamente a vazão do rio Doce. Como resultado, a vazão do rio diminui a partir de abril, com o fim das chuvas, sendo que os níveis mais baixos de vazão são observados em agosto (Cupolillo, 2008).

#### **4.2. Obtenção e pré-processamento dos dados**

Os dados empregados foram obtidos a partir de diferentes bases oficiais de gestão de recursos hídricos do Estado de Minas e da União, todas disponibilizadas por meio do portal IDE-Sisema (disponível em <https://visualizador.idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>). A Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema) é uma plataforma pública que disponibiliza dados socioambientais georreferenciados do Estado de Minas Gerais, sendo gerida de forma cooperativa e compartilhada entre diferentes órgãos. Trata-se de uma ferramenta aberta, acessível a qualquer usuário, o que ressalta sua relevância no apoio ao planejamento ambiental, à gestão territorial e às atividades desempenhadas pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente (Sisema) (SEMAD, 2023). Entretanto, embora o IDE-Sisema seja a plataforma de integração e disponibilização, a

origem primária dos dados está vinculada aos órgãos produtores como o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

A etapa de pré-processamento dos dados envolveu a aquisição, seleção, padronização e organização das camadas espaciais utilizadas na análise dos conflitos pelo uso da água na Bacia do Rio Doce. Inicialmente, foram obtidas no portal IDE-Sisema as camadas Cadastro de Uso Insignificante de Recursos Hídricos, versão (BHO bho\_2017\_v\_01\_05 de 2018-06-22), conforme descrito na tabela de atributos no campo “dsversao” e vigente até 23/03/2025, de acordo com os metadados na plataforma; Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos (IGAM), versão (BHO bho\_2017\_v\_01\_05 de 2018-06-22), também descrita no campo “dsversao” da tabela de atributos e com vigência até 02/04/2024; e Outorgas Federais de Direito de Uso de Recursos Hídricos (ANA), igualmente na versão (BHO bho\_2017\_v\_01\_05 de 2018-06-22) e com vigência até 08/11/2022.

Em seguida, foi realizada a obtenção dos dados de vazão, correspondentes à camada Regionalização de Vazão – Vazões calculadas dos ottotrechos da bacia do Rio Doce, versão (BHO bho\_2017\_v\_01\_05 de 2018-06-22) e versão da base Otto (GEIRH\_29-05-2024), conforme indicado na tabela de atributos. Conforme indicado nos metadados, essa camada foi elaborada a partir da integração de dois estudos: “Regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais, exceto para a bacia hidrográfica do rio Doce” (UFV & IGAM, 2012) e “Regionalização de vazões na UGRH do Doce: Q<sub>90</sub>, Q<sub>95</sub>, Q<sub>7,10</sub>, Q<sub>mlt</sub> (anuais e mensais)”, aplicado especificamente à bacia hidrográfica do rio Doce.

O pré-processamento das outorgas iniciou-se com a filtragem das feições referentes ao Cadastro de Uso Insignificante. Na tabela de atributos, utilizou-se o campo “tipouso\_4” para selecionar exclusivamente os registros classificados como referentes ao uso superficial. Posteriormente, extraiu-se mantendo apenas as feições situadas dentro do limite mineiro da bacia. Para a padronização, foram identificados os valores de vazão mensal nos campos vazjan\_4, vazfev\_4, vazmar\_4, vazabr\_4, vazmai\_4, vazjun\_4, vazjulh\_4, vazago\_4, vazset\_4, vazout\_4, vaznov\_4 e vazdez\_4. A média dessas vazões foi calculada e inserida em um novo campo de atributo. A seguir, verificou-se a unidade de medida por meio do campo unvazao\_4, convertendo todas as vazões expressas em l/s para m<sup>3</sup>/s.

O mesmo procedimento foi aplicado às Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos (IGAM), replicando os mesmos critérios de seleção (uso superficial), extração e cálculo da média das vazões mensais, bem como a verificação e uniformização das unidades de medidas. Para a base das Outorgas Federais (ANA), utilizou-se o campo “tipo\_inter” para selecionar o tipo captação, que foi considerada superficial já que não havia informações na tabela de atributo. Após a extração para o limite de minas gerais, procedeu-se ao cálculo da média das vazões mensais registradas na tabela de atributo dos campos vazão\_1, vazão\_2, vazão\_3, vazão\_4, vazão\_5, vazão\_6, vazão\_7, vazão\_8, vazão\_9, vazão\_10, vazão\_11, vazão\_12. Assim padronizadas também para a mesma unidade de medida (m³/s).

Por fim, para a camada de regionalização de vazões consistiu na identificação dos campos utilizados, especificamente “qmlt\_anual” (Vazão média de longo termo), “q95\_anual” (Vazão mínima associada à permanência de 95%) e “q710\_anual” (Vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos). Esses atributos foram mantidos sem necessidade de conversão ou transformação adicional, uma vez que já se encontravam padronizados.

#### 4.3. Índice de conflito de uso da água para gestão dos recursos hídricos

A metodologia adotada para analisar o conflito de uso da água foi descrita por Moreira (2010) e envolve a comparação entre a disponibilidade hídrica na região e a demanda existente, a avaliação das outorgas concedidas para captação de água. Para quantificação dos valores é utilizado os seguintes cálculos são dados por (Equação 1):

$$I_{cg} = \frac{Q_{out}}{xQ_{mr}} \quad (Eq. 1)$$

onde:

$I_{cg}$  = índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (adimensional);

$Q_{out}$  = vazão outorgada à montante da foz do segmento em estudo (m³/s);

$x$  = percentagem, expressa em decimal da  $Q_{mr}$  passível de ser outorgada (adimensional);

$Q_{mr}$  = vazão mínima de referência estimada na foz do segmento em estudo (m³/s).

Como descrito na Equação 1, a determinação da quantidade de água passível de ser outorgada na foz de um segmento de uma bacia hidrográfica abrange a multiplicação de um

fator representativo da vazão mínima de referência que pode ser atribuída, retratado por  $x$ , o que equivale 50% da vazão mínima de referência  $Q_{mr}$ . Resultando assim, a porcentagem da vazão mínima em conformidade com os critérios de outorga estabelecidos pelo órgão gestor de recursos hídricos, isto é, a vazão máxima permitida para outorga naquele ponto.

A vazão outorgada  $Q_{out}$  pode variar entre zero e um valor positivo, correspondente à soma das vazões outorgadas a montante da foz do segmento em análise. Ao considerar a relação da vazão outorgada  $Q_{out}$  e a porcentagem da vazão mínima de referência  $xQ_{mr}$ , Moreira (2010, p. 70) estabelece uma escala que possibilita a avaliação da conformidade das outorgas concedidas com os limites legais estabelecidos.

$0 \leq I_{cg} \leq 1$  = situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo se encontram dentro dos limites legais; e

$I_{cg} > 1$  = situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo superam os limites previstos pela legislação.

Para fins de representação visual dos valores do índice  $I_{cg}$  por meio da elaboração de mapas, quando as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em análise estão dentro dos limites legais  $0 \leq I_{cg} \leq 1$ , é feita uma estratificação para classificar as faixas de vazão que ainda podem ser concedidas. Essa estratificação tem a finalidade de caracterizar as diferentes categorias de vazão que ainda estão dentro dos limites legais de outorgas e estão em conformidade com as regulamentações estabelecidas. Apresentada as diferentes classificações conforme seus intervalos de valores abaixo:

 ( $I_{cg} = 0$ ) vazão ainda permissível de ser outorgada igual a vazão máxima passível de ser outorgada na foz do segmento em estudo;

 ( $0 < I_{cg} \leq 0,7$ ) vazão ainda permissível de ser outorgada superior a 30% da vazão máxima passível de outorga;

 ( $0,7 < I_{cg} \leq 0,9$ ) vazão ainda permissível de ser outorgada inferior a 30% e superior a 10% da vazão máxima passível de outorga; e

 ( $0,9 < I_{cg} \leq 1$ ) vazão ainda permissível de ser outorgada inferior a 10% da vazão máxima passível de outorga.

Quando as vazões outorgadas excedem os limites legais  $I_{cg} > 1$ , (Moreira, 2010) propõe uma estratificação em duas classes, utilizando a vazão mínima  $Q_{mr}$  como referência. Multiplicando o valor de  $I_{cg}$  pelo percentual de  $Q_{mr}$  passível de ser outorgada  $x$ , assim, obtém-se o limiar para classificar as outorgas que ultrapassam a vazão permitida. Neste caso, se  $Q_{out}$  for maior que  $xQ_{mr}$ , os valores de  $I_{cg}$  variam em intervalos específicos.

$x I_{cg} \leq 1$  = vazão outorgada superior a  $xQ_{mr}$  e inferior ou igual à vazão mínima de referência; e

$x I_{cg} > 1$  = vazão outorgada superior à vazão mínima de referência.

Neste contexto, adotou-se a seguinte representação simbólica:

 ( $x I_{cg} \leq 1$ ) vazão outorgada superior a  $xQ_{mr}$  e inferior ou igual à vazão mínima de referência; e

 ( $x I_{cg} > 1$ ) vazão outorgada superior à vazão mínima de referência.

#### 4.4. Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos

Para subsidiar a gestão e analisar possíveis ações futuras no planejamento de recursos hídricos, Moreira (2010) propõe o índice de conflito pelo uso da água  $I_{cp}$  como ferramenta para auxiliar nesse processo de tomada de decisões, com o objetivo de tomar decisões mais eficazes e racionais.

Para quantificação dos valores é utilizado os seguintes cálculos dados por (Equação 2):

$$I_{cp} = \frac{Q_{out}}{Q_{mld}} \quad (Eq. 2)$$

Onde:

$I_{cp}$

= *índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (adimensional);*

$Q_{out}$  = *vazão outorgada à montante da foz do segmento em estudo ( $m^3/s$ ).*

$Q_{mld}$  = *vazão média de longa duração na foz do segmento em estudo ( $m^3/s$ ).*

Conforme Moreira (2010), utilizando a vazão média de longa duração  $Q_{mld}$  no cálculo do  $I_{cp}$  é justificada pelo fato de que essa vazão representa o máximo possível de ser regularizado, desconsiderando perdas por evaporação e infiltração. Desse modo, ao utilizar a  $Q_{mld}$ , é possível avaliar se, em caso de conflito pelo uso da água, este pode ser mitigado por meio de medidas estruturais, como a construção de barramentos. Os valores do  $I_{cp}$ , que levam em conta a variação da vazão outorgada  $Q_{out}$  em relação à  $Q_{mld}$ , podem variar da seguinte maneira: quando  $0 < I_{cp} \leq 1$ , indica que, mesmo havendo conflito, é possível contorná-lo com medidas estruturais; e quando  $I_{cp} > 1$ , significa que o conflito não pode ser resolvido apenas com medidas estruturais.

Para a classificação dos intervalos, propôs as demais simbologias:



( $I_{cp} = 0$ ) situação na qual não existem vazões outorgadas a montante da foz do segmento estudado;



( $0 < I_{cp} \leq 1$ ) situação na qual existindo o conflito pelo uso da água, ainda se pode contorná-lo com adoção de medidas estruturais; e



( $I_{cp} > 1$ ) situação na qual o conflito não pode ser contornado apenas com medidas estruturais.

#### 4.5. Caracterização de áreas da bacia identificadas com maior vulnerabilidade

Para a caracterização mais detalhada das áreas com maior vulnerabilidade, foram escolhidos quatro estudos de caso, localizados nas circunscrições DO4 – Bacia do Suaçuí, DO5 – Caratinga, DO1 – Piranga e DO2 – Piracicaba, inseridas na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais.

As análises dessas regiões envolveram a caracterização do uso dos recursos hídricos com base em dados de outorgas e de cadastros de uso insignificante, do uso e ocupação do solo, bem como da população abastecida. A seleção dessas áreas considerou critérios técnicos específicos, incluindo: abastecimento público; ocorrência de valores excedentes do índice  $XI_{cg}$ ; concentração expressiva de cadastros de uso insignificante; e identificação de inconsistências ou possíveis erros nos dados disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

Os dados sobre o uso dos recursos hídricos foi obtido a partir dos dados disponíveis na tabela de atributos das camadas espaciais das outorgas e do cadastro de uso insignificante (conforme descrito na Seção 4.2), utilizando o campo “finusol\_4” da tabela de atributos da camada Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos (IGAM), o campo “finalidade” da camada Outorgas Federais de Direito de Uso de Recursos Hídricos (ANA) e o campo “finusol\_4s” da camada Cadastro de Uso Insignificante de Recursos Hídricos. Todas as informações foram extraídas para o formato .xlsx e posteriormente organizadas na forma de gráficos.

O uso e a ocupação do solo foram analisados por meio da plataforma MapBiomas, coleção 10 (2024), que tem resolução espacial de 30 m x 30 m (disponível em <https://brasil.mapbiomas.org/>), para o processamento dos dados e a elaboração dos mapas de cada área de estudo, bem como a quantificação das áreas correspondentes a cada classe de uso do solo, apresentada em forma de tabela.

Especificamente para o estudo de caso 4, a população abastecida do município de Catas Altas foi analisada com base nos dados do Censo Demográfico de 2022, obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/primeiros-resultados-populacao-e-domicilios>), direcionando a discussão para a relação entre o crescimento populacional e a demanda hídrica para abastecimento público.

#### 4.6. Desenvolvimento do plugin no QGIS

O desenvolvimento do plugin foi realizado no ambiente QGIS Desktop versão 3.22.9, utilizando-se ferramentas específicas voltadas à criação de complementos personalizados em Python e à construção de interfaces gráficas. Inicialmente, foram utilizados os softwares *Qt Designer with QGIS 3.22.9 custom widgets*, *Link Shell Extension* e *Visual Studio Code* (VS Code), cada um com funções específicas no fluxo de trabalho.

O *Qt Designer* foi empregado para a construção da interface gráfica do plugin, por meio da edição de arquivos com extensão *.ui (User Interface)*, os quais permanecem armazenados na estrutura interna de diretórios do complemento. Essa ferramenta permite a elaboração visual da interface sem a necessidade de codificação direta, possibilitando a inserção e organização de componentes gráficos (*widgets*) como botões, caixas de seleção e campos de texto, além da configuração de suas propriedades por meio do painel *Property Editor* e da definição de seus identificadores no painel *Object Inspector*. A nomeação desses objetos é essencial para que possam ser posteriormente referenciados e manipulados no código Python.

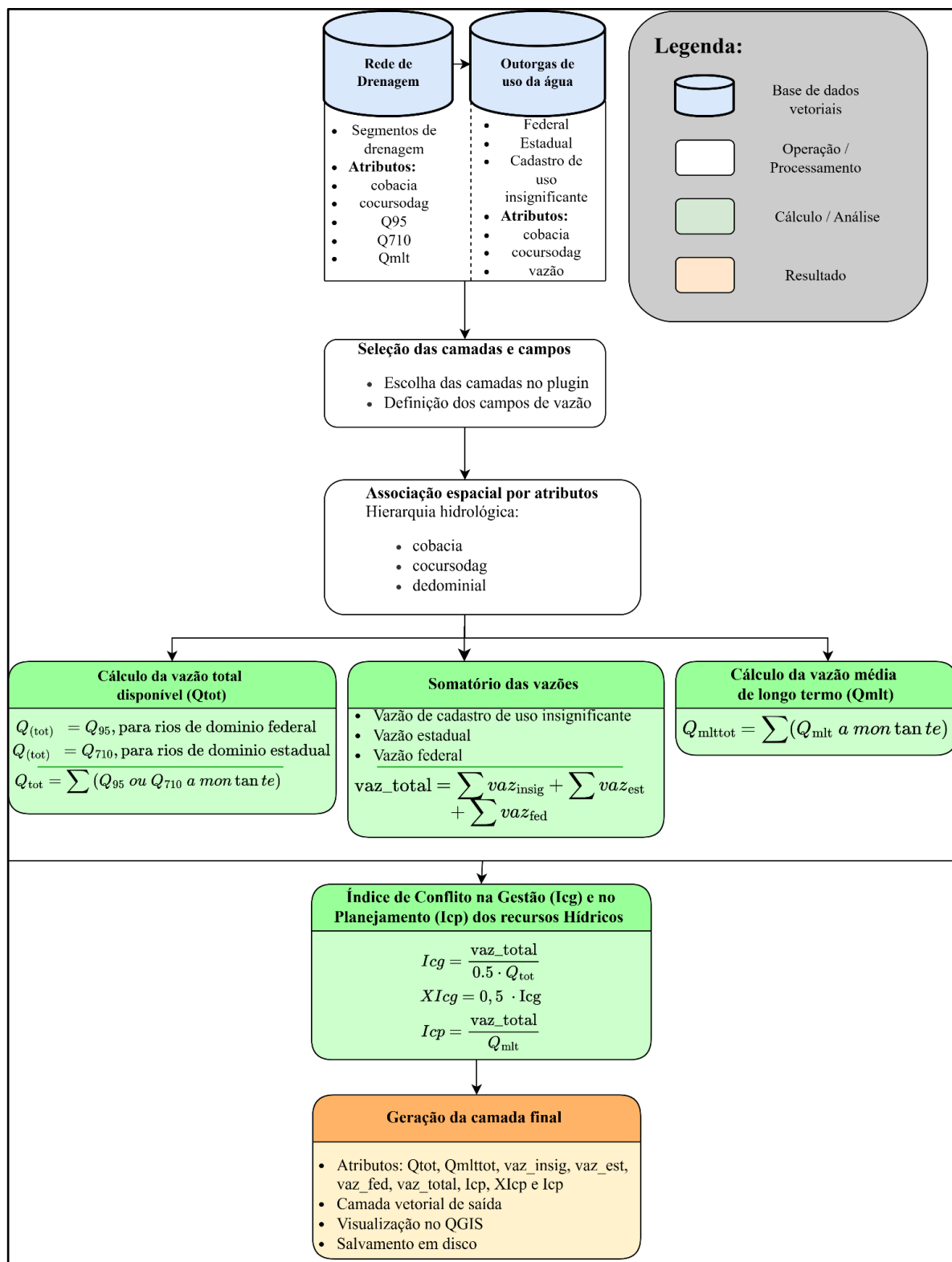
No QGIS, foram utilizados os complementos *Plugin Builder 3*, responsável por gerar automaticamente a estrutura base do plugin, e *Plugin Reloader*, que permite recarregar o complemento com apenas um clique, otimizando o processo de testes e validação durante o desenvolvimento. O que evita a necessidade de reinicialização constante do software principal, proporcionando maior agilidade no ciclo de ajustes e verificação de funcionalidades.

A integração do plugin ao ambiente de desenvolvimento do QGIS foi realizada por meio da criação de um vínculo simbólico utilizando o *software Link Shell Extension*, conectando a pasta de desenvolvimento diretamente ao diretório padrão de complementos do QGIS. Essa estratégia elimina a necessidade de cópia manual dos arquivos a cada modificação no código-fonte, permitindo que as alterações sejam refletidas instantaneamente no ambiente do software. Após a criação do vínculo simbólico, o QGIS passa a reconhecer automaticamente o plugin e seus respectivos metadados como nome, descrição, autoria e palavras-chave, bastando reiniciar o programa e ativar o complemento por meio do Gerenciador de Plugins.

O *Qt Designer* atua exclusivamente na construção da camada visual da aplicação, sendo responsável apenas pela disposição gráfica dos elementos. A implementação da lógica funcional do plugin, isto é, o comportamento dos botões, seleções e campos de entrada, é realizada posteriormente por meio da programação em Python, no ambiente do VS Code.

A metodologia implementada no plugin para o cálculo dos índices é ilustrada na Figura 2, que sintetiza as etapas de processamento desde a entrada dos dados até a geração dos resultados. O procedimento inicia-se com a seleção das bases vetoriais de entrada, compostas pela rede de drenagem e pelas outorgas de uso da água, abrangendo registros federais, estaduais e de cadastro de uso insignificante. Essas camadas devem conter atributos essenciais, tais como

“cobacia”, “cocursodag”, “dedominial”, “Q<sub>95</sub>”, “Q<sub>7,10</sub>” e “Q<sub>mlt</sub>”, além das vazões outorgadas a cada ponto de captação.



**Figura 2:** Fluxograma da metodologia de cálculo dos índices de conflito pelo uso da água (Icg e Icp)

Na etapa seguinte, realiza-se a seleção das camadas e campos diretamente na interface do plugin, permitindo ao usuário definir quais atributos representam as vazões de referência e os registros de outorga. Posteriormente, é executada a associação espacial por atributos, fundamentada na hierarquia da rede de drenagem (“cobacia”, “cocursodag” e “dedominal”), estabelecendo-se a relação montante–jusante entre os segmentos de rios e os pontos de captação.

Com base nessa estrutura, o plugin procede ao cálculo da vazão total disponível ( $Q_{tot}$ ). Para trechos sob domínio federal, adota-se a vazão “ $Q_{95}$ ”, enquanto para trechos estaduais utiliza-se a “ $Q_{7,10}$ ”, sendo o valor final obtido pela soma das vazões de referência dos segmentos a montante. Em paralelo, calcula-se a vazão mínima de longo termo ( $Q_{mlt}$ ), por meio do somatório das vazões associadas aos segmentos a montante.

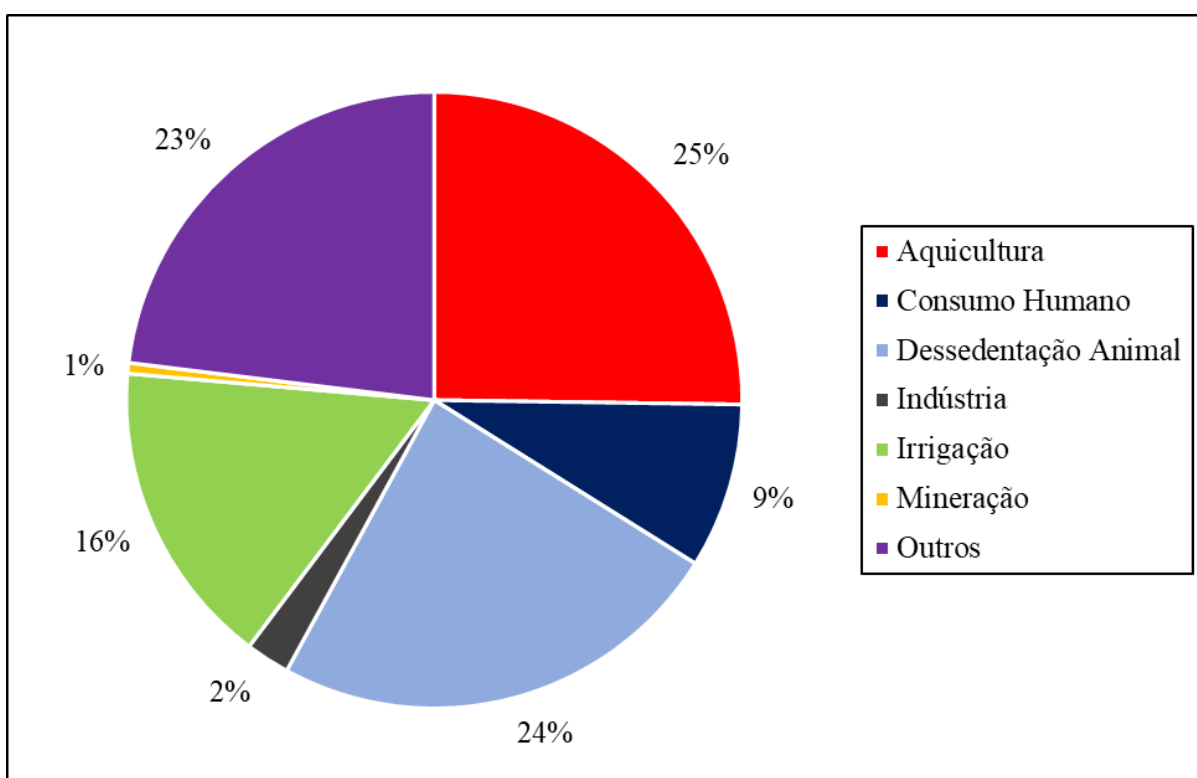
Na sequência, realiza-se o somatório das vazões outorgadas, contemplando os registros de uso insignificante, estadual e federal, resultando na vazão total demandada ( $vaz\_total$ ). A partir desses valores, são calculados os índices de conflito na gestão (ICG) e no planejamento (ICP) dos recursos hídricos. Por fim, o plugin gera automaticamente a camada vetorial final, contendo os atributos “ $Q_{tot}$ ”, “ $Q_{mlttot}$ ”, “vazões outorgadas por categoria”, “vazão total”, “ $I_{cg}$ ” e “ $I_{cp}$ ”, possibilitando sua visualização direta no ambiente QGIS e o salvamento dos resultados em disco para análises posteriores.

