

**Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba**  
**Centro de Ciências e Tecnologias para Sustentabilidade**  
**Departamento de Ciências Ambientais**

**Angelo Angelini Neto**

**Diagnóstico hidroambiental da Bacia do Ribeirão Caracol na cidade de**  
**Andradas – MG**

**Andradas - MG**

**2025**

**Angelo Angelini Neto**

**Diagnóstico hidroambiental da Bacia do Ribeirão Caracol na cidade de  
Andradas – MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental para obtenção do título de Mestre pela Universidade Federal de São Carlos.  
Área de concentração:

Orientação: Dra. Kelly Cristina Tonello

**Andradas - MG**

**2025**

Angelini Neto, Angelo

DIAGNÓSTICO HIDROAMBIENTAL DA BACIA DO  
RIBEIRÃO CARACOL NA CIDADE DE ANDRADAS - MG /  
Angelo Angelini Neto -- 2025.  
55f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São  
Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba  
Orientador (a): Kelly Cristina Tonello  
Banca Examinadora: Kelly Cristina Tonello, Julieta  
Bramorski, Cláudio Júnior Araújo  
Bibliografia

1. Diagnóstico ambiental. 2. Gestão de bacias  
hidrográficas. 3. Qualidade da água. I. Angelini Neto,  
Angelo. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -  
CRB/8 6979



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade  
Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental

### Relatório de Defesa de Dissertação

Candidato: **Angelo Angelini Neto**



Aos 10/12/2025, às 09:00, realizou-se na Universidade Federal de São Carlos, nas formas e termos do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, a defesa de dissertação de mestrado sob o título: Diagnóstico Hidroambiental da Bacia do Ribeirão Caracol (MG): Implicações para a Qualidade da Água e a Gestão da Microbacia, apresentada pelo candidato Angelo Angelini Neto. Ao final dos trabalhos, a banca examinadora reuniu-se em sessão reservada para o julgamento, tendo os membros chegado ao seguinte resultado:

| Participantes da Banca             | Função     | Instituição             | Conceito | Resultado Final |
|------------------------------------|------------|-------------------------|----------|-----------------|
| Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello | Presidente | UFSCar                  | Aprovado | Aprovado        |
| Profa. Dra. Julieta Bramorski      | Titular    | UNIFAP                  | Aprovado | Aprovado        |
| Prof. Dr. Cláudio Júnior Araújo    | Titular    | SEMA -<br>Andradas - MG | Aprovado | Aprovado        |


Parecer da Comissão Julgadora\*:

O discente foi aprovado e se comprometeu a seguir as recomendações da banca no documento final.

Encerrada a sessão reservada, o presidente informou ao público presente o resultado. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada e, para constar, eu, Kelly Cristina Tonello, representante do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, lavrei o presente relatório, assinado por mim e pelos membros da banca examinadora.

|   |      |   |      |
|---|------|---|------|
|  Documento assinado digitalmente<br>KELLY CRISTINA TONELLO<br>Data: 10/12/2025 11:49:05-0300<br>Verifique em <a href="https://validar.jti.gov.br">https://validar.jti.gov.br</a> | Repr |  