## 5. Resultados e discussão

### 5.1. Levantamento dos dados de outorgas de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Doce, na porção situada em Minas Gerais

As demandas hídricas listadas no cadastro de uso insignificante incluem diferentes usos, como: consumo humano, dessedentação animal, abastecimento industrial, irrigação, mineração, aquicultura, além de outros usos específicos (Figura 3). O uso da água para aquicultura, dessedentação animal e irrigação juntas correspondem a aproximadamente 65% dos usos cadastrados, evidenciando o predomínio de atividades ligadas ao setor agropecuário e à produção aquícola em pequenas propriedades, nas quais os volumes captados se enquadram nos critérios de uso insignificante.

O consumo humano corresponde a 9% dos cadastros, enquanto os usos destinados à indústria e à mineração apresentam participações reduzidas, de 2% e 1%, respectivamente. Esses resultados indicam que, embora a bacia apresente forte presença de empreendimentos industriais e minerários, tais atividades tendem a demandar volumes de água superiores aos limites caracterizados como uso insignificante, sendo, portanto, mais frequentemente enquadradas no regime de outorga.



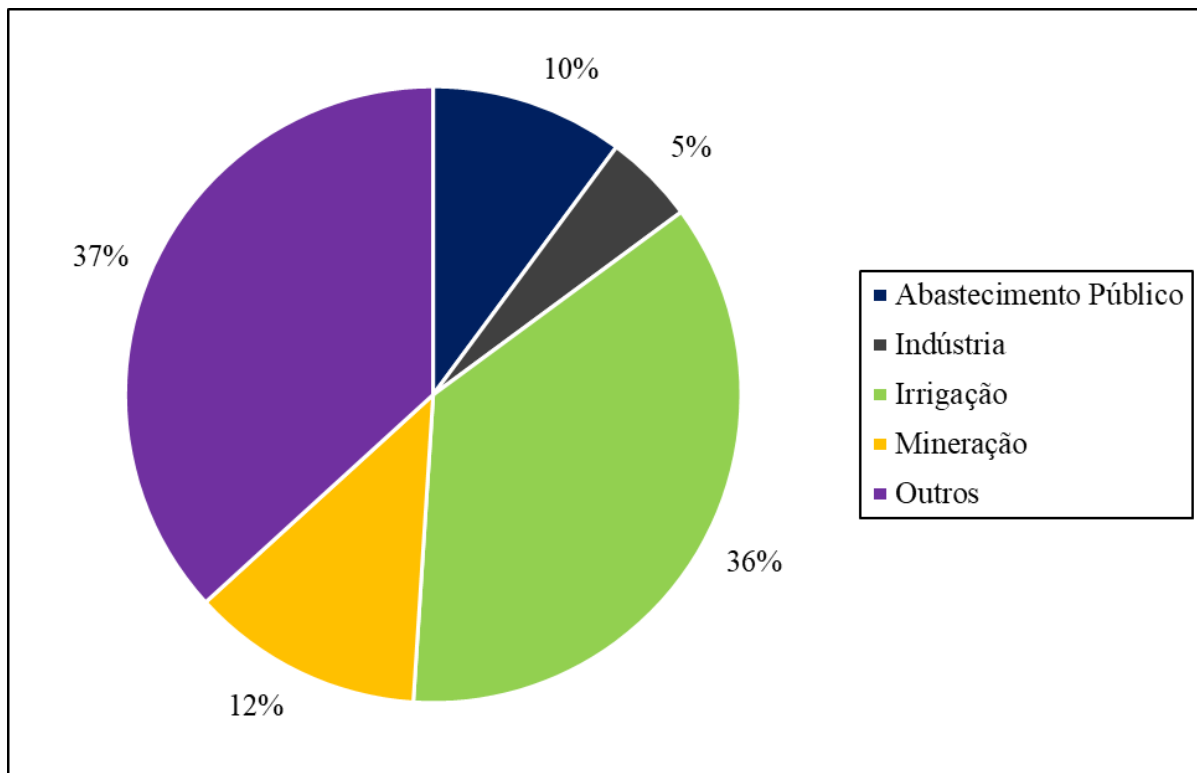
**Figura 3:** Distribuição do cadastro de usos insignificantes na bacia hidrográfica do rio Doce, por finalidade de uso dos recursos hídricos, na porção situada em Minas Gerais (m³/s)

Fonte: Os autores, 2026.

Na Figura 4 está apresentada a distribuição das outorgas estaduais de direito de uso dos recursos hídricos na porção mineira da Bacia do Rio Doce, de acordo com a finalidade de uso e considerando a vazão total outorgada (m³/s). A predominância das outorgas destinadas às finalidades classificadas como “Irrigação” e “Mineração” indica a relevância das atividades agropecuárias e minerárias, que, em conjunto, respondem por 48% da vazão total outorgada.

Esse resultado reflete a forte dependência dos setores de agricultura e mineração em relação aos recursos hídricos superficiais, principalmente para fins produtivos e de manutenção de atividades econômicas locais. Por outro lado, observa-se menor representatividade das outorgas associadas à indústria e ao abastecimento público, o que está relacionado à

concentração dessas demandas em pontos específicos da bacia, geralmente atendidas por captações de maior porte e sob controle mais rigoroso dos órgãos gestores.



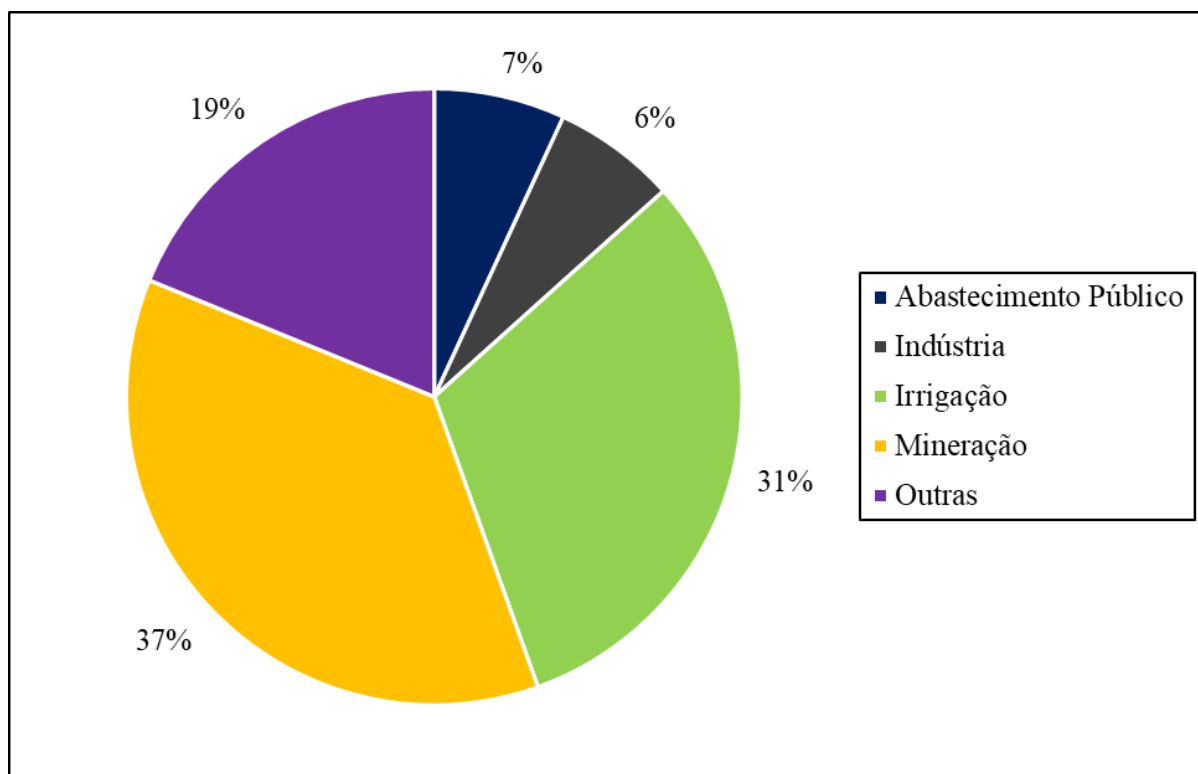
**Figura 4:** Distribuição das outorgas estaduais na Bacia do Rio Doce, por finalidade de uso dos recursos hídricos, na porção situada em Minas Gerais (m³/s).

Fonte: Os autores, 2026.

Na Figura 5 está apresentada a distribuição das outorgas federais de direito de uso dos recursos hídricos na porção mineira da bacia do rio Doce, conforme a finalidade de uso e considerando a vazão total outorgada (m³/s). Verifica-se que a mineração corresponde à maior parcela das outorgas (37%), seguida pela irrigação (31%), abastecimento público (7%), indústria (6%) e outros usos (19%).

A predominância da mineração e da irrigação, que juntas representam cerca de 68% das outorgas federais na bacia, reflete a importância econômica dessas atividades na bacia e sua expressiva demanda por recursos hídricos. A elevada participação da mineração está relacionada à presença de grandes empreendimentos minerários, especialmente em corpos d'água de gestão federal, onde as captações tendem a envolver maiores volumes de água e

processos de controle mais rigorosos. O uso para irrigação também se destaca, evidenciando a relevância da atividade agrícola irrigada em áreas da bacia com forte vocação agropecuária.



**Figura 5:** Distribuição das outorgas federais na Bacia do Rio Doce, por finalidade de uso dos recursos hídricos, na porção situada em Minas Gerais (m³/s).

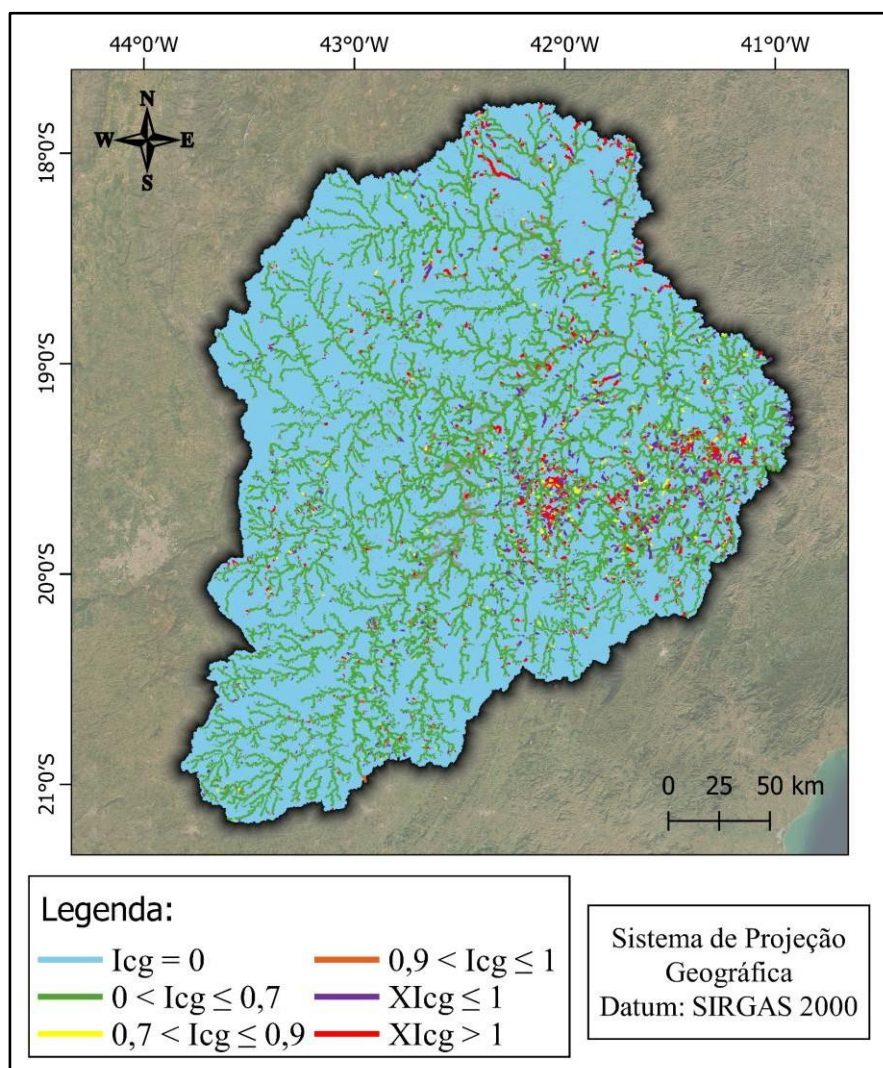
Fonte: Os autores, 2026.

De forma geral, observa-se que a distribuição das outorgas federais na bacia hidrográfica do rio Doce, na porção situada em Minas Gerais, difere da observada nas outorgas estaduais, com maior participação da mineração no cenário federal, indicando a concentração das atividades minerárias em cursos d'água de domínio da União e reforçando o caráter setorial da demanda hídrica na região.

## 5.2. Identificar regiões prioritárias para intervenção e ações de gestão e planejamento na Bacia do Rio Doce na porção situada em Minas Gerais

Na Figura 6 está apresentada a bacia do rio Doce na porção situada em Minas Gerais, com a espacialização do Índice de Conflito pelo Uso da Água ( $I_{cg}$ ). Verifica-se que, em determinadas regiões, ocorrem segmentos com vazões outorgadas superiores a 50% das vazões de referência  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$ , representados pelas colorações roxa e vermelha. Essa condição indica

áreas com maior comprometimento da disponibilidade hídrica em função da intensidade das outorgas concedidas.



**Figura 6:** Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $I_{cg}$ ) da Bacia do Rio Doce na porção situada em Minas Gerais

Fonte: Os autores, 2026.

Na Tabela 1 estão apresentadas as faixas de valores para classificação do  $I_{cg}$ , o número de segmentos enquadrados em cada uma das faixas e seu valor percentual em relação ao número de segmentos da bacia do rio Doce na porção situada em Minas Gerais.

O  $I_{cg}$  possibilita identificar as regiões em que as outorgas concedidas permanecem dentro dos limites legais, representando, por meio de uma escala de cores, as faixas de valores ainda passíveis de outorga.

Conforme os resultados do  $I_{cg}$ , constata-se que a bacia hidrográfica do Rio Doce, na porção situada em Minas Gerais, apresenta 79,4% de seus segmentos sem outorgas pelo uso da água. As faixas de valores representadas pelas cores azul, verde, amarela e laranja indicam vazões ainda permissíveis para novas outorgas, correspondendo a 98,75% do total de segmentos da bacia.

Nesses trechos, as outorgas emitidas enquadram-se dentro dos limites legais estabelecidos pela legislação vigente. Na bacia do Rio Doce, na porção mineira, esse limite corresponde a 50% da  $Q_{7,10}$  para cursos d'água de domínio estadual e a 50% da  $Q_{95}$  para cursos d'água de domínio da União, assegurando que a vazão outorgada permaneça dentro do percentual máximo permitido.

**Tabela 1:** Classificação dos segmentos da Bacia do Rio Doce, na parte situada em Minas Gerais, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos ( $I_{cg}$ )

| Faixa de valor          | Cor                                                                                 | Número de segmentos   | % em relação à bacia |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| $I_{cg} = 0$            |  | 144.329               | 79,4                 |
| $0 < I_{cg} \leq 0,7$   |  | 34.552                | 19,0                 |
| $0,7 < I_{cg} \leq 0,9$ |  | 473                   | 0,260                |
| $0,9 < I_{cg} \leq 1$   |  | 171                   | 0,094                |
| $xI_{cg} \leq 1$        |  | 1.128                 | 0,620                |
| $xI_{cg} > 1$           |  | 1.241                 | 0,680                |
|                         |                                                                                     | <b>Total:</b> 181.894 |                      |

Fonte: Os autores, 2026.

Além disso, o índice evidencia as áreas em que as vazões outorgadas já ultrapassam o limite permitido pela legislação (Moreira et al., 2014). Nesses casos, torna-se necessária a adoção de medidas de controle mais rigorosas sobre o uso da água ou, eventualmente, a reavaliação dos processos de outorga em vigor (Moreira et al., 2012). Em 1.128 segmentos (0,62%) a vazão outorgada representa mais de 50 % em relação a  $Q_{7,10}$  ou  $Q_{95}$  e que em 1.241 segmento da bacia (0,68%) são verificadas vazões outorgadas superiores aos valores das vazões mínimas de referência (  $Q_{7,10}$  ou  $Q_{95}$ ). Desta forma, observa-se que em 1,3% dos segmentos da bacia do rio Doce na porção mineira foram outorgadas vazões superiores aos limites previstos

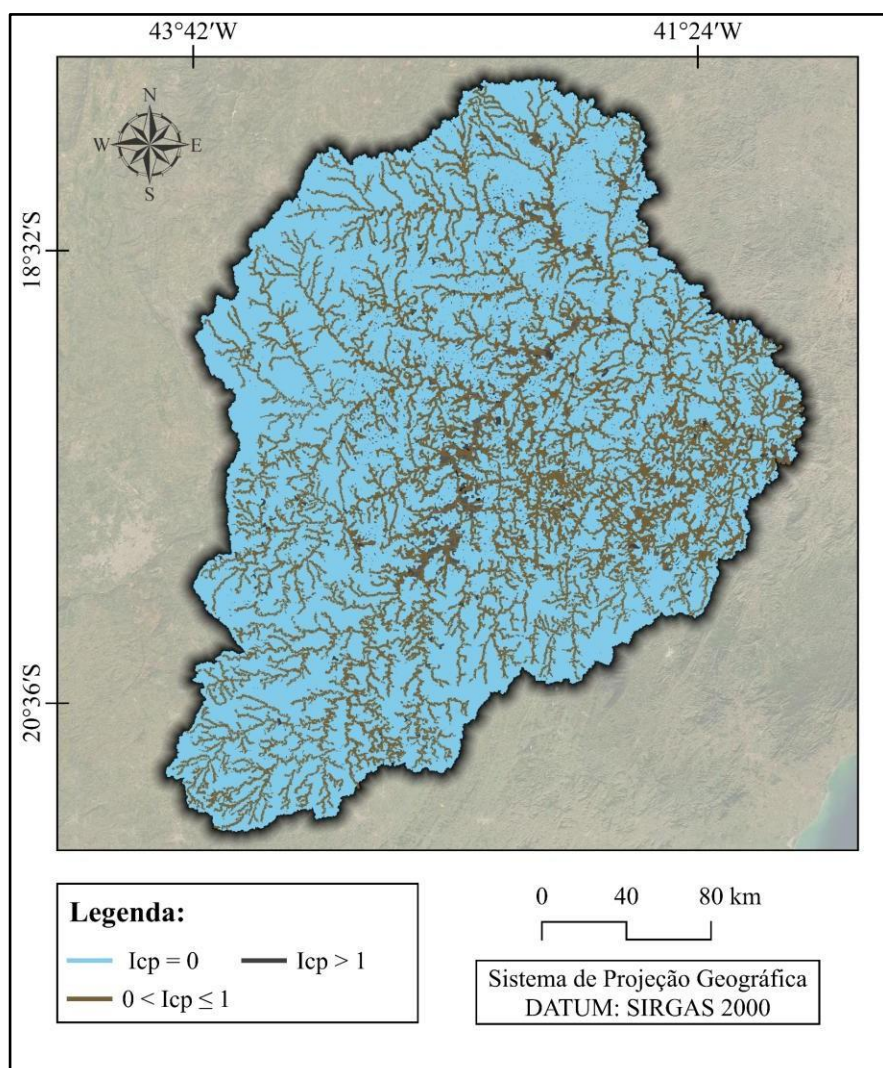
pela legislação atual, o que implica na necessidade de adoção de maior controle no processo de concessão de novas outorgas.

Por fim, os trechos de coloração azul representam trechos em que não há registro de outorgas a montante do segmento analisado. Entretanto, essa condição não implica necessariamente a viabilidade de concessão de novas outorgas, uma vez que o processo de análise deve considerar os usos existentes a jusante da seção avaliada.

A aplicação do Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos ( $I_{cp}$ ) possibilita identificar alternativas para mitigação dos conflitos hídricos, tanto por meio de ações estruturais, como a implantação de barragens de regularização, quanto de ações não estruturais, a exemplo da revisão das políticas públicas de gestão e uso da água (Moreira et al., 2012; Moreira et al., 2014).

Na Figura 7 está apresentada a bacia do rio Doce na porção situada em Minas Gerais, com a espacialização do Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos ( $I_{cp}$ ). Na Tabela 2 são apresentadas as faixas de valores utilizadas para a classificação do  $I_{cp}$ , bem como o número de segmentos enquadrados em cada faixa e o respectivo percentual em relação ao total de segmentos da porção mineira da Bacia do Rio Doce.

**Figura 7:** Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ( $I_{cp}$ ) da Bacia do Rio Doce na porção situada em Minas Gerais.



**Figura 7:** Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ( $I_{cp}$ ) da Bacia do Rio Doce na porção situada em Minas Gerais.

Fonte: Os autores, 2026.

**Tabela 2:** Classificação dos segmentos da Bacia do Rio Doce, na parte situada em Minas Gerais, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos ( $I_{cp}$ )

| Faixa de valor      | Cor                                                                                 | Número de segmentos   | % em relação à bacia |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| $I_{cp} = 0$        |  | 144.329               | 79,4                 |
| $0 < I_{cp} \leq 1$ |  | 37.444                | 20,6                 |
| $I_{cp} > 1$        |  | 121                   | 0,067                |
|                     |                                                                                     | <b>Total: 181.894</b> |                      |

Fonte: Os autores, 2026.

De forma semelhante ao verificado na análise do índice  $I_{cg}$ , constata-se que 79,4% dos segmentos da Bacia do Rio Doce, na porção situada em Minas Gerais, não apresentam registros de outorgas de uso da água. Já a coloração marrom representa os segmentos em que, apesar da existência de conflito pelo uso da água, este ainda pode ser mitigado por meio de ações de planejamento e gestão, visto que as vazões outorgadas permanecem inferiores à vazão média de longa duração. Nessa condição enquadram-se 37.444 segmentos, correspondendo a 20,6% do total da bacia.

Por outro lado, a coloração cinza indica situações críticas, nas quais o conflito não pode ser solucionado apenas por medidas de planejamento, uma vez que as vazões outorgadas já ultrapassam a vazão média de longa duração. Essa condição é observada em 121 segmentos, equivalentes a 0,067% dos trechos analisados da bacia do rio Doce na porção mineira.

Essa condição indica que os conflitos pelo uso da água observados na área podem ser mitigados por meio de medidas de planejamento, entre as quais se destacam a construção de reservatórios de regularização de vazão e a interligação de bacias, além da adoção de medidas não estruturais especialmente quando  $I_{cp} > 1$ , como a revisão das políticas públicas de concessão de outorgas, conforme apontado por Moreira et al. (2012).

Dessa forma, verifica-se que em diferentes trechos da bacia há ocorrência de conflitos pelo uso da água, os quais, em função da sua intensidade em determinados segmentos ( $I_{cp} > 1$ ), evidenciam a necessidade de um controle mais rigoroso na utilização dos recursos hídricos e da adoção de alternativas na concessão de outorgas, como a outorga coletiva ou sazonal.

No trabalho de Moreira et al. (2012), os autores enfatizam que a ausência de controle efetivo das captações e a insuficiência de informações sobre o uso da água tendem a agravar os conflitos pelo uso múltiplo dos recursos hídricos, especialmente em regiões onde há intensa demanda e pouca disponibilidade. Eles ressaltam ainda que a falta de integração entre os instrumentos de gestão como outorga, fiscalização e planejamento contribui para o aumento desses conflitos e dificulta a tomada de decisões equilibradas.

Dessa forma, a adoção dos índices propostos atende às necessidades dos órgãos gestores de recursos hídricos no diagnóstico do comprometimento da disponibilidade hídrica em relação às outorgas vigentes. A escassez desses dados dificulta a implementação de um programa eficaz de gestão e planejamento, o que pode resultar, como destaca Moreira et al. (2012), em conflitos

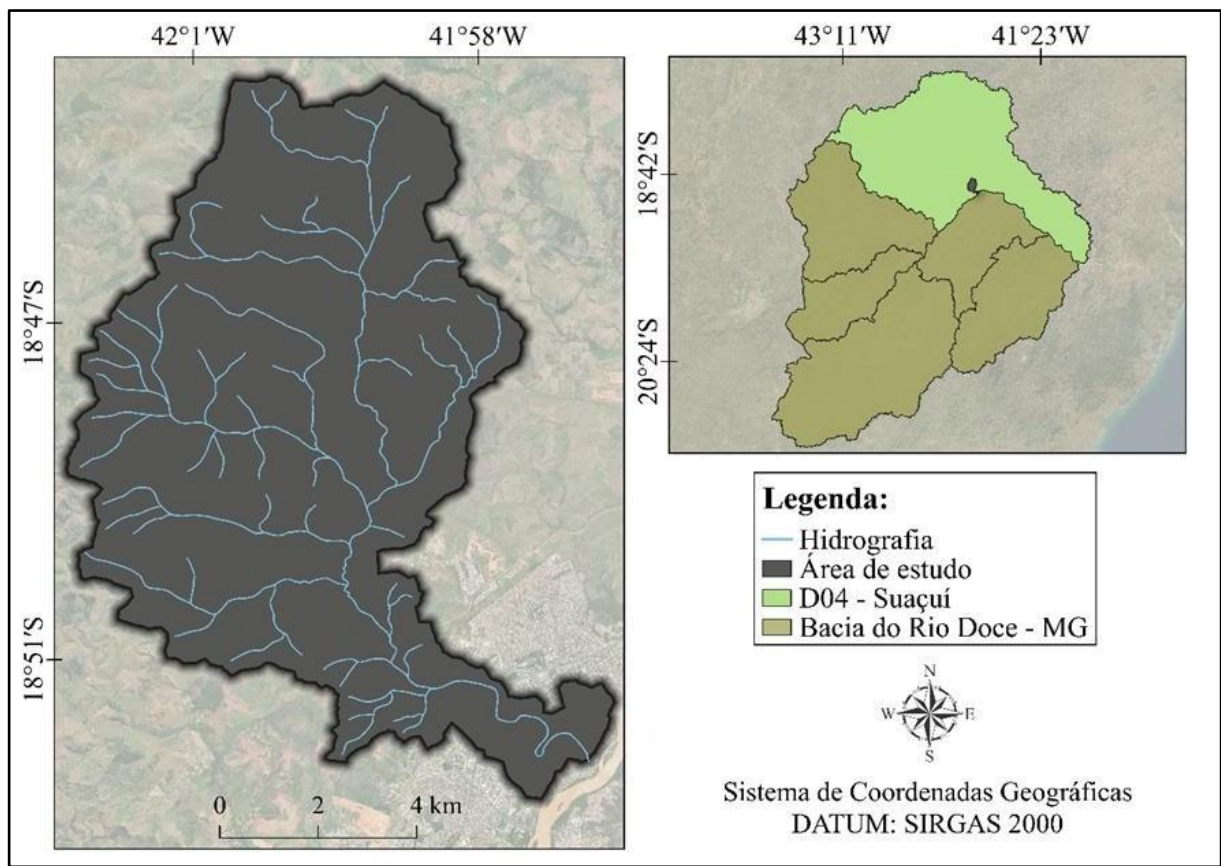
pelo uso da água decorrentes da falta de controle e integração entre os instrumentos de gestão e do uso irregular dos recursos hídricos.

### **5.3. Caracterização de áreas vulneráveis**

#### **5.3.1. Estudo de caso 1**

A área de estudo de caso 1 localiza-se na bacia hidrográfica D04 Suaçuí e está inteiramente localizada no estado de Minas Gerais. A bacia hidrográfica do Suaçuí possui uma área aproximada de 21.555 km<sup>2</sup> e engloba as sub-bacias dos rios Suaçuí Grande, Suaçuí Pequeno e Corrente Grande, além de áreas drenadas por cursos d'água menores, constituindo a maior entre as nove bacias integrantes da macrobacia do Rio Doce (CBH Suaçuí, 2025).

A bacia do Rio Suaçuí apresentada na Figura 8 é composta por 48 municípios, sendo 34 integralmente inseridos em sua área e 14, parcialmente. O Rio Suaçuí apresenta cerca de 300 km de extensão. Suas nascentes situam-se na Serra do Espinhaço, dentro do Parque Estadual do Pico do Itambé, no município de Serra Azul de Minas, onde o curso superior é conhecido como Rio Vermelho (CBH Suaçuí, 2025). A partir da confluência com os rios Turvo Grande e Cocaís, no município de Paulista, o curso passa a ser denominado Suaçuí Grande. Já o Suaçuí Pequeno nasce em Peçanha, enquanto o Rio Corrente Grande tem origem no município de Sabinópolis.



**Figura 8:** Localização da área de estudo número 1, situada na D04 - Suaçuí.

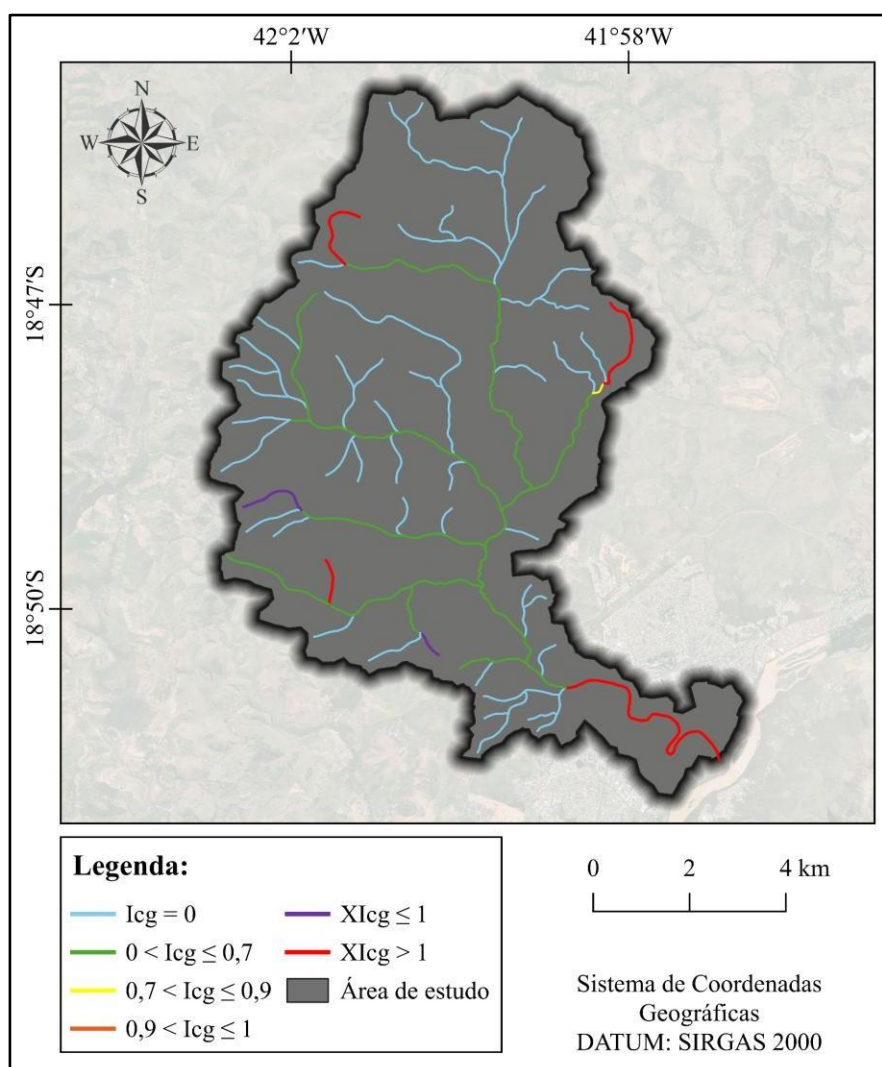
Fonte: Os autores, 2026.

Na Figura 9 está apresentado o mapa com a espacialização dos valores de  $I_{cg}$  da área. De modo geral, observa-se que, na maior parte da área estudada, os segmentos correspondem às colorações azul, verde, amarela ou laranja, indicando que as outorgas vigentes permanecem dentro dos limites permissíveis de concessão, conforme os critérios estabelecidos por (Moreira et al., 2012). Verificou-se, entretanto, no Córrego do Moreira, próximo à foz da hidrografia, a presença de segmentos com vazões superiores ao valor da  $Q_{7,10}$ , representados pela coloração vermelha no mapa, o que indica uma situação de maior conflito. Essa condição decorre de quatro outorgas federais, com somatório de vazão de 1,7388 m<sup>3</sup>/s, somadas às outorgas estaduais, com 0,07 m<sup>3</sup>/s, e às vazões de uso insignificante, de 0,017479 m<sup>3</sup>/s, que juntas totalizam 1,8263 m<sup>3</sup>/s.

Na cabeceira da área de estudo, observa-se o segmento em vermelho denominado Córrego Preto, indicando situação de conflito devido a uma outorga estadual com vazão de

0,004 m<sup>3</sup>/s, superior à vazão mínima de referência de 0,00324 m<sup>3</sup>/s. Outro córrego em conflito é o afluente do Córrego Palmital, devido ao somatório de quatro vazões de uso insignificante, no valor de 0,004 m<sup>3</sup>/s, maior que a vazão mínima de referência de 0,00302 m<sup>3</sup>/s.

Por fim, destaca-se também um córrego sem identificação, afluente do Córrego dos Borges, com somatório de duas vazões de uso insignificante, no valor de 0,002 m<sup>3</sup>/s, superior à vazão mínima de referência de 0,00106 m<sup>3</sup>/s. Destacam-se ainda os córregos com coloração roxa: um deles é o Córrego Dor de Cabeça, devido à vazão de uso insignificante de 0,001 m<sup>3</sup>/s, e outro cursos sem identificação, também em função de vazões de uso insignificante com valor de 0,001 m<sup>3</sup>/s mesmo valor da vazão mínima de referência.



**Figura 9:** Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos  $I_{cg}$  na área de estudo de caso 1 localizada na Bacia Suaçuí.

Fonte: Os autores, 2026.

Na **Tabela 3** são apresentados os valores do  $I_{cg}$ , o número de segmentos enquadrados em cada uma das faixas, o seu valor percentual em relação ao número de segmentos da área de estudo que possuem vazões outorgadas a montante da foz. Conforme a análise dos valores, verifica-se que o estudo de caso 1 possui 59,22% de seus segmentos sem a presença de outorgas pelo uso da água.

**Tabela 3:** Classificação dos segmentos da área de estudo nº 1, na parte situada da Bacia do Suaçuí, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos  $I_{cg}$

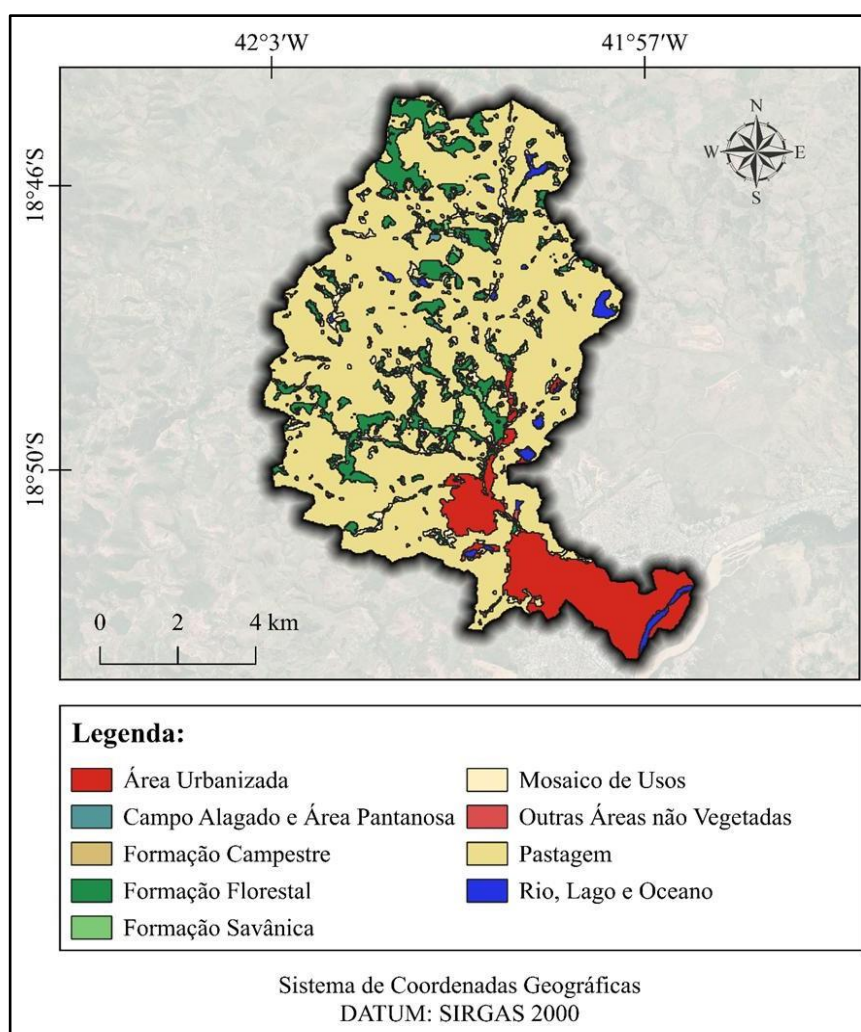
| Faixa de valor          | Cor                                                                                 | Número de segmentos | % em relação à bacia |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| $I_{cg} = 0$            |    | 61                  | 59,22                |
| $0 < I_{cg} \leq 0,7$   |   | 35                  | 33,98                |
| $0,7 < I_{cg} \leq 0,9$ |  | 1                   | 0,97                 |
| $0,9 < I_{cg} \leq 1$   |  | 0                   | 0                    |
| $XI_{cg} \leq 1$        |  | 2                   | 1,94                 |
| $XI_{cg} > 1$           |  | 4                   | 3,88                 |
|                         |                                                                                     | <b>Total: 103</b>   |                      |

Fonte: Os autores, 2026.

Mesmo que 94,17% dos segmentos da área estarem dentro do limite legal de concessão de outorga, observou-se que 5,82% dos segmentos as vazões de outorga e uso insignificante superam à vazão máxima permissível. Em 2 segmentos (1,94%) a vazão outorgada e cadastro de uso insignificante representam mais que 50% da  $Q_{7,10}$  e inferior ou igual à vazão mínima de referência, por outro lado, em 4 segmento (3,88%) são verificadas vazões outorgadas e cadastro de uso insignificante superiores ao valor da  $Q_{7,10}$ .

Embora os órgãos gestores de recursos hídricos tenham a responsabilidade de observar os limites estabelecidos para a concessão de outorgas (Moreira et al., 2012), verificou-se, que as vazões outorgadas ultrapassam os valores permitidos. O mesmo ocorre com as vazões registradas como de uso insignificante, o que pode estar relacionado à falta de ferramentas mais adequadas para o controle e o gerenciamento das outorgas emitidas.

A Figura 10 apresenta o mapa de uso e cobertura do solo da coleção 10 do MapBiomias referente ao ano de 2024, da área de estudo de caso 1. Observa-se que a pastagem constitui cerca de (70,13%), a principal forma de uso do solo, ocupando a maior parte do território e refletindo áreas destinadas à pecuária. A pastagem pode exercer forte influência sobre os recursos hídricos, principalmente pela degradação física associada ao pisoteio animal e à consequente compactação do solo. Segundo estudo realizado por Nicodemo, Borges e Souza (2018), a pastagem solteira apresentou compactação expressiva na camada superficial do solo, refletida na redução da macroporosidade e da infiltração de água, o que compromete o crescimento radicular, a utilização de água e de nutrientes do solo. Porém, é importante ressaltar que a área urbanizada ocupa 11,13% do território e sua localização coincide com um trecho da hidrografia que apresenta  $X_{lcg} > 1$ .

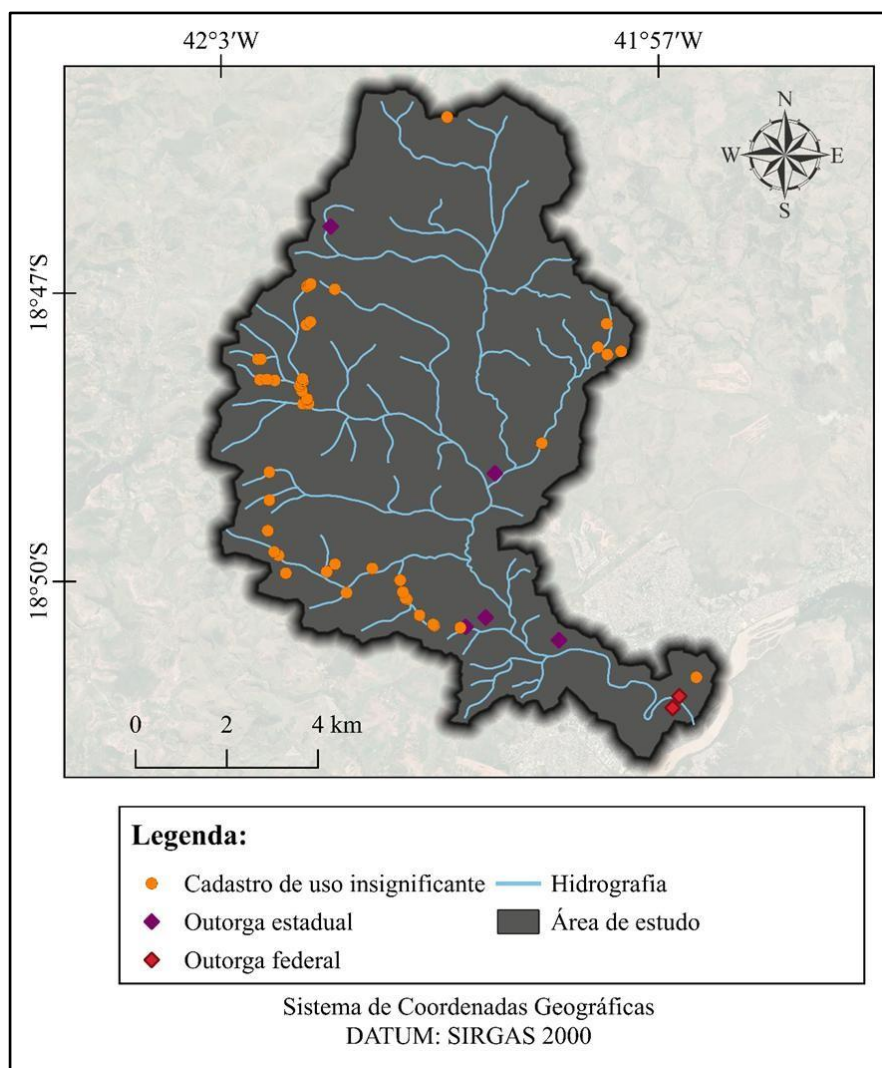


**Figura 10:** Distribuição Espacial do Uso e Cobertura do Solo da área de estudo de caso nº 1, situada na Bacia D04 Suaçuí

Fonte: Os autores, 2026.

Na Figura 11 apresenta-se a distribuição espacial das outorgas estaduais, federais e dos cadastros de uso insignificante dos recursos hídricos. No total, foram identificadas seis outorgas estaduais, sendo duas direcionadas à atividade industrial, uma destinada à irrigação e três classificadas como outros usos. Ressalta-se a ocorrência de duplicidade no banco de atributos referente a uma outorga para fins industriais, uma vez que foram registradas duas autorizações para o mesmo ponto de captação, ambas com valores idênticos de vazões, entretanto os corpos d'água onde são captadas as vazões são diferentes, sendo uma outorga localizada no curso d'água Ribeirão Muquirana (retificada) e outra no Córrego Palmital.

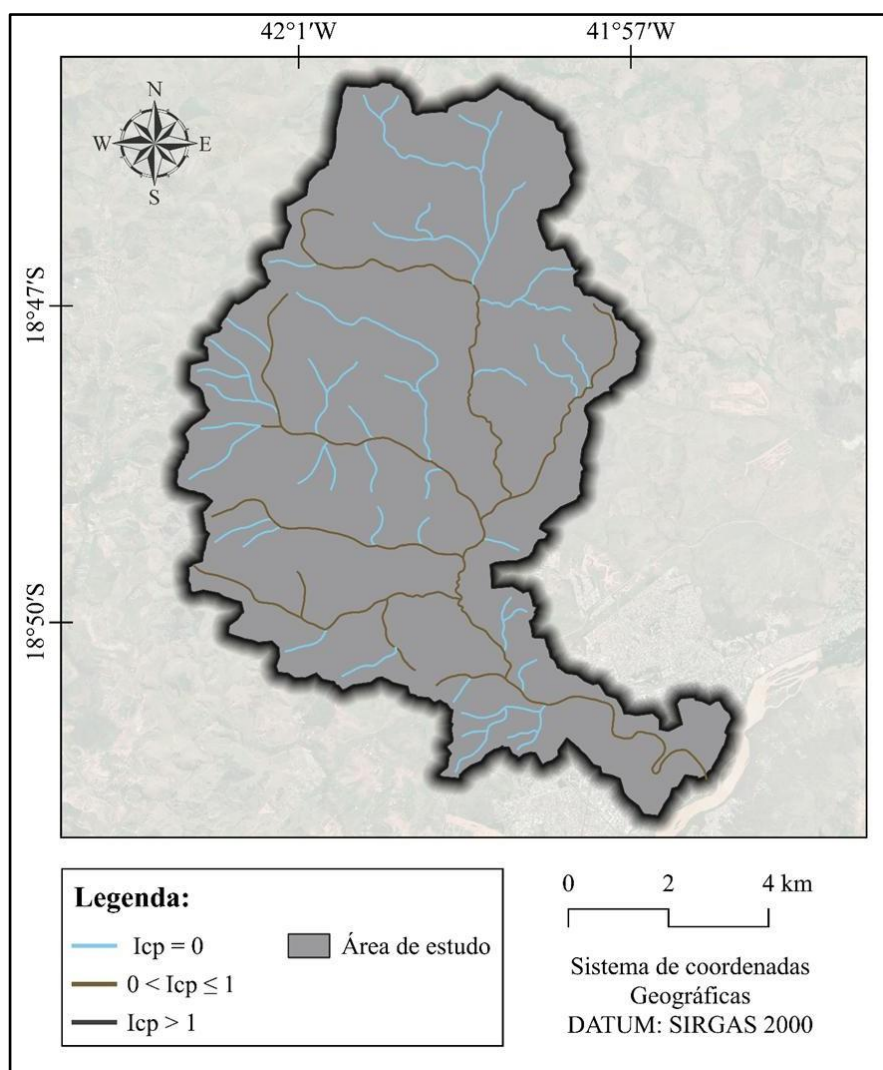
No que se refere às outorgas federais, foram identificados quatro registros, sendo dois associados ao setor industrial, pertencentes ao mesmo requerente, e dois vinculados ao abastecimento público, totalizando quatro outorgas para dois requerentes distintos. Além disso, foram contabilizados 49 cadastros de uso insignificante, com predominância das finalidades de dessedentação animal (16), seguida pelo consumo humano (6), aquicultura (3), irrigação (3) e demais usos (21).



**Figura 11:** Outorga federal, estadual e cadastro de uso insignificante vigentes na área de estudo número 1, DO4 Suaçuí

Fonte: Os autores, 2026.

Na Figura 12 apresenta-se o mapa com a espacialização dos valores de  $I_{cp}$  da área. De modo geral, observa-se uma situação estável em relação ao índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos, uma vez que, na maior parte da área estudada, os segmentos correspondem às coloração azul, significando que não à vazões de cadastro de uso insignificante e outorgadas a montante do segmento, ou a coloração marrom, a qual indica que as vazões de uso insignificante ou outorgadas são inferiores à vazão média de longa duração, conforme os critérios estabelecidos por (Moreira et al., 2012).



**Figura 12:** Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ( $I_{cp}$ ) na área de estudo de caso 1, localizada na DO4 - Suaçuí.

Fonte: Os autores, 2026.

Na Tabela 4, apresentam-se as faixas de valores para classificação do índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos  $I_{cp}$ , o número de segmentos delimitados em cada uma das faixas e seus valores percentuais em relação ao número de segmentos da área de estudo de caso 1.

**Tabela 4:** Classificação dos segmentos do estudo de caso 1, na parte situada na Bacia do Suaçuí, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos  $I_{cp}$

| Faixa de valor      | Cor                                                                               | Número de segmentos | % em relação à bacia |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| $I_{cp} = 0$        |  | 61                  | 59,22                |
| $0 < I_{cp} \leq 1$ |  | 42                  | 40,78                |
| $I_{cp} > 1$        |  | 0                   | 0                    |
|                     |                                                                                   | <b>Total: 103</b>   |                      |

Fonte: Os autores, 2026.

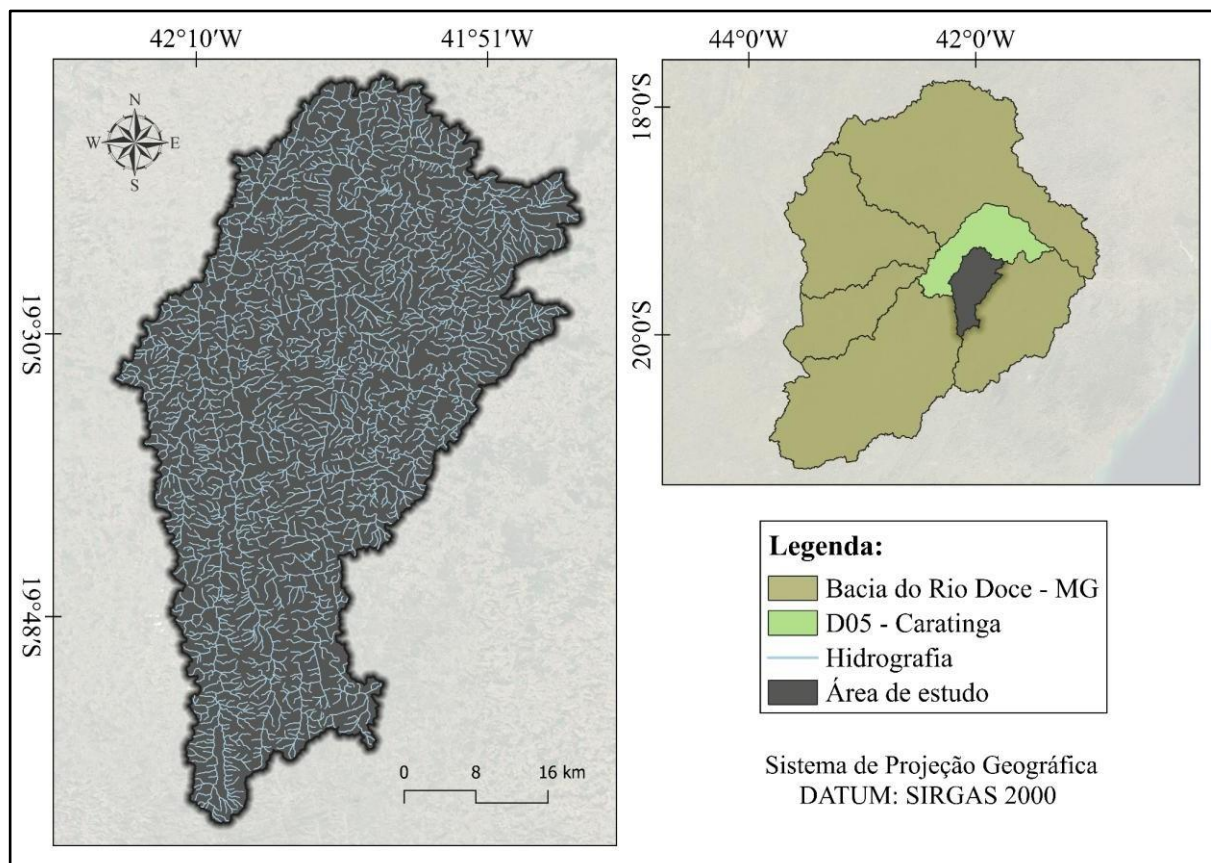
Da mesma maneira como demonstrado na análise do  $I_{cg}$ , verificou-se que 59,22% dos segmentos não possuem à montante outorgas ou cadastro de uso insignificante, enquanto 40,78% dos segmentos a vazão outorgada correspondem a um valor inferior à vazão média de longa duração  $0 < I_{cp} \leq 1$ . Por outro lado, em zero segmentos da bacia observa-se valores de  $I_{cp} > 1$ , correspondendo à situação em que existindo o conflito pelo uso da água não se pode mais contorná-lo apenas com a adoção de medidas estruturais, uma vez que as vazões outorgadas são superiores que a vazão média de longa duração.

### 5.3.2. Estudo de caso 2

O segundo caso de estudo se localiza na Bacia Hidrográfica do D05 - Caratinga (Figura 13). A Bacia Hidrográfica do DO5 - Caratinga encontra-se inteiramente inserida no território do Estado de Minas Gerais, abrangendo uma área de aproximadamente 6.677,62 km<sup>2</sup>. O curso principal, o Rio Caratinga, tem suas nascentes localizadas no município de Santa Bárbara do Leste e percorre cerca de 222 km até desaguar no Rio Doce, recebendo como principais contribuintes o Rio Preto e os ribeirões Alegre e Queiroga.

A área de drenagem da bacia compreende, total ou parcialmente, 29 municípios distribuídos entre as regiões da Zona da Mata e do Vale do Rio Doce. Segundo informações do Plano de Ação de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Caratinga (PARH Caratinga, 2010), trata-se da segunda bacia mais populosa da macrobacia do Rio Doce, com uma população estimada em 283 mil habitantes. A economia regional apresenta predominância do setor de serviços, responsável por cerca de 64% do Produto Interno Bruto (PIB), seguido pelas atividades agropecuárias (16%) e industriais (11%). Dentre as atividades agrícolas, destacam-se as

culturas de café e arroz, enquanto a pecuária se sobressai pelo crescimento expressivo na criação de búfalos.



**Figura 13:** Localização da área de estudo número 2, situada na D05 - Caratinga

Fonte: Os autores, 2026.

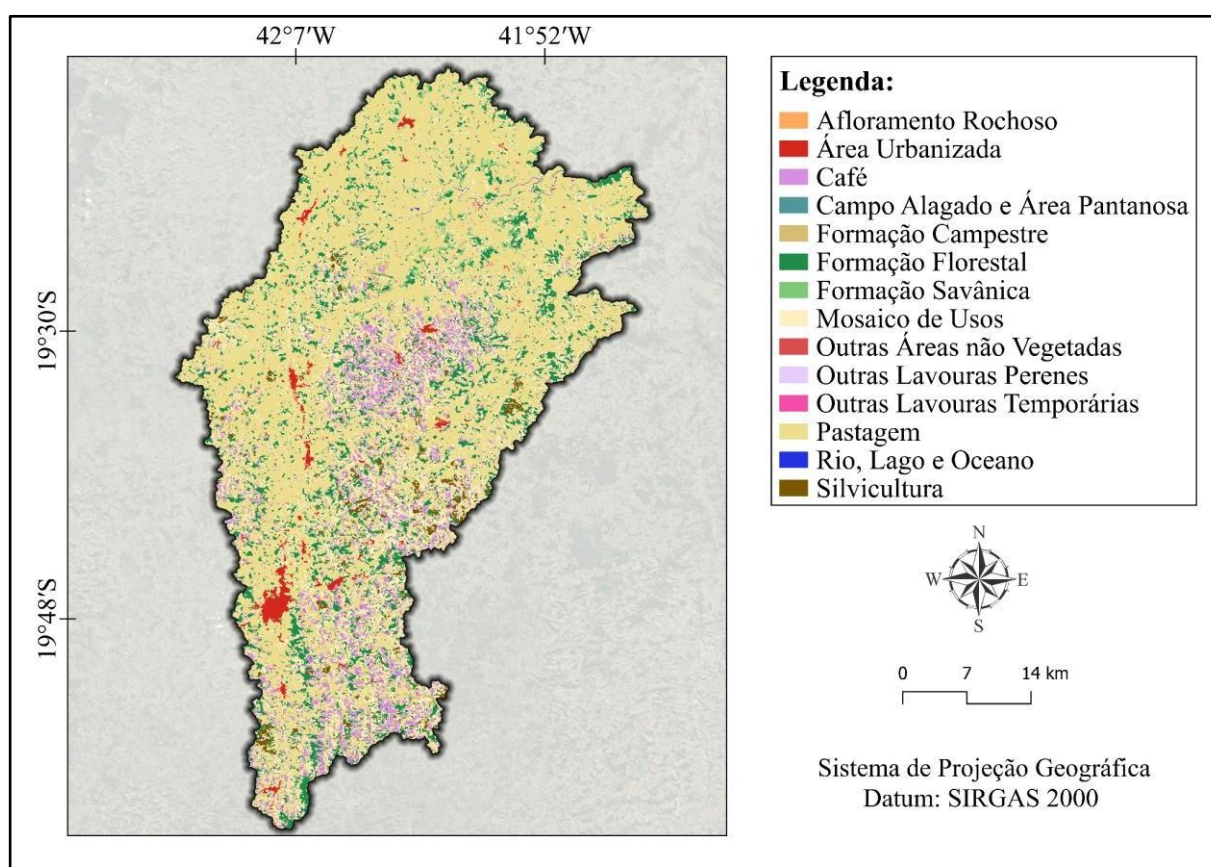
A Figura 14 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo nº 2, elaborado a partir da Classificação 10 do MapBiomas Brasil (ano-base 2024). A análise das classes demonstra que a área é majoritariamente ocupada por pastagens, que representam aproximadamente 51,95% da área total (2.253,798 km<sup>2</sup>). Essa predominância reflete o caráter agropecuário da região, com forte influência das atividades de pecuária extensiva.

As atividades agropecuárias podem gerar diversos impactos sobre o meio ambiente e os recursos hídricos. De acordo com Sambuichi et al. (2012), esses impactos decorrem principalmente de dois fatores: a mudança no uso do solo, resultante do desmatamento e da

conversão de ecossistemas naturais em áreas de cultivo, e a degradação das áreas agrícolas, provocada por práticas de manejo inadequadas.

A segunda classe mais expressiva corresponde ao mosaico de usos, com 23,86% (537,81 km<sup>2</sup>), indicando a presença de áreas com diferentes tipos de cobertura e uso do solo. Em seguida, destacam-se as formações florestais, que abrangem cerca de 12,03% (271,16 km<sup>2</sup>).

Outras classes de relevância ambiental incluem as lavouras de café (6,49%), formações savânicas (1,24%), silvicultura (1,50%), e áreas urbanizadas (1,42%). As outras lavouras temporárias e perenes representam menos de 1% da área total, assim como as formações campestres, afloramentos rochosos, campos alagados e áreas pantanosas, rios, lagos e oceanos, que ocupam proporções pontuais.



**Figura 14:** Distribuição Espacial do Uso e Cobertura do Solo da área de estudo de caso nº 2, situada na Bacia DO5 - Caratinga.

Fonte: Os autores, 2026.

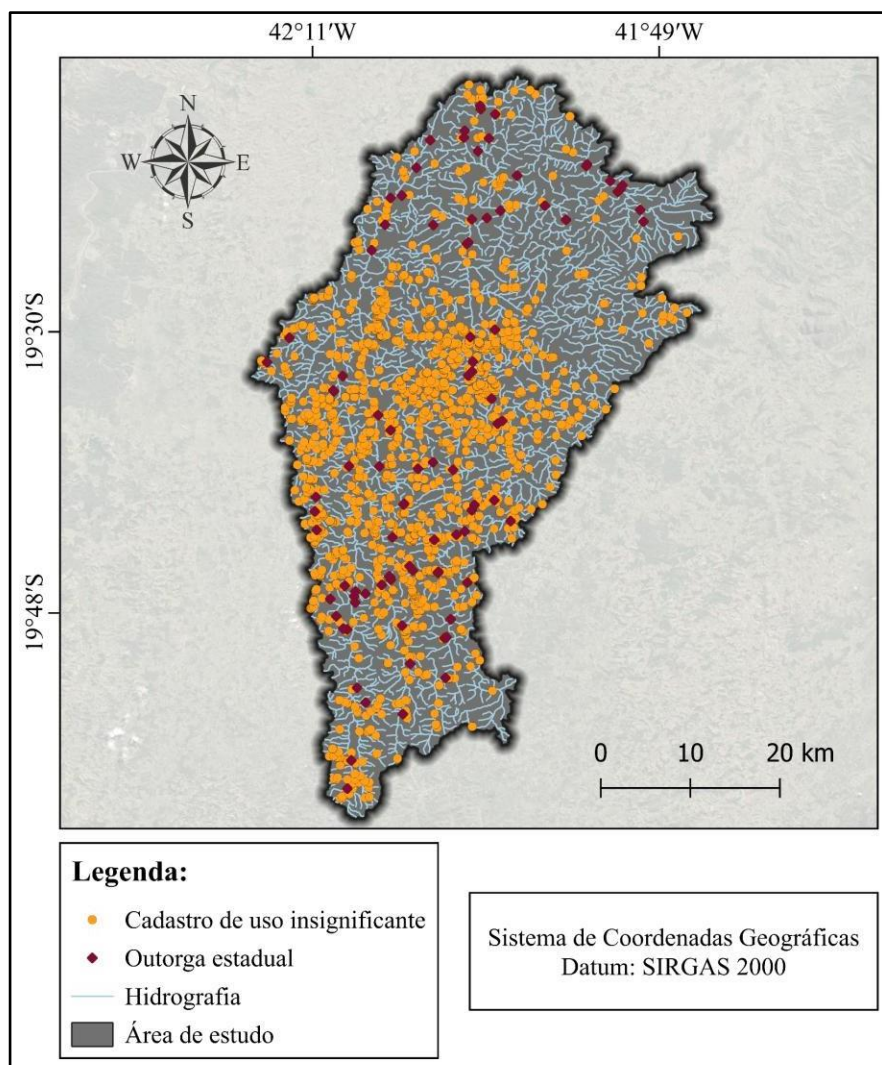
Na porção central da área de estudo observa-se uma maior concentração de lavouras temporárias, lavouras perenes e áreas de cultivo de café, conforme indicado pela Figura 14.

Essa distribuição espacial sugere uma intensa atividade agrícola, com uso significativo de insumos e recursos hídricos para irrigação e manejo das culturas.

De acordo com a FAO (1997), o desenvolvimento da irrigação pode gerar tanto benefícios quanto impactos ambientais negativos. Entre os aspectos positivos, destaca-se o aumento da produtividade agrícola e forrageira em áreas favoráveis, contribuindo para reduzir a pressão sobre terras degradadas. No entanto, os efeitos negativos podem ocorrer dentro e fora das propriedades rurais, como o represamento de rios, o lançamento de águas com altas concentrações de sais, resíduos orgânicos e agroquímicos, além de problemas como escoamento superficial, percolação profunda, salinização e encharcamento do solo, dependendo do método de irrigação empregado.

Esses fatores são especialmente relevantes nas áreas agrícolas identificadas no estudo, onde a irrigação, embora essencial para a produção, pode intensificar a pressão sobre os recursos hídricos e contribuir para o aumento do índice de conflito pelo uso da água na área de estudo analisada.

Na Figura 15 apresenta-se a área de estudo número 2, com suas respectivas outorgas estaduais e cadastros de uso insignificante vigentes em 2025. Foram identificadas 95 outorgas estaduais, das quais 43 destinadas à irrigação, 14 ao abastecimento público, 6 à mineração, 3 à indústria e 29 classificadas como outros usos (aquicultura, consumo humano, dessedentação de animais, geração de energia, entre outros). Por outro lado, observou-se um número expressivo de cadastros de uso insignificante, totalizando 1.703 registros, sendo 699 voltados à aquicultura, 392 à irrigação, 201 à dessedentação de animais, 51 ao consumo humano, 29 à indústria e 331 relacionados a outros usos (mineração, serviços de lazer, turismo, entre outros). Ressalta-se que não há registros de outorgas de domínio federal da área de estudo.



**Figura 15:** Outorgas estaduais e cadastro de uso insignificante vigentes na área de estudo número 2

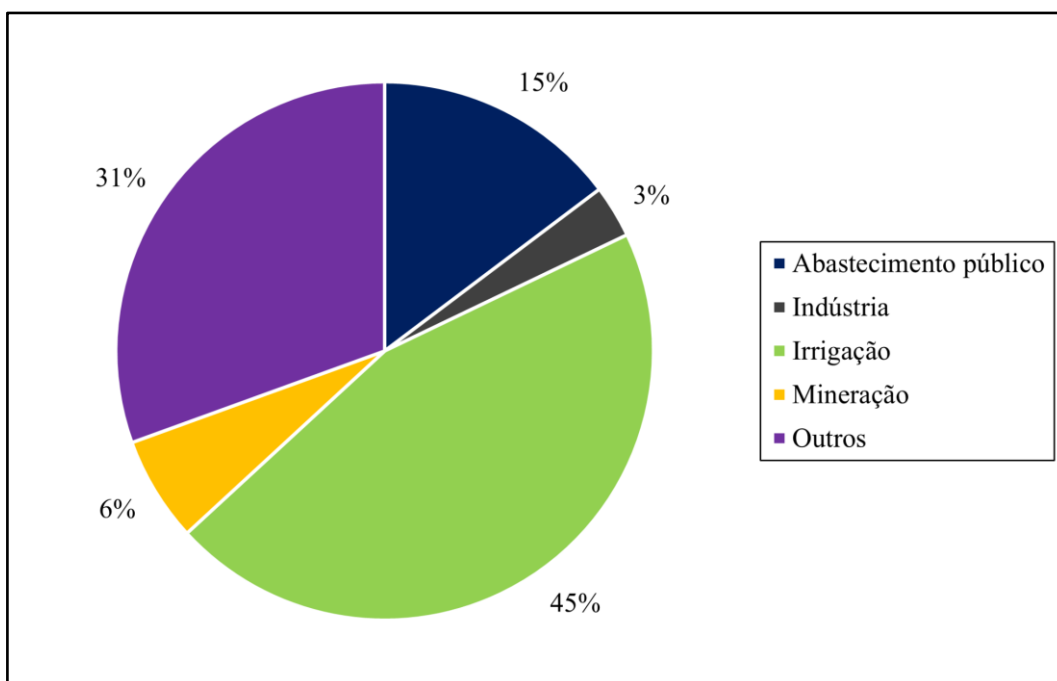
Fonte: Os autores, 2026.

A aquicultura constitui a principal categoria nos cadastros de uso insignificante, representando 41% do total dos cadastros, o que evidencia a expressiva presença dessa atividade na região. A irrigação aparece como o segundo principal uso, correspondendo a 23% dos cadastros, reforçando a importância do setor agropecuário local, também observada na análise das outorgas estaduais. A dessedentação animal e o consumo humano representam, respectivamente, 12% e 3% dos registros, indicando a relevância desses usos no contexto rural da bacia. A indústria, por sua vez, apresenta participação reduzida, com apenas 2% dos cadastros, refletindo o caráter predominantemente agrícola e de pequenos produtores na área.

A categoria “Outros”, que compreende atividades como mineração, lazer e serviços, entre outros, responde por 19% do total, revelando a diversidade de formas de aproveitamento dos recursos hídricos locais.

De modo geral, o predomínio da aquicultura e da irrigação entre os usos insignificantes, que juntas representam 64% da demanda hídrica superficial, evidencia o perfil econômico e social da região, fortemente associado às atividades rurais e à utilização de recursos hídricos de pequena escala, o que demanda atenção à gestão integrada e ao monitoramento das captações, mesmo quando consideradas de baixo impacto individual.

O Figura 16 apresenta a distribuição das outorgas estaduais de direito de uso dos recursos hídricos na área de estudo, de acordo com a finalidade de uso e considerando a vazão total outorgada ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Observa-se que a categoria irrigação representa a principal demanda outorgada, correspondendo a 45% do total, o que demonstra a relevância da atividade agrícola no uso da água na região. Essa predominância está relacionada à vocação agropecuária da bacia, especialmente voltada para o cultivo de culturas permanentes e temporárias, que dependem de irrigação para manutenção da produtividade ao longo do ano.



**Figura 16:** Distribuição das outorgas estaduais na área de estudo nº 2, por finalidade de uso dos recursos hídricos ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Fonte: Os autores, 2026.

O abastecimento público aparece em segundo lugar, com 15% das outorgas, evidenciando a importância do uso da água para o suprimento das populações locais. Em seguida, à mineração (6%) e à indústria (3%) possuem menor representatividade. Além disso, a categoria “Outros”, que abrange atividades diversas, como aquicultura, lazer, consumo humano individualizado, dentre outras, representa 31% do total.

De modo geral, a análise evidencia que a irrigação e o abastecimento público são os principais vetores de demanda hídrica na área em estudo, representando juntos 60% da demanda hídrica superficial, o que reforça a necessidade de um planejamento integrado que contemple tanto a sustentabilidade das atividades agrícolas quanto a segurança hídrica das populações atendidas.

Na Tabela 5 são apresentados os valores do  $I_{cg}$ , o número de segmentos enquadrados em cada uma das faixas, o seu valor percentual em relação ao número de segmentos da área de estudo que possuem vazões outorgadas a montante da foz ( $m^3/s$ ).

Constata-se, pela análise dos valores observados na Tabela 5, que a área de estudo nº 2 apresenta 55,79 % de seus segmentos sem outorgas pelo uso da água. As faixas de valores representadas pelas cores, verde, amarelo e laranja indicam vazões ainda permissíveis de serem outorgadas. Observa-se que em 91,26 % dos segmentos de cursos d’água da bacia as outorgas emitidas enquadram-se dentro dos limites legais previstos pela legislação, a qual na Bacia do Rio Doce na porção situada em Minas Gerais corresponde a 50 % da  $Q_{7,10}$  e 50 % da  $Q_{95}$  para os cursos d’água de domínio da União.

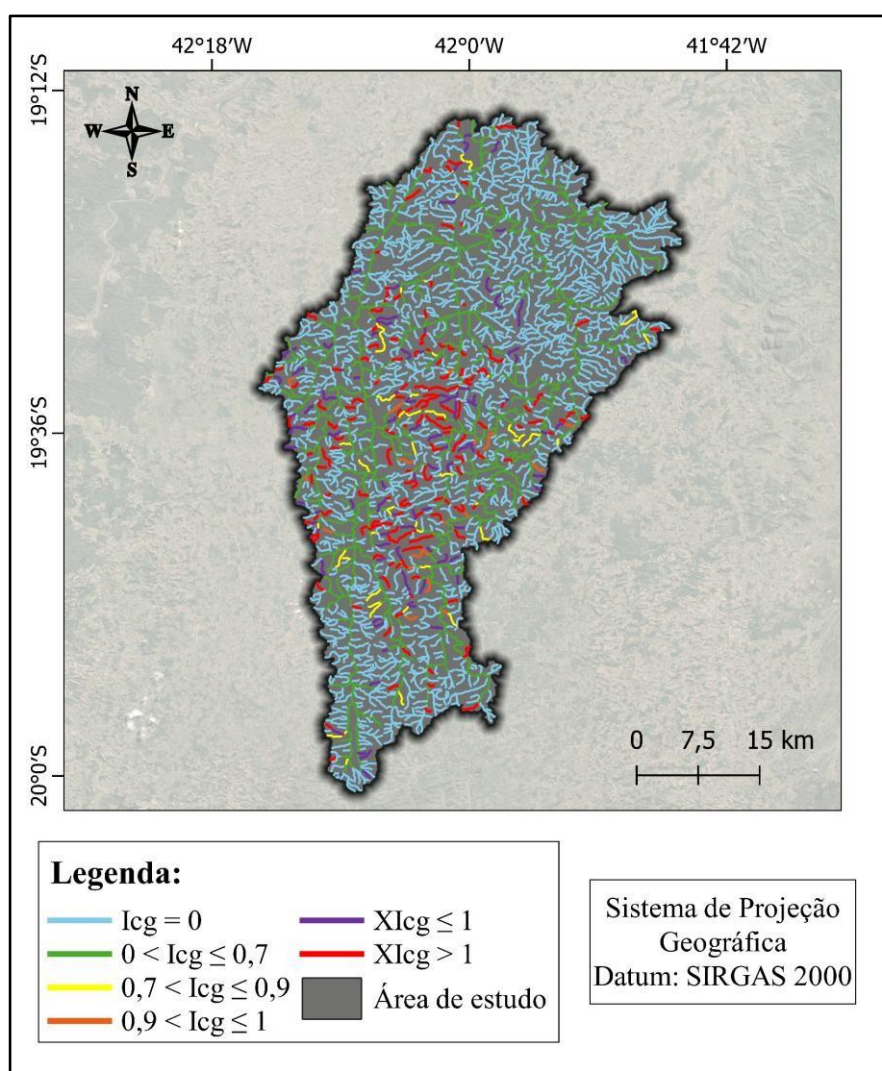
**Tabela 5:** Classificação dos segmentos da área de estudo nº 2, situada na Bacia DO5 - Caratinga, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos ( $I_{cg}$ )

| Faixa de valor          | Cor                                                                                 | Número de segmentos | % em relação à bacia |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| $I_{cg} = 0$            |  | 1.672               | 55,79                |
| $0 < I_{cg} \leq 0,7$   |  | 987                 | 32,93                |
| $0,7 < I_{cg} \leq 0,9$ |  | 55                  | 1,84                 |
| $0,9 < I_{cg} \leq 1$   |  | 21                  | 0,7                  |
| $x I_{cg} \leq 1$       |  | 107                 | 3,57                 |
| $x I_{cg} > 1$          |  | 155                 | 5,17                 |
|                         |                                                                                     | <b>Total: 2.997</b> |                      |

Fonte: Os autores, 2026.

Observa-se também que em 107 segmentos (3,57%) a vazão outorgada e o cadastro de uso insignificante representam mais de 50 % da  $Q_{7,10}$ , acima do limite legal, por outro lado, 155 segmentos da bacia são verificados vazões superiores aos valores das vazões mínimas de referência (  $Q_{7,10}$ ). Vale ressaltar que na área de estudo nº 2 não se encontram cursos d'água de domínio da União.

A Figura 17 apresenta a área de estudo número 2, situada na bacia hidrográfica DO5 - Caratinga, com a espacialização do Índice de Conflito pelo Uso da Água ( $I_{cg}$ ). Verifica-se que, em determinadas regiões, ocorrem segmentos com vazões outorgadas e cadastro de usos insignificantes superiores a 50% da  $Q_{7,10}$ , representados pela coloração roxa. Essa condição indica áreas com maior comprometimento da disponibilidade hídrica em função da intensidade das outorgas e vazões de uso dos recursos hídricos concedidas.



**Figura 17:** Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $I_{cg}$ ) na área de estudo de caso 2, localizada na DO5 - Caratinga

Fonte: Os autores, 2026.

Observa-se que as áreas destacadas em roxo representam segmentos influenciados por usos múltiplos dos recursos hídricos. A ampla distribuição espacial dessa classe na área de estudo nº 2 pode estar relacionada à alta densidade de captações outorgadas em âmbito estadual e aos numerosos cadastros de uso insignificante, com destaque para as finalidades de irrigação (45%) e aquicultura (41%), que se configuram como os principais usos dos recursos hídricos na região.

De acordo com Moreira et al. (2012), a concessão de outorgas em volumes superiores aos limites legais é uma prática recorrente, ainda que os órgãos gestores tenham o dever de respeitar tais restrições. Essa situação decorre, em grande parte, da carência de ferramentas adequadas para o gerenciamento efetivo das outorgas emitidas e para a quantificação precisa

da disponibilidade hídrica, o que contribui para o aumento de conflitos pelo uso da água em bacias com intensa demanda.

Essas constatações evidenciam a necessidade de analisar o índice de conflito pelo uso da água como instrumento de apoio ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos, de modo a identificar alternativas para mitigação dos conflitos existentes por meio da implementação de ações estratégicas e medidas de ordenamento na bacia hidrográfica.

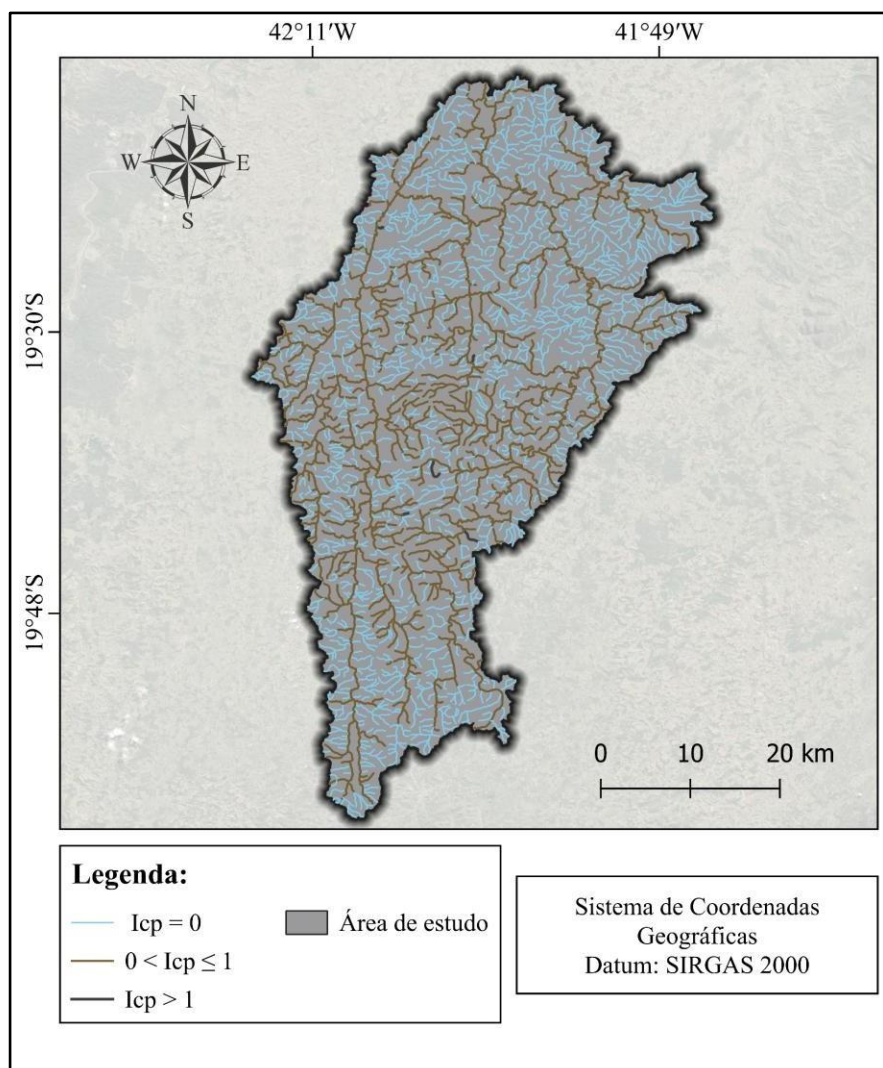
O cálculo do  $I_{cp}$  dos segmentos da área de estudo nº 2 (Tabela 6 e Figura 18), apresentou 1.672 segmentos da região de estudo (55,79%) sem outorgas, enquanto em 1.320 segmentos (44,04%) a vazão outorgada corresponde a um valor inferior à vazão média de longa duração  $0 < I_{cp} \leq 1$ .

**Tabela 6:** Classificação dos segmentos da área de estudo nº 2, situada na Bacia de Caratinga, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos ( $I_{cp}$ )

| Faixa de valor      | Cor                                                                                 | Número de segmentos | % em relação à bacia |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| $I_{cp} = 0$        |  | 1.672               | 55,79                |
| $0 < I_{cp} \leq 1$ |  | 1.320               | 44,04                |
| $I_{cp} > 1$        |  | 5                   | 0,17                 |
|                     |                                                                                     | <b>Total: 2.997</b> |                      |

Fonte: Os autores, 2026.

Em cinco segmentos da bacia observa-se valores de  $I_{cp} > 1$ , correspondendo à situação em que existindo o conflito pelo uso da água não se pode mais contorná-lo apenas com a adoção de medidas estruturais, uma vez que as vazões outorgadas são superiores que a vazão média de longa duração. Conseguiu-se identificar um segmento com  $I_{cp} > 1$  no Córrego Grotão, enquanto quatro outros segmentos não apresentaram identificação específica.



**Figura 18:** Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (Icp) na área de estudo de caso 2, localizada na DO5 - Caratinga

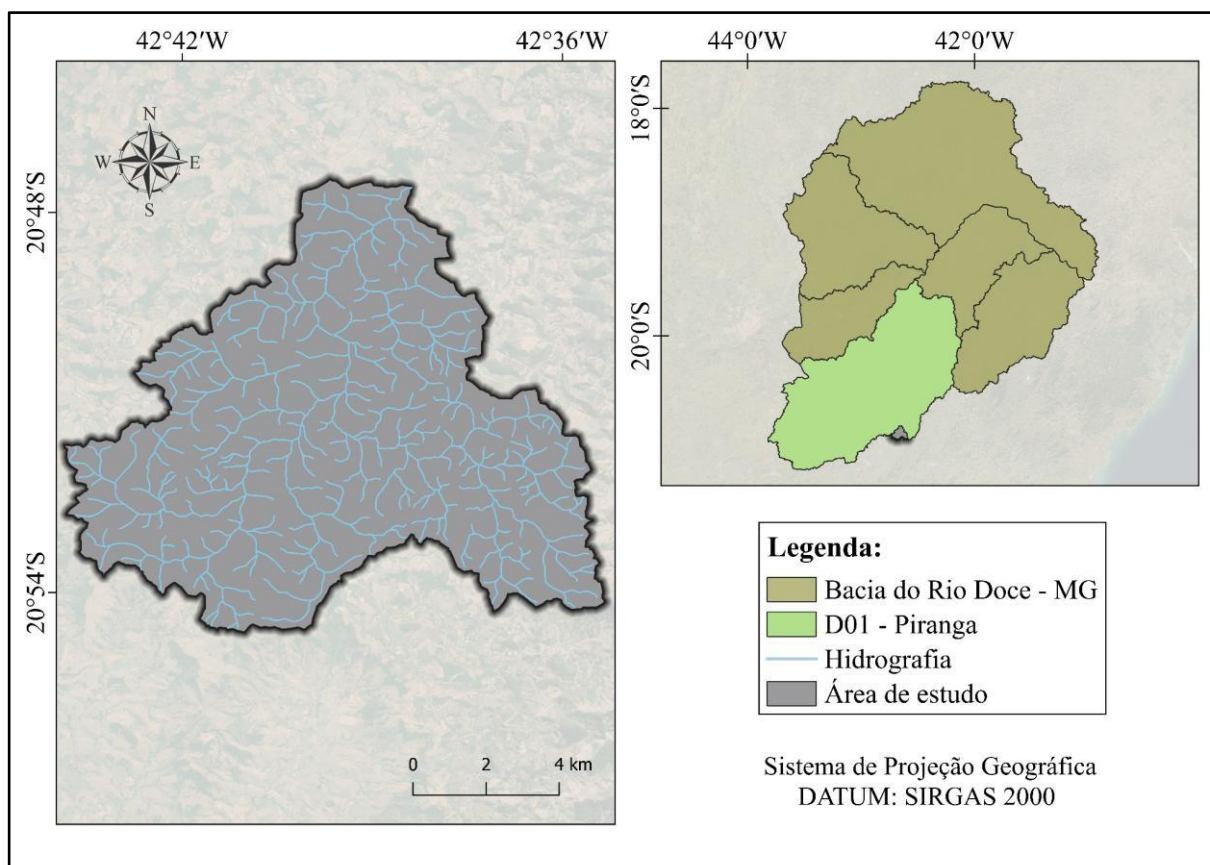
Fonte: Os autores, 2026.

Apesar dos índices permitirem uma ampla análise quanto à utilização dos recursos hídricos na bacia, eles não fornecem subsídios que levem em consideração a qualidade da água na bacia. Almeida et al. (2014) explicam que essa é uma limitação quanto ao seu uso, dado que conflitos pelo uso da água também podem ocorrer devido à baixa qualidade da água, mesmo que esta esteja disponível quantitativamente de modo satisfatório.

### 5.3.3. Estudo de caso 3

A área do estudo de caso número 3 (Figura 19) está localizada na bacia hidrográfica do Piranga, abrangendo uma área aproximada de 17.571 km<sup>2</sup>, com predominância nas regiões da

Zona da Mata e dos Campos das Vertentes. Conforme o Relatório de Implementação do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga (PDRH Piranga, 2023–2024), o rio Piranga constitui o curso d'água principal da circunscrição hidrográfica, tendo o rio Xopotó como seu principal afluente.

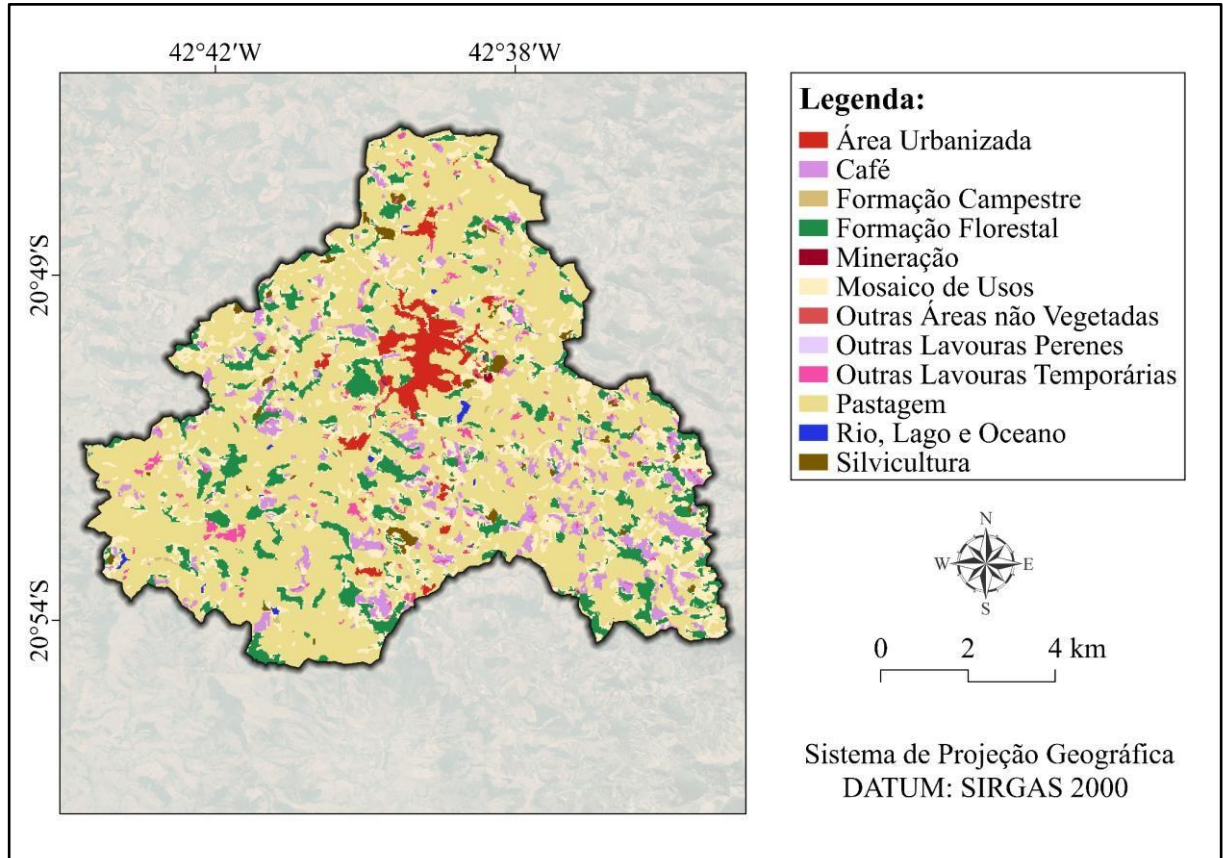


**Figura 19:** Localização da área de estudo número 3, situada na DO1 - Piranga

Fonte: Os autores, 2026.

A Figura 20 apresenta o mapa de uso e cobertura do solo da coleção 10 do MapBiomas referente ao ano de 2024, da área de estudo de caso nº 3. Observa-se que a pastagem constitui cerca de (59,84%), a principal forma de uso do solo, ocupando a maior parte do território e refletindo áreas destinadas à pecuária. As formações florestais ainda representam uma parcela significativa na cobertura natural (10,24%), por outro lado, a classe “Mosaico de usos”, que

corresponde a (18%), é a segunda principal forma de uso do solo. É importante ressaltar que os recursos hídricos da área representam apenas (0,21%) do total.



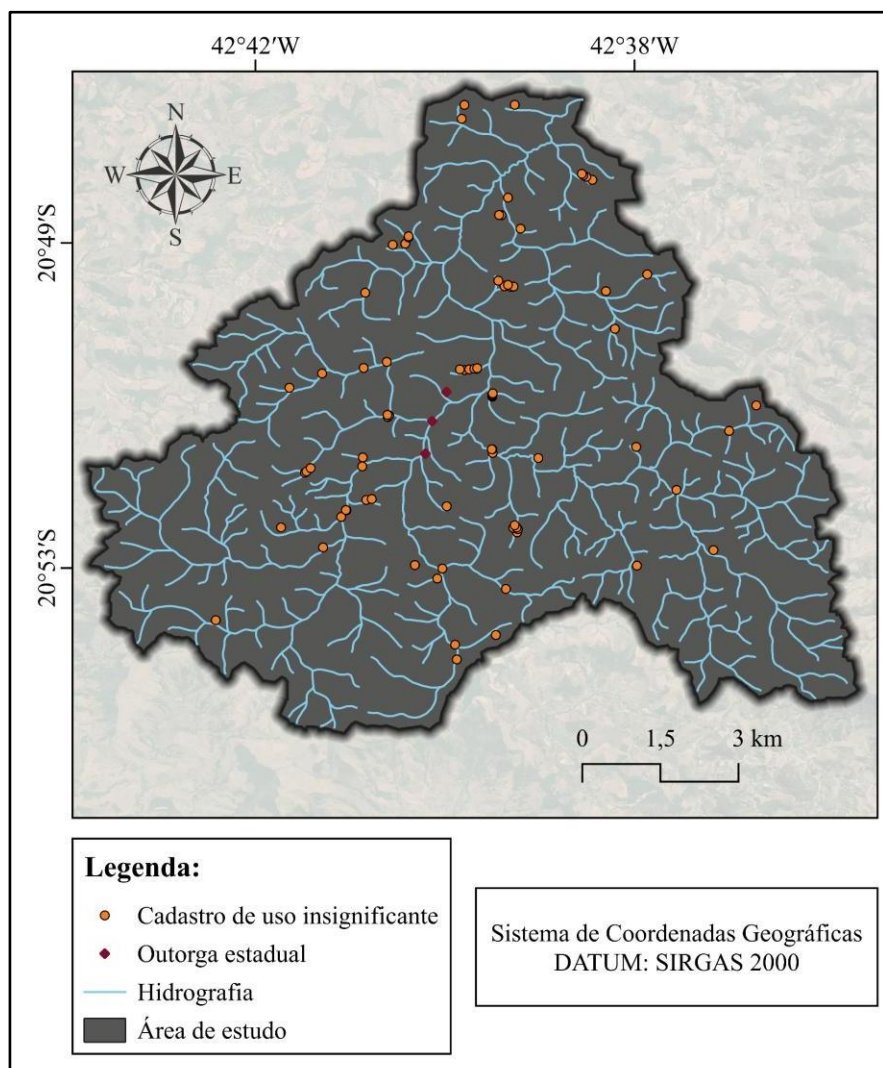
**Figura 20:** Distribuição Espacial do Uso e Cobertura do Solo da área de estudo de caso 3, situada na DO1 - Piranga

Fonte: Os autores, 2026.

O predomínio das áreas de pastagem, que apresentam 59,84% do uso do solo, pode exercer forte influência sobre os recursos hídricos, principalmente pela degradação física associada ao pisoteio animal e à consequente compactação do solo. Segundo Shi et al. (2012) destacam que a compactação e o aumento da resistência mecânica do solo reduzem a umidade nas camadas superficiais, alterando a dinâmica hídrica e diminuindo a infiltração. Dessa forma, o predomínio de pastagens compactadas contribui para a perda da capacidade de retenção e infiltração de água.

A Figura 21 apresenta o mapa com as respectivas outorgas estaduais e dos cadastros de uso insignificante dos recursos hídricos. Foram identificadas três outorgas estaduais, das quais uma é destinada ao abastecimento público, enquanto as outras duas não possuem a finalidade de uso especificada. Da mesma forma, observou-se muitos cadastros de uso insignificante,

totalizando 79 registros, sendo 31 destinados à aquicultura, 15 à irrigação, 11 à dessedentação de animais e 22 a outros usos.



**Figura 21:** Outorga estadual e cadastro de uso insignificante vigentes na área de estudo de caso 3, situada na DO1 - Piranga

Fonte: Os autores, 2026.

Entre os cadastros de uso insignificante, a aquicultura corresponde à maior parcela dos cadastros (39%), seguida pela irrigação (19%) e pela dessedentação animal (14%), o que indica que a maior parte das captações de pequeno porte está associada a atividades rurais.

Na Tabela 7 são apresentados os valores do  $I_{cg}$ , o número de segmentos enquadrados em cada uma das faixas, o seu valor percentual em relação ao número de segmentos da área de estudo que possuem vazões outorgadas a montante da foz. Conforme a análise dos valores, verifica-se que o estudo de caso nº 4 possui 77,48% de seus segmentos sem a presença de outorgas pelo uso da água. Tal fato ocorreu devido a existência de apenas 79 cadastros de uso insignificante e 3 outorgas estaduais, como apresentado na Figura 21.

**Tabela 7:** Classificação dos segmentos da área de estudo nº 3, situada na Bacia do Piranga, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos ( $I_{cg}$ )

| Faixa de valor          | Cor                                                                                 | Número de segmentos | % em relação à bacia |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| $I_{cg} = 0$            |    | 399                 | 77,48                |
| $0 < I_{cg} \leq 0,7$   |    | 106                 | 20,58                |
| $0,7 < I_{cg} \leq 0,9$ |    | 2                   | 0,39                 |
| $0,9 < I_{cg} \leq 1$   |    | 0                   | 0                    |
| $XI_{cg} \leq 1$        |   | 5                   | 0,97                 |
| $XI_{cg} > 1$           |  | 3                   | 0,58                 |
|                         |                                                                                     | Total: 515          |                      |

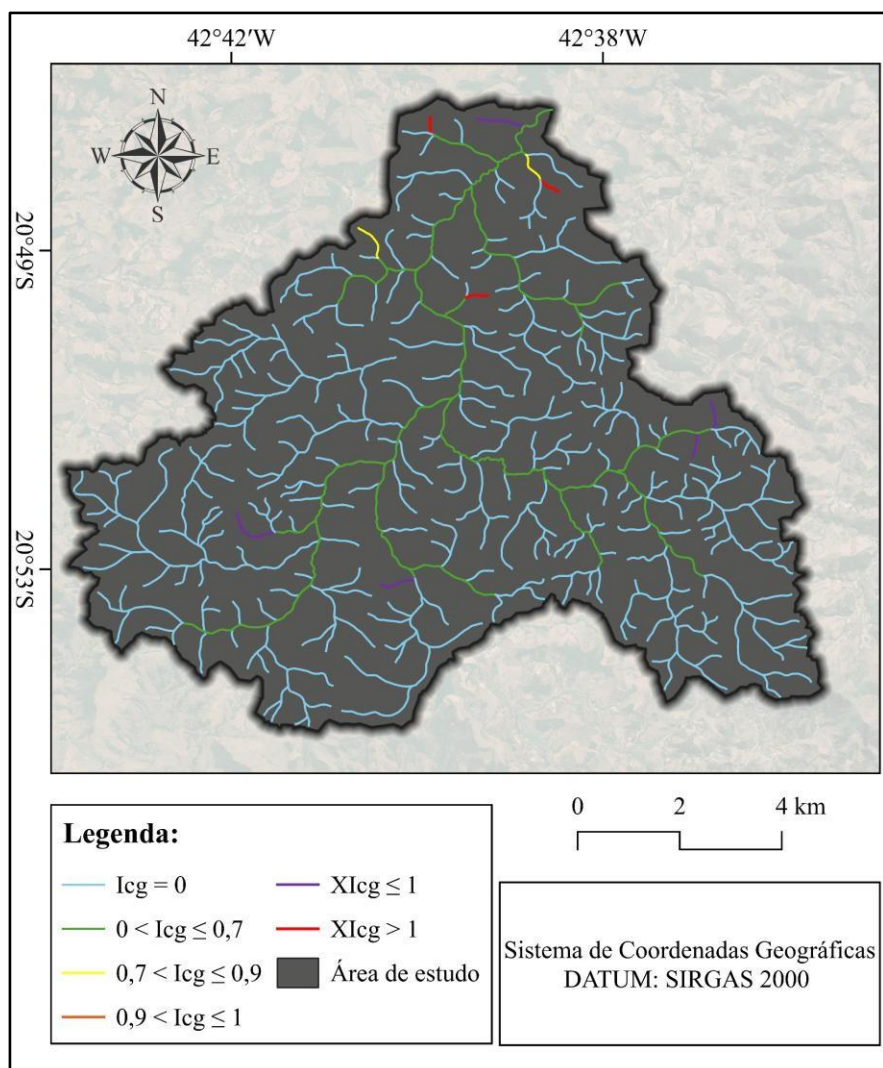
Fonte: Os autores, 2026.

As faixas de valores representadas pelas cores verde, amarelo e laranja correspondem à situação em que existem vazões passíveis de serem outorgadas. Verifica-se que 98,45% dos segmentos de curso d'água as vazões de cadastro de uso insignificante e outorgas emitidas se encontram dentro do limite legal previsto pela legislação, o qual na área corresponde a 50% da  $Q_{7,10}$ .

Mesmo que 98,45% dos segmentos da área estarem dentro do limite legal de concessão de outorga, observa-se que em 8 segmentos (1,55%) dos segmentos as vazões de outorga estadual e cadastro de uso insignificante superam à vazão máxima permissível. Além disso, três segmentos (0,58%) da bacia são verificados vazões superiores aos valores das vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ ). Vale ressaltar que na área de estudo nº 3 não se encontram cursos d'água de domínio da União.

Na Figura 22 apresenta-se o mapa com a espacialização dos valores de  $I_{cg}$  da área de estudo nº 3. De modo geral, observa-se uma situação estável em relação ao índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos, uma vez que, na maior parte da área estudada, os segmentos correspondem às colorações azul, verde, amarela ou laranja, indicando que as outorgas vigentes permanecem dentro dos limites permissíveis de concessão, conforme os

critérios estabelecidos por (Moreira et al., 2012). Por outro lado, verifica-se na Figura 22 que em algumas regiões, a existência de segmentos com vazões outorgadas superiores a 50% da  $Q_{7,10}$ , os quais são representados pela coloração roxa e vermelha.



**Figura 22:** Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos  $I_{cg}$  na área de estudo de caso 3 localizada na Bacia Piranga.

Fonte: Os autores, 2026.

Apesar da situação estável em que 98,45% dos segmentos da área de estudo se encontram dentro do limite legal, ainda assim, nota-se que em 8 segmentos (1,55%) se

encontram com outorgas superiores aos limites permissíveis pela legislação (50% da  $Q_{7,10}$ ). Tais observações evidenciam a importância de analisar o índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ( $I_{cp}$ ), com o objetivo de identificar alternativas para mitigar os conflitos observados. Entre as possíveis ações, destacam-se tanto medidas estruturais, como a construção de barragens de regularização, quanto medidas não estruturais, incluindo ajustes nas políticas públicas de gestão e uso da água.

Na Tabela 8 apresentam-se as faixas de valores para classificação do  $I_{cp}$ , o número de segmentos enquadrados em cada uma das faixas e seu valor percentual em relação ao número de segmentos da área de estudo número 3.

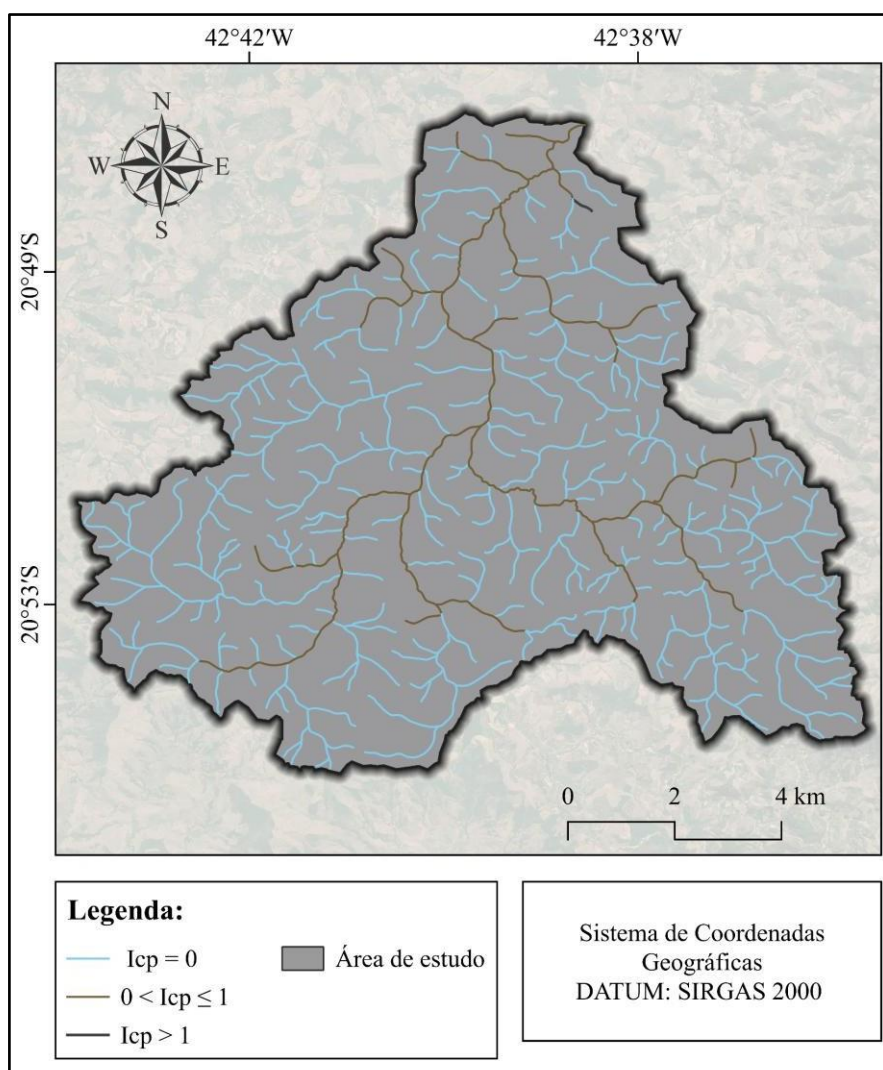
O cálculo do  $I_{cp}$  dos segmentos da área de estudo nº 3 (Tabela 8 e Figura 23), apresentou 399 segmentos da região de estudo (77,48%) sem outorgas, enquanto em 115 segmentos (22,33%) a vazão outorgada corresponde a um valor inferior à vazão média de longa duração  $0 < I_{cp} \leq 1$ .

**Tabela 8:** Classificação dos segmentos da área de estudo nº 3, situada na Bacia do Piranga, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos ( $I_{cp}$ ).

| Faixa de valor                           | Cor                                                                                 | Número de segmentos | % em relação à bacia |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| <b><math>I_{cp} = 0</math></b>           |  | 399                 | 77,48                |
| <b><math>0 &lt; I_{cp} \leq 1</math></b> |  | 115                 | 22,33                |
| <b><math>I_{cp} &gt; 1</math></b>        |  | 1                   | 0,19                 |
|                                          |                                                                                     | Total: 515          |                      |

Fonte: Os autores, 2026.

Em um único segmento da área de estudo observa-se valor de  $I_{cp} > 1$ , correspondendo à situação em que existindo o conflito pelo uso da água não se pode mais contorná-lo apenas com a adoção de medidas estruturais, uma vez que as vazões outorgadas são superiores que a vazão média de longa duração.



**Figura 23:** Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ( $I_{cp}$ ) na área de estudo de caso 3, localizada na DO5 - Caratinga

Fonte: Os autores, 2026.

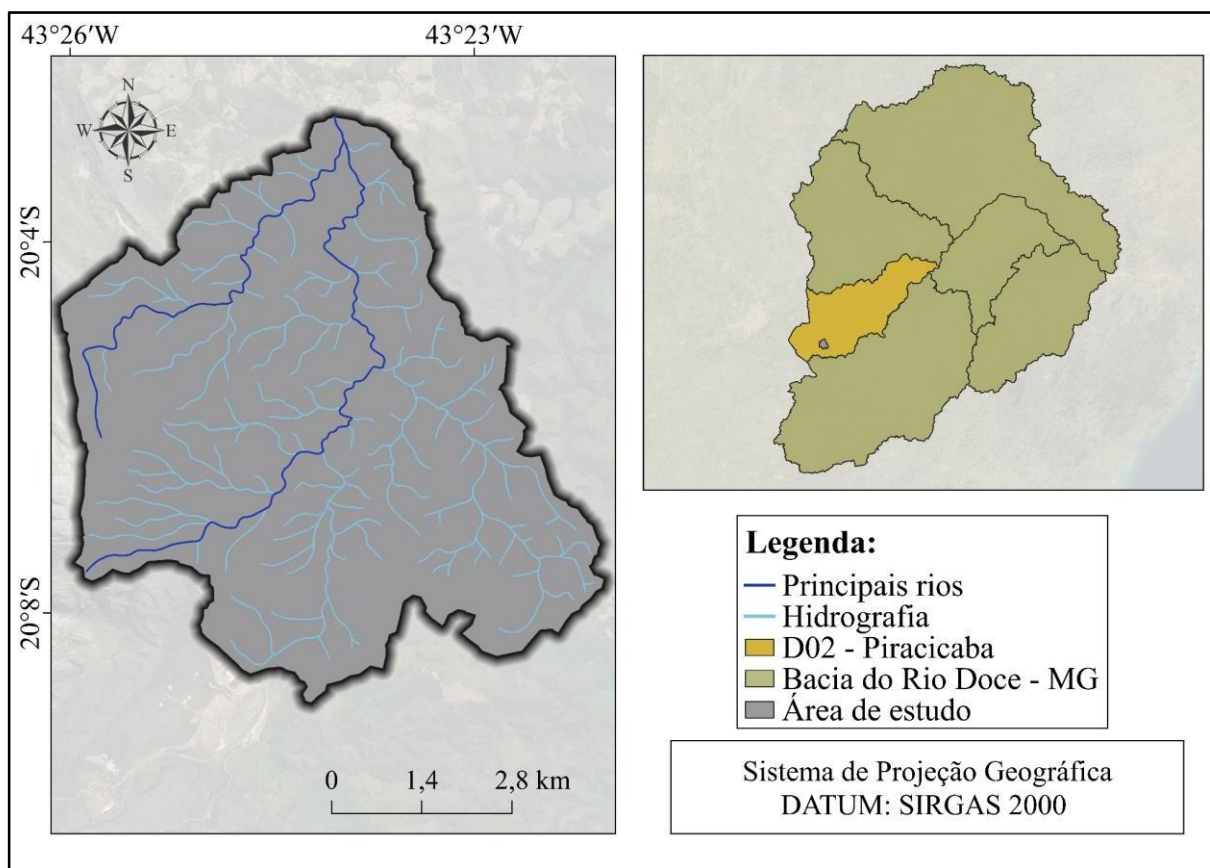
Na drenagem classificada com  $I_{cp} > 1$ , foi identificada a presença de quatro cadastro de uso insignificante registrados em nome de um único proprietário, com finalidade para irrigação, evidenciando uma possível situação de conflito pelo uso da água, em que a demanda hídrica supera a disponibilidade local. Embora esses usos sejam considerados de baixo impacto individual, a concentração espacial das captações pode intensificar a pressão sobre o recurso hídrico, especialmente em trechos com maior restrição de oferta. Esse resultado reforça a necessidade de uma avaliação integrada dos usos outorgados e insignificantes, visto que a soma

de pequenas demandas pode resultar em efeitos cumulativos significativos na dinâmica de disponibilidade hídrica da bacia.

#### **5.3.4. Estudo de caso 4**

O estudo de caso 4 está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (Figura 24), que possui aproximadamente 5.465 km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 1% do território mineiro. O Rio Piracicaba possui extensão aproximada de 241 km, com nascente situada no município de Ouro Preto, seguindo seu curso até a confluência com o Rio Doce, na divisa entre Ipatinga e Timóteo.

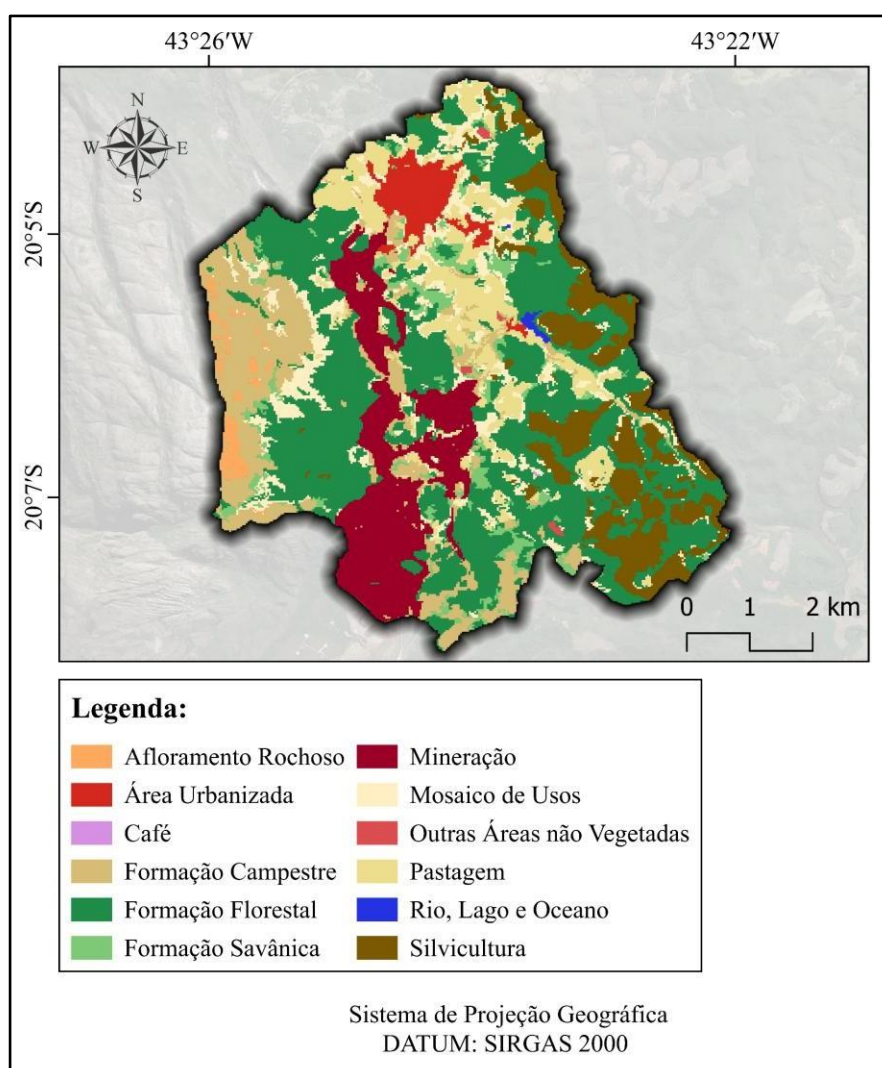
Os rios Maquiné e Ribeirão dos Coqueiros constituem os principais cursos d'água presentes na área de estudo. De forma mais ampla, a rede de drenagem da Bacia do Rio Piracicaba é composta por diversos tributários de maior expressão, entre os quais se destacam os rios Turvo, Conceição, Una, Machado, Santa Bárbara, Peixe e Prata. Além desses afluentes principais, o Rio Piracicaba recebe ainda a contribuição de inúmeros córregos e ribeirões distribuídos ao longo de seu curso, os quais desempenham papel fundamental na configuração física e no funcionamento hidrológico da bacia (CBH-Piracicaba, 2013).



**Figura 24:** Localização da área de estudo número 4, situada na DO2 - Piracicaba.

Fonte: Os autores, 2026.

A Figura 25 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo nº 4, elaborado a partir da Classificação 10 do MapBiomas Brasil (ano-base 2024). A análise do uso e ocupação do solo evidenciou que a Formação Florestal (17,764 Km<sup>2</sup>) é a classe predominante na área de estudo, abrangendo 36,61% da superfície total. Em seguida, destacam-se a Formação Campestre (12,62%) e a Mineração (11,98%), indicando uma paisagem majoritariamente composta por vegetação nativa e áreas destinadas a atividades minerárias.

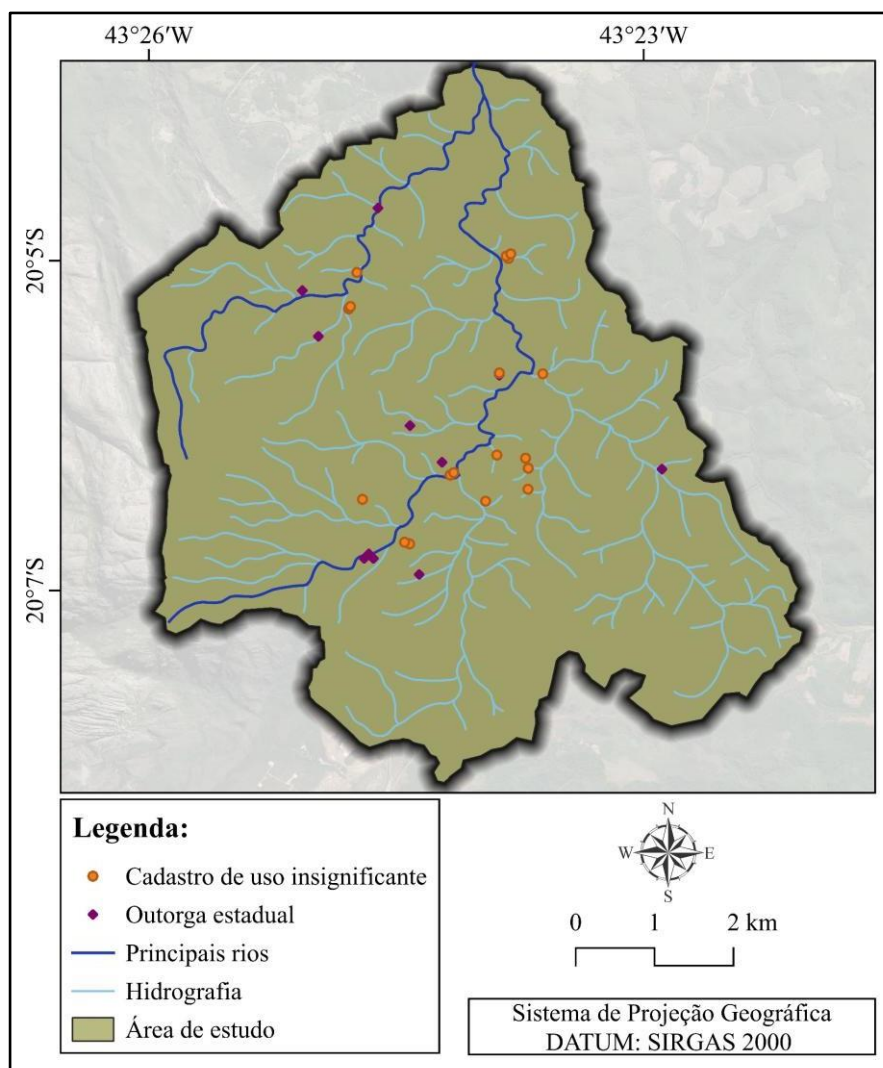


**Figura 25:** Distribuição espacial do Uso e Cobertura do Solo da área de estudo de caso nº 4, situada na Bacia DO2 - Piracicaba

Fonte: Os autores, 2026.

Conforme ilustrado na Figura 25, observa-se a presença mais próxima da área urbanizada, que corresponde a 3,03% da área total (48,522 km<sup>2</sup>), em relação às áreas destinadas à mineração, que abrangem 11,98% do território, equivalentes a 5,812 km<sup>2</sup>. Embora a urbanização ocupe uma parcela menor do território, tanto o avanço urbano quanto a expansão da atividade minerária tendem a intensificar a demanda por recursos hídricos, sobretudo em regiões onde a disponibilidade é limitada. Esse aumento na pressão sobre os corpos d'água pode resultar em alterações na relação demanda x disponibilidade, potencializando a ocorrência de conflitos pelo uso da água, especialmente em períodos de estiagem ou em trechos já caracterizados como críticos.

Na Figura 26 apresenta-se a área de estudo número 4, com suas respectivas outorgas estaduais e cadastros de uso insignificante vigentes em 2025. No total, foram identificadas 11 outorgas estaduais, das quais 4 destinadas ao abastecimento público, 1 à irrigação, 1 à indústria e 5 classificadas como outros usos. Por outro lado, observou-se 25 cadastros de uso insignificante, sendo 4 voltados à aquicultura, 4 à indústria, 3 ao consumo humano, 3 à dessedentação de animais e 11 relacionados a outros usos. Ressalta-se que não há registros de outorgas de domínio federal da área de estudo.



**Figura 26:** Outorgas estaduais e cadastro de uso insignificante vigentes na área de estudo número 4

Fonte: Os autores, 2026.

A aquicultura e à indústria se constituem como as principais categorias de uso insignificante na região, ambas representam 16% do total dos cadastros. O consumo humano e a dessedentação animal aparecem como o segundo principal uso, correspondendo a 12% dos cadastros, indicando a relevância desses usos no contexto rural da bacia. A categoria “Outros”, que compreende atividades como, lazer e serviços, entre outros, responde por 44% do total, revelando a diversidade de formas de aproveitamento dos recursos hídricos locais.

Em relação a distribuição das outorgas estaduais de direito de uso dos recursos hídricos na área de estudo, a categoria abastecimento público representa a principal demanda outorgada, correspondendo a 36% do total, o que demonstra a relevância dos recursos hídricos para o suprimento da população. Em contraste, as categorias indústria e irrigação, cada um com 9%,

apresentam menor representatividade no conjunto das outorgas. Por outro lado, a maior parte das outorgas emitidas corresponde à categoria “Outros” (46%), indicando grande diversidade de usos pontuais e específicos na área de estudo.

Na Tabela 9 são apresentados os valores do  $I_{cg}$ , o número de segmentos enquadrados em cada uma das faixas, o seu valor percentual em relação ao número de segmentos da área de estudo que possuem vazões outorgadas a montante da foz ( $m^3/s$ ). Constata-se, pela análise dos valores observados na Tabela 9, que a área de estudo nº 4 apresenta 77,45% de seus segmentos sem outorgas pelo uso da água. As faixas de valores representadas pelas cores, verde, amarelo e laranja indicam vazões ainda permissíveis de serem outorgadas. Observa-se que em 92,76 % dos segmentos de cursos d’água da bacia as outorgas emitidas enquadram-se dentro dos limites legais previstos pela legislação.

**Tabela 9:** Classificação dos segmentos da área de estudo nº 4, situada na Bacia do Piracicaba, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos ( $I_{cg}$ )

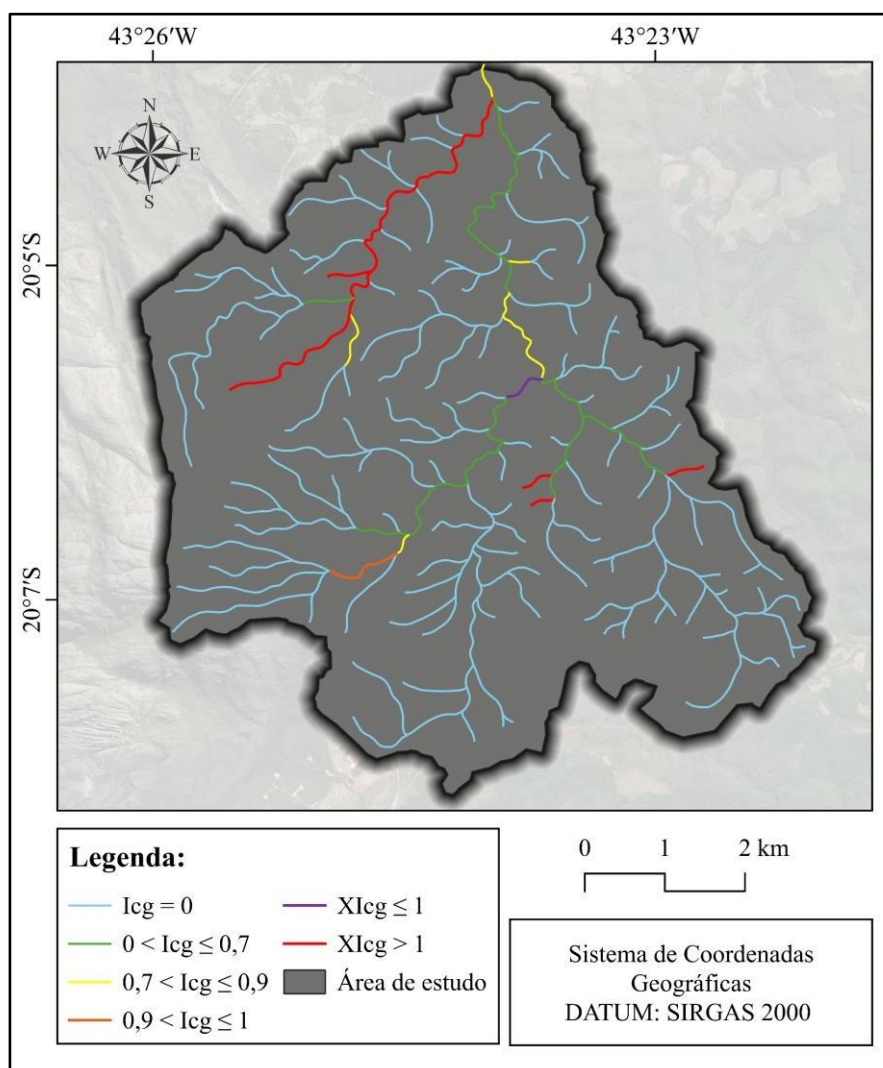
| Faixa de valor          | Cor                                                                                 | Número de segmentos | % em relação à bacia |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| $I_{cg} = 0$            |  | 182                 | 77,45                |
| $0 < I_{cg} \leq 0,7$   |  | 29                  | 12,34                |
| $0,7 < I_{cg} \leq 0,9$ |  | 6                   | 2,55                 |
| $0,9 < I_{cg} \leq 1$   |  | 1                   | 0,42                 |
| $XI_{cg} \leq 1$        |  | 1                   | 0,42                 |
| $XI_{cg} > 1$           |  | 16                  | 6,81                 |
|                         |                                                                                     | <b>Total: 235</b>   |                      |

Fonte: Os autores, 2026.

Observa-se também que em 1 segmento (0,42%) a vazão outorgada e o cadastro de uso insignificante representam mais de 50 % da  $Q_{7,10}$  e inferior ou igual a vazão mínima de referência, acima do limite legal. Por outro lado, 16 segmentos da bacia (6,81%) são verificados vazões superiores aos valores da vazão mínima de referência ( $Q_{7,10}$ ). Vale ressaltar que na área de estudo nº 4 não se encontram cursos d’água de domínio da União.

A Figura 27 apresenta a área de estudo número 4, situada na bacia hidrográfica DO2 - Piracicaba, com a espacialização do Índice de Conflito pelo Uso da Água ( $I_{cg}$ ). Verifica-se que, em determinadas regiões, ocorrem segmentos com vazões outorgadas e cadastro de usos

insignificantes superiores a 50% da  $Q_{7,10}$ , representados pela coloração roxa e vermelha. Essa condição indica áreas com maior comprometimento da disponibilidade hídrica em função da intensidade das outorgas e vazões de uso dos recursos hídricos concedidas.



**Figura 27:** Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $I_{cg}$ ) na área de estudo de caso 4, localizada na DO2 - Piracicaba.

Fonte: Os autores, 2026.

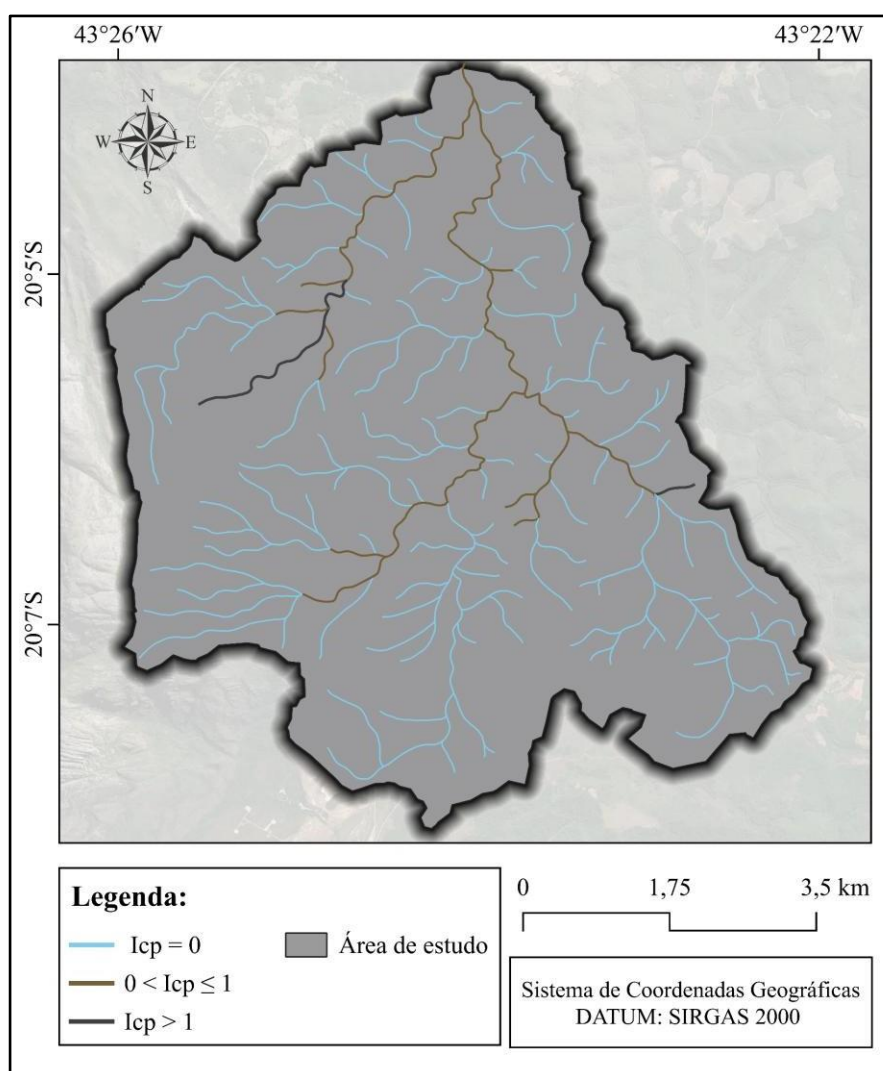
O cálculo do  $I_{cp}$  dos segmentos da área de estudo nº 4 (Tabela 10 e Figura 28), apresentou 182 segmentos da região de estudo (77,45 %) sem outorgas, enquanto em 48 segmentos (20,42 %) a vazão outorgada corresponde a um valor inferior à vazão média de longa duração  $0 < I_{cp} \leq 1$ .

**Tabela 10:** Classificação dos segmentos da área de estudo nº 4, situada na Bacia do Piracicaba, de acordo com o Índice de Conflito pelo Uso da Água no Planejamento dos Recursos Hídricos ( $I_{cp}$ )

| Faixa de valor      | Cor | Número de segmentos | % em relação à bacia |
|---------------------|-----|---------------------|----------------------|
| $I_{cp} = 0$        |     | 182                 | 77,45                |
| $0 < I_{cp} \leq 1$ |     | 48                  | 20,42                |
| $I_{cp} > 1$        |     | 5                   | 2,13                 |
|                     |     | <b>Total: 235</b>   |                      |

Fonte: Os autores, 2026.

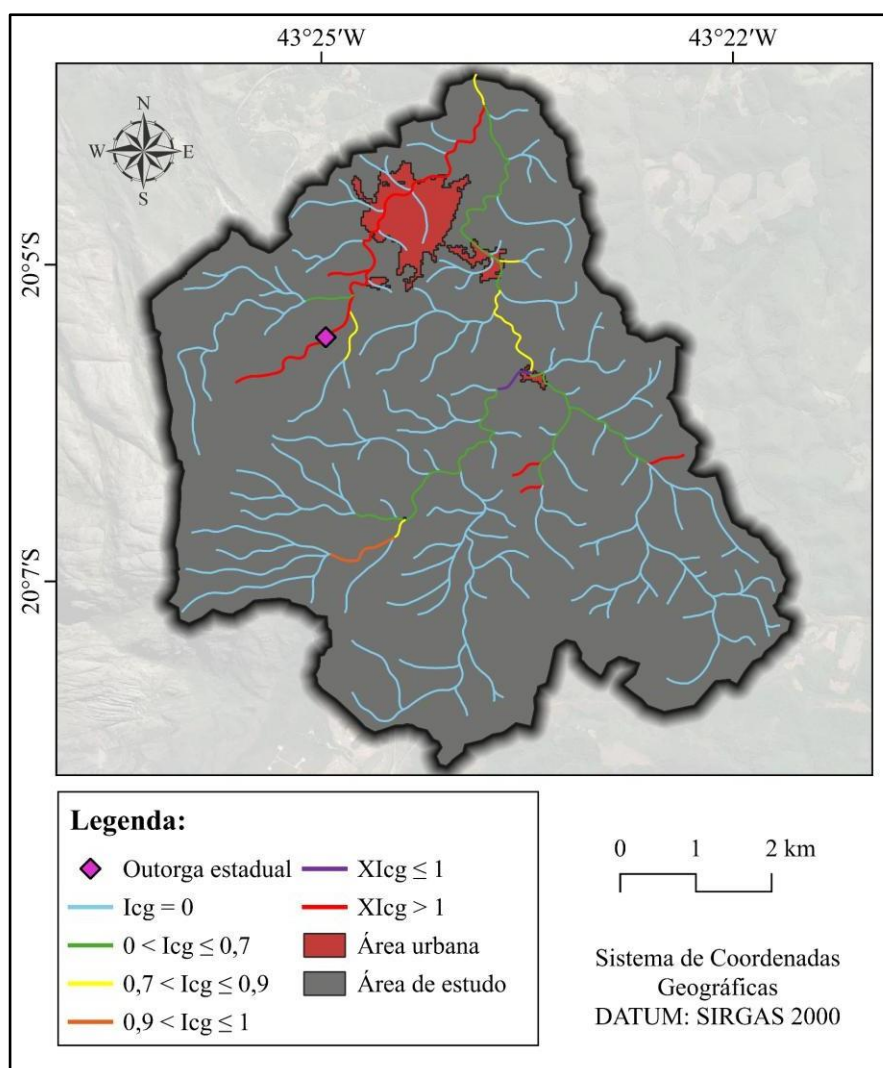
Em cinco segmentos da bacia (2,13 %) observa-se valores de  $I_{cp} > 1$ , correspondendo à situação em que existindo o conflito pelo uso da água não se pode mais contorná-lo apenas com a adoção de medidas estruturais, uma vez que as vazões outorgadas são superiores que a vazão média de longa duração. Conseguiu-se identificar dois afluentes do Rio Maquiné sem denominação, dois trechos de drenagem interligados do Rio Maquiné e um afluente do córrego Chico Carro denominado Córrego Saul com valores de  $I_{cp} > 1$ .



**Figura 28:** Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (Icp) na área de estudo de caso 4, localizada na DO2 - Piracicaba

Fonte: Os autores, 2026.

A Figura 29 representa a única outorga estadual situada no afluente do Rio Maquiné com uso consuntivo ao qual se localiza em proximidade com a área urbana, o requerente desta outorga é a Prefeitura Municipal de Catas Altas, observa-se que a outorga estadual possui a finalidade para abastecimento público com uma vazão de 0,65 m³/s. Verificou-se que a outorga estadual é responsável pela ocorrência de segmentos com vazões outorgadas superiores a 50 % da  $Q_{7,10}$ . Além disso, o valor da  $Q_{7,10}$  no afluente ao qual a outorga está inserida é 0,00486 m³/s, por outro lado, a vazão concedida pelo IGAM é de 0,65 m³/s, o que supera os valores permitidos pela legislação vigente, os trechos de drenagens que estão em não conformidade com as legislações estão representados pela coloração vermelha, sendo o Rio Maquiné e em dois de seus afluentes.



**Figura 29:** Outorga estadual situada no afluente do Rio Maquiné, em proximidade com a área urbana, com a espacialização do índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (Icg)

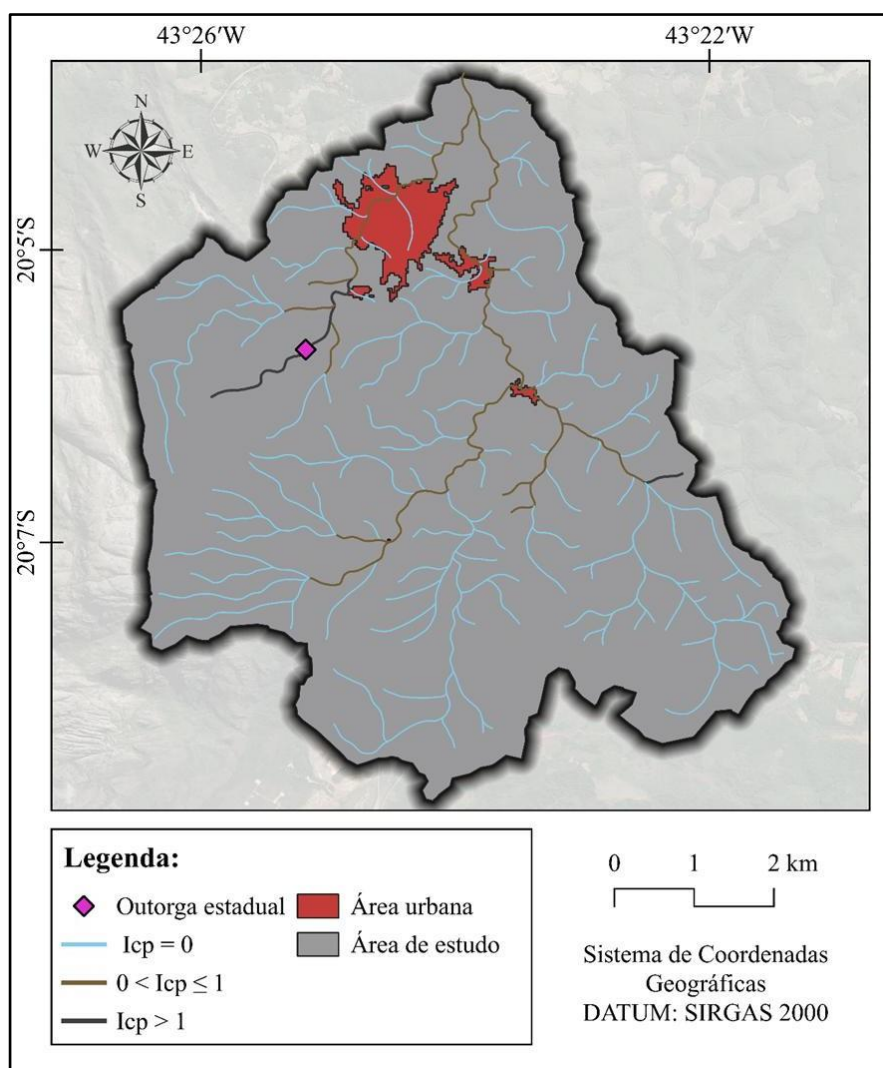
Fonte: Os autores, 2026.

A outorga estadual em não conformidade com a legislação possui a finalidade de abastecimento público de água para a cidade de Catas Altas – MG. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município apresenta uma área territorial de 240,042 km<sup>2</sup>, sua população no último censo (2022) era de 5.473 habitantes. Embora o município apresente baixa densidade populacional, o crescimento demográfico tende a

intensificar a pressão sobre os recursos hídricos locais, os quais já se encontram comprometidos.

Apesar da crítica situação de dois afluentes do Rio Maquiné e o próprio Rio Maquiné, evidenciada pela cor vermelha na figura, ainda não sabemos se é possível a mitigação dos possíveis conflitos a partir de medidas estruturais e não estruturais. Tais constatações levam à necessidade de análise do índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ( $I_{cp}$ ).

A Figura 30 representa a outorga estadual em proximidade com a área urbana com a espacialização do  $I_{cp}$ , na qual verificou-se drenagens com  $I_{cp} > 1$ , representados pela coloração cinza. Por sua vez, a coloração cinza indica uma situação na qual o conflito não pode ser contornado apenas com ações de planejamento, uma vez que as vazões outorgadas já superaram a vazão média de longa duração.



**Figura 30:** Outorga estadual situada no afluente do Rio Maquiné, em proximidade com a área urbana, com a espacialização do índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (Icp).

Fonte: Os autores, 2026.

Considerando que o instrumento de outorga concede, por um período preestabelecido, o direito de uso de determinada quantidade de água, conforme estabelecido no ato de concessão, e tendo em vista que o abastecimento público constitui um uso ininterrupto, torna-se necessário reforçar o controle no processo de emissão de novas outorgas no Rio Maquiné e em seus afluentes. Além disso, recomenda-se a realização de uma análise complementar sobre possíveis

fontes alternativas de captação para o abastecimento público do município de Catas Altas – MG.

#### 5.4. Apresentação do Plugin (Índice Icg e Icp)

Na Figura 31 apresenta a página de informações do complemento no Gerenciador de Plugins do QGIS, onde são disponibilizados o nome, a descrição funcional, os autores e a versão do software.

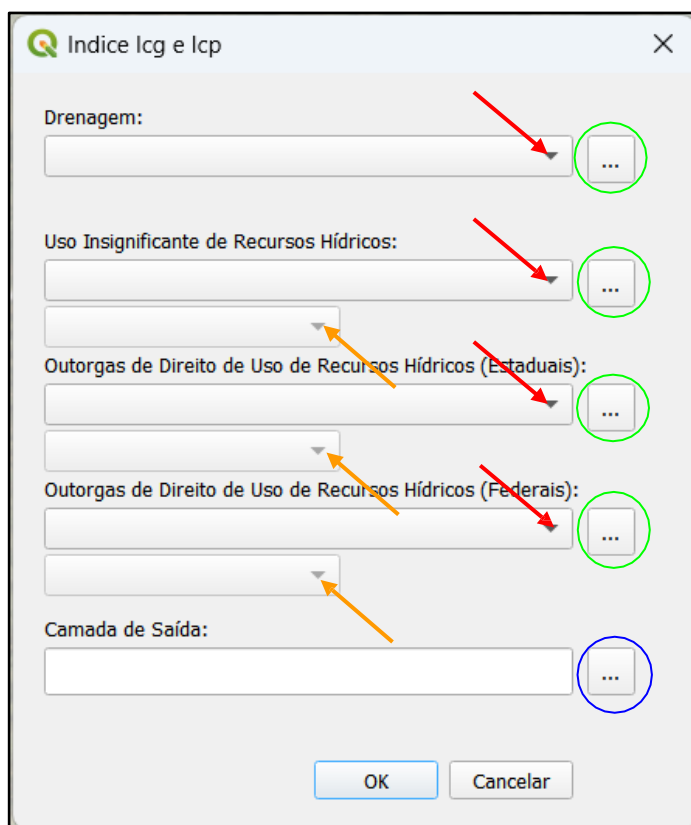


**Figura 31:** Descrição do plugin Índice Icg e Icp.

**Fonte:** Os autores, 2026.

A Figura 32 apresenta a interface principal do plugin, destacando, por meio das setas e círculos coloridos, os componentes responsáveis pela inserção das bases de dados necessárias ao cálculo dos índices. As setas vermelhas indicam os campos destinados à seleção das camadas vetoriais de entrada, correspondentes à rede de drenagem, aos registros de uso insignificante de recursos hídricos e às outorgas estaduais e federais. Ao lado de cada um desses campos, os botões representados pelos círculos verdes (“...”) permitem a navegação nos diretórios do sistema para a escolha dos arquivos geoespaciais em formato compatível, como shapefiles, garantindo a correta vinculação das bases ao processamento.

Para as camadas relacionadas às outorgas, as setas laranjas evidenciam os menus suspensos que possibilitam selecionar, na tabela de atributos, o campo correspondente às vazões concedidas. Por fim, o círculo azul destaca o campo destinado à definição da camada de saída, na qual será armazenado o resultado final do processamento, contendo os valores calculados dos índices ICG e ICP, para posterior análise e representação no QGIS.



**Figura 32:** Interface principal do plugin Índice Icg e Icp.

**Fonte:** Os autores, 2026.

Após o preenchimento dos campos obrigatórios, o usuário pode executar o programa, iniciando automaticamente o cálculo dos índices. Como resultado, o plugin gera uma camada vetorial com os valores calculados para cada segmento de drenagem, possibilitando análises posteriores, classificação temática e interpretação conforme a metodologia adotada. Ressalta-se que as outorgas passaram por um pré-processamento, com a padronização do tipo de captação como superficial e a uniformização das unidades de medida de vazão, etapa indispensável para o correto funcionamento do plugin.

Quanto à confiabilidade dos resultados, realizou-se a validação da ferramenta por meio da comparação entre os valores obtidos pelo plugin e aqueles gerados por um programa desenvolvido em Python, aplicado às mesmas duas áreas de estudo. As áreas comparadas corresponderam às unidades DO4 – Suaçuí e DO5 – Caratinga. A análise demonstrou equivalência entre os resultados obtidos nas duas abordagens, evidenciando a consistência dos cálculos e a validade dos dados produzidos pelo plugin.

## 6. Conclusão

Aplicação dos índices pelo uso da água na gestão ( $I_{cg}$ ) e no planejamento ( $I_{cp}$ ) demonstrou ser uma ferramenta eficaz para o diagnóstico do comprimento da disponibilidade hídrica na bacia do Rio Doce na porção situada em Minas Gerais. A adoção de segmentos de rios como unidade de estudo provou ser essencial para identificar diferenças regionais que índices globais não permitem observar. O mapeamento por trechos ajuda que órgãos gestores identifiquem locais críticos onde a vazão outorgada supera os limites legais, fornecendo subsídios diretos para a tomada de decisão local e a mitigação de conflitos.

Além de seu papel diagnóstico, o  $I_{cg}$  pode ser utilizado como instrumento de alerta prévio no processo de concessão de novas outorgas. Valores elevados do índice sinalizam situações de comprometimento da vazão de referência, orientando a adoção de critérios mais restritivos, a necessidade de estudos complementares ou mesmo a suspensão temporária de novas autorizações em determinados trechos. Dessa forma, o  $I_{cg}$  fortalece a atuação preventiva da gestão, contribuindo para evitar o agravamento de conflitos hídricos.

A vulnerabilidade nas áreas identificadas não é apenas quantitativa, mas influenciada pelo uso e ocupação do solo e pela densidade populacional, que pode aumentar a pressão sobre o recurso hídrico. É importante aumentar o cadastro de usuários para identificar usos de água que não estão documentados oficialmente, pois esses usos podem estar causando um impacto maior nos recursos hídricos do que o que sabemos até agora. Pois os resultados demonstraram que em algumas áreas onde não só há uma grande concentração de cadastro de usos insignificantes, mas também poucos registros, são áreas críticas onde precisa de maior observação.

O desenvolvimento e apresentação do plugin para o QGIS atende a uma demanda por ferramentas automatizadas que facilitem a quantificação da disponibilidade hídrica. A integração dessas análises em ambiente SIG garante a reprodutibilidade dos resultados e elimina a subjetividade de processos manuais, permitindo uma análise rápida e eficiente de bacias extensas como a do rio Doce. Essa ferramenta possibilita a atualização periódica dos índices, o que pode auxiliar o Poder Público na implementação de programas de monitoramento contínuos e transparentes.

A adoção de vazões mínimas de referência, como a Q7,10 ou a Q95, constitui prática consolidada na gestão de recursos hídricos, porém apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Essas métricas são baseadas em séries históricas e representam condições estatísticas específicas de estiagem, não refletindo necessariamente a variabilidade hidrológica intra e interanual, especialmente em cenários de mudanças climáticas. Além disso, a utilização de um único percentual fixo da vazão de referência (como 50%) pode não captar as particularidades ecológicas, sociais e econômicas de cada trecho fluvial, desconsiderando demandas sazonais, necessidades ambientais de manutenção de ecossistemas aquáticos e usos múltiplos conflitantes. Outra limitação reside na dependência da qualidade e da extensão das séries hidrométricas disponíveis, que, quando curtas ou com falhas, podem gerar estimativas pouco representativas. Assim, embora as vazões mínimas de referência sejam instrumentos fundamentais para a regulação, sua aplicação deve ser acompanhada de análises complementares, avaliação local e revisão periódica, a fim de assegurar maior aderência à realidade hidrológica e às dinâmicas de uso da água.

Como encaminhamento conclusivo, sugere-se que o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) promova o aprimoramento da base de dados referente às outorgas federais, especialmente no que se refere à padronização e à completude das informações disponibilizadas nos metadados. Observou-se a ausência de especificações fundamentais, como as unidades de medida das vazões outorgadas e a identificação do tipo de captação (superficial ou subterrânea), o que pode comprometer a correta interpretação e integração dos dados em estudos técnicos. Recomenda-se, ainda, a realização de auditorias periódicas para verificação e atualização da base de dados, com atenção à situação de vigência das outorgas e à identificação de possíveis duplicidades emitidas para o mesmo local de captação. Essas medidas contribuirão para maior confiabilidade, transparência e eficiência na gestão dos recursos hídricos.

## 7. Considerações futuras

O presente trabalho apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiramente, não foi incorporado o Índice de Qualidade da Água (IQA), restringindo a análise aos aspectos quantitativos e não contemplando de forma integrada a dimensão qualitativa dos recursos hídricos. Além disso, reconhece-se que parte dos usuários pode não realizar a solicitação de outorga ou o cadastro de uso insignificante, o que pode levar à subestimação das vazões efetivamente captadas. Também foram identificadas possíveis inconsistências na base de dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), como duplicidade de registros e presença de outorgas com prazo de validade expirado que ainda assim foram consideradas no cálculo dos índices  $I_{cg}$  e  $I_{cp}$ . Tais fatores evidenciam a necessidade de verificação e atualização contínua da base de dados do órgão gestor, a fim de aprimorar a confiabilidade das análises e dos resultados obtidos.

Como perspectivas para versões futuras do plugin, propõe-se a incorporação de novas funcionalidades que ampliem sua robustez analítica e aplicabilidade espacial. Entre as melhorias previstas, destaca-se a inclusão de pré-processamento automatizado no próprio plugin, contemplando a padronização das outorgas quanto ao tipo de captação e às unidades de vazão. Pretende-se também adicionar a opção de escolha da vazão mínima de referência diretamente na interface, bem como permitir a alteração do limiar  $X$  (por exemplo, 50% ou 30%), conferindo maior flexibilidade às análises.

Outra implementação relevante consiste na possibilidade de utilização de vazões mensais, de modo a captar variabilidades sazonais nos índices calculados. Além disso, projeta-se a integração do Índice de Qualidade da Água (IQA) às rotinas do plugin, ampliando a avaliação quali-quantitativa dos recursos hídricos. Por fim, prevê-se a expansão da área de aplicação para contemplar toda a bacia do Rio Doce, incluindo sua porção no estado do Espírito Santo, e não apenas o trecho situado em Minas Gerais, tornando a ferramenta mais abrangente e alinhada à gestão integrada em escala de bacia hidrográfica.

## 8. Referências bibliográficas

- ALMEIDA, W. A.; MOREIRA, M. C. Índice de conflito pelo uso da água na Bacia do Rio Grande. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013. Disponível em: <[https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013\\_PAP013233.pdf](https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013_PAP013233.pdf)>. Acesso em: 06/05/2024.
- ALMEIDA, W. A.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da. Applying water vulnerability indexes for river segments. **Water Resources Management**, v. 28, p. 4289-4301, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0745-5>
- ANA, Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual - Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 11/05/2024.
- ANA, Evolução da Organização e Implementação da Gestão de Bacias no Brasil - Conferência Internacional de Órgãos de Bacia (CIOE), Madri, novembro de 2002. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/arquivos/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2002/EvolucaoOrganizacaoEImplementacaoDaGestaoDeBacias.pdf>>. Acesso em: 27/05/2024
- ARAGÃO, Helder Guimarães et al. Democratização, acesso e gestão das águas pelo horizonte das geotecnologias com software livre. **Revista Presença Geográfica**, v. 9, n. 2, p. 257-268, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unir.br/index.php/RPGeo/article/view/7750>. Acesso em: 27 fev, 2026.
- ARAÚJO, Vanessa Marzano. Programas, projetos, ações públicas e gestão das águas no SemiÁrido: uma avaliação em Januária, MG, 2007. Universidade Federal de Lavras. Lavras: UFLA, 2007. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2615/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Programas%20e%20projetos%20e%20a%C3%A7%C3%B5es%20p%C3%BAblicas%20e%20gest%C3%A3o%20das%C3%A1guas%20no%20Semi-%C3%81rido.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2615/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Programas%20e%20projetos%20e%20a%C3%A7%C3%B5es%20p%C3%BAblicas%20e%20gest%C3%A3o%20das%C3%A1guas%20no%20Semi-%C3%81rido.pdf)>. Acesso em: 13/05/2024.
- BENEVENUTE, Pedro AN et al. Penetration resistance: An effective indicator for monitoring soil compaction in pastures. **Ecological Indicators**, v. 117, p. 106647, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106647>

BITAR, Omar Yazbek; IYOMASA, Wilson Shoji; CABRAL JR, Marsis. Geotecnologia: tendências e desafios. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, n. 3, p. 78-90, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-88392000000300013>.

Brasil. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referências para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2000. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9984.htm#:~:text=LEI%20No%209.984%2C%20DE%2017%20DE%20JULHO%20DE%202000.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20cria%C3%A7%C3%A3o%20da,H%C3%ADricos%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.>](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm#:~:text=LEI%20No%209.984%2C%20DE%2017%20DE%20JULHO%20DE%202000.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20cria%C3%A7%C3%A3o%20da,H%C3%ADricos%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.>). Acesso em: 03/06/2024.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Institui o Marco Legal do Saneamento Básico, altera as Leis nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e nº 11.967, de 16 de junho de 2009, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Poder Executivo, Brasília, DF, 15 jul. 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm). Acesso em: 23 fev. 2026.

BRASIL. Lei nº 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm)>. Acesso em 15 de maio, 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Mata Atlântica em desenvolvimento. Disponível em: [https://antigo.mma.gov.br/biomas/mata-atl%C3%A2ntica\\_emdesenvolvimento.html](https://antigo.mma.gov.br/biomas/mata-atl%C3%A2ntica_emdesenvolvimento.html). Acesso em: 04 de setembro, 2024.

- CANTADOR, Debora Cristina; MATIAS, Lindon Fonseca. Aplicabilidade de geotecnologias para subsidiar a gestão dos recursos hídricos em Americana (SP). **Sociedade & Natureza**, v. 29, p. 155-171, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-451320170411>.
- CBH DOCE, Atualização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce; PP07, 2023. Disponível em: <<https://www.cbhdoce.org.br/pirh-parh-pap/pirh>>. Acesso em: 12/09/2024.
- CBH-DOCE (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2016). A bacia hidrográfica do Rio Doce. Disponível em: <<https://www.cbhdoce.org.br/institucional/a-bacia>>. Acesso em: 17 de maio, 2024.
- CBHSF. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Disponível em:<<https://cbhsaofrancisco.org.br/abacia/#:~:text=A%20bacia%20hidrogr%C3%A1fica%20do%20rio,de%20Alagoas%20e%20de%20Sergipe.>>>. Acesso em: 14 de maio, 2024.
- Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH-Doce). **PARH Caratinga**. Governador Valadares: CBH Doce, 2015. Disponível em: [https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2015/01/PARH\\_Caratinga.pdf](https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2015/01/PARH_Caratinga.pdf). Acesso em: 23 fev. 2026.
- Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG. Rio Piracicaba. Disponível em: <https://cbhpiracicabamg.org.br/rio-piracicabamg>. Acesso em: 19 nov. 2025.
- Comitê da Bacia Hidrográfica do RIO PIRANGA (CBH-Piranga). Relatório de Implementação do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piranga – PDRH Piranga: 2023–2024. Governador Valadares: AGEVAP/AGEDOCE, 2024. Disponível em: <https://www.cbhpiranga.org.br/>. Acesso em: 23 out. 2025.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SUAÇUI (CBH-Suaçui). A bacia. Disponível em: <https://cbhsuacui.org.br/a-bacia>. Acesso em: 12 dez. 2025.
- Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2015: encarte especial sobre a Bacia do Rio Doce – rompimento da barragem em Mariana/MG. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: [https://biblioteca.ana.gov.br/sophia\\_web/Acervo/Detalhe/65829](https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalhe/65829) Acesso em: 23 fev. 2026
- Consórcio ECOPLAN-LUME. (2010). Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão

de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce. p. 478. Disponível em: <[https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/PIRH\\_Doce\\_Volume\\_II2.pdf](https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/PIRH_Doce_Volume_II2.pdf)>. Acesso em 12 de setembro, 2024.

Cupolillo, F. (2008). Diagnóstico hidroclimatológico da bacia do rio Doce. Tese de Doutorado em Geografia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-7F8NTB>>. Acesso em 12 de setembro, 2024.

DAMKJAER, Simon; TAYLOR, Richard. The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, v. 46, n. 5, p. 513-531, 2017. DOI: 10.1007/s13280-017-0912-z

FAO. **Small-scale irrigation for arid zone**: principles and options, 1997. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/W3094E/W3094E00.htm>>. Acesso em: 28/10/2025

GOVERNO DO BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/institucional>. Acesso em: 20/06/2024.

HIRKO, Deme Betele; DU PLESSIS, Jakobus Andries; BOSMAN, Adele. Review of machine learning and WEAP models for water allocation under climate change. *Earth Science Informatics*, v. 18, n. 3, p. 310, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12145-025-01820-1>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Catas Altas (MG) | Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/catas-altas.html>. Acesso em: 02 dez. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística, 2024. Rio Amazonas. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/bibliotecacatalogo.html?id=440452&view=detalhes>>. Acesso em: 14 de maio, 2024.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Bacia do Prata. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=1477](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=1477)>. Acesso em: 14 de maio,

2024. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Panorama das águas de Minas Gerais 2023. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2023. Disponível em: <<http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/jspui/handle/123456789/4560>>. Acesso em: 05 de maio, 2024.

LISBOA, L.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C.; SILVA, A. J.; ULIANA, E. M. Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos (icg) para a Bacia do Rio Piracicaba - MG. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017. Disponível em: <<https://anais.abrhydro.org.br/job.php?Job=2418>>. Acesso em: 03/05/2024

LIU, Junguo et al. Water scarcity assessments in the past, present, and future. **Earth's future**, v. 5, n. 6, p. 545-559, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016EF000518>

MACHADO, Carlos José Saldanha. Recursos Hídricos e Cidadania no Brasil. In: AMBIENTE & SOCIEDADE. Vol. VI, n.º 2, jul./dez. 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/asoc/a/TGsCpQ3L7Zd4FLzSM6WtXHk/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 27/05/2024.

MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Portaria IGAM nº 32, de 6 de setembro de 2022. Estabelece critérios e procedimentos para a outorga do direito de uso de recursos hídricos no estado de Minas Gerais. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 7 set. 2022. Disponível em: <<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56404>>. Acesso em: 03/06/2024.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; LARA, M. S. Índices para Identificação de Conflitos pelo Uso da Água: Proposição Metodológica e Estudo de Caso. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 3, p. 7-15, jan. 2012. Disponível em: <[10.21168/rbrh.v17n3.p7-15](https://doi.org/10.21168/rbrh.v17n3.p7-15)>. Acesso em: 06/05/2024.

MOREIRA, Michel Castro et al. Índices de conflito pelo uso da água da bacia do ribeirão entre Ribeiros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 221-228, 2014. Disponível em: <[10.21168/rbrh.v19n1.p221-228](https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n1.p221-228)>. Acesso em: 04/05/2024.

MOREIRA, Michel Castro. Gestão e planejamento dos recursos hídricos: regionalização de vazões e proposição de índices para identificação de conflitos pelo uso da água. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2010. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/670>>. Acesso em: 18/04/2024.

- NICODEMO, Maria Luiza Franceschi; BORGES, Wander Luis Barbosa; DE SOUZA, Isabela Malaquias Dalto. Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. 1-7, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5524>
- OHISSON, L. Water conflicts and social resource scarcity. **Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere**, v. 25, n. 3, p. 213-220, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00006-X](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00006-X)
- PEDROSA, Valmir de Albuquerque. **Gestão de conflitos: construindo pactos pelo uso da água**. 3. ed. revista e ampliada. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021. Disponível em: [https://biblioteca.ana.gov.br/sophia\\_web/Acervo/Detalhe/109775?returnUrl=/sophia\\_web/Home/Index&guid=1756872002175](https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalhe/109775?returnUrl=/sophia_web/Home/Index&guid=1756872002175). Acesso em: 13/01/2026.
- RIOS, Andréa Leite. Governança das Águas: Estudo dos Índices de Conflito pelo Uso da Água no Gerenciamento e Planejamento dos Recursos Hídricos da Micro-Bacia do Rio Piedade, Minas Gerais. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/VRNS-9T6BV5>. Acesso em: 06/05/2024.
- SAMBUICHI, R. H. R.; OLIVEIRA, M. A. C.; SILVA, A. P. M.; LUEDEMANN, G. A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-Brasília: Rio de Janeiro: IPEA, 52p. 2012.
- SEMAD, Plataforma IDE-Sisema tem 89 novas camadas ambientais relativas à hidrografia e APPs. Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento, Minas Gerais, 2023. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/5849--plataforma-ide-sisema-tem-89-novas-camadas-ambientais-relativas-a-hidrografia-e-apps#:~:text=%E2%80%9C%C3%89%20uma%20plataforma%20livre%2C%20que,atividades%20do%20Sisema%E2%80%9D%2C%20ressalta.>>. Acesso em: 12/09/2024.

- SHI, X. H. et al. Impact of ridge tillage on soil organic carbon and selected physical properties of a clay loam in southwestern Ontario. **Soil and Tillage Research**, v. 120, p. 1-7, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.01.003>
- Silva, B. M. B.; Silva, D. D.; Moreira, M. C. Índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba, Estado de Minas Gerais. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. vol. 10 n. 3 Taubaté – Jul. / Sep. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1597>>. Acesso em: 07/05/2024.
- SOARES NETO, Percy Baptista; PEDROSA, Valmir de Albuquerque. **Construindo a segurança hídrica**. Vitória: GSA Gráfica e Editora, 2018. 237 p. ISBN 978-85-8173-157-5.
- SONDERMANN, Melissa Nogueira; DE OLIVEIRA, Rodrigo Proença. Using the WEI+ index to evaluate water scarcity at highly regulated river basins with conjunctive uses of surface and groundwater resources. **Science of the Total Environment**, v. 836, p. 155754, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155754>
- TAMURA, L. N.; ALMEIDA, R. P. de. Modelos de fácies e permo-porosidade em depósitos de mega-rios ativos e testemunhos de poços da Bacia do Acre e Marajó (Meso-Cenozóico).2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7418407.svg>. Acesso em: 15 maio, 2024.
- YATES, David et al. WEAP21—A demand-, priority-, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. **Water international**, v. 30, n. 4, p. 487-500, 2005. DOI: 10.1080/02508060508691893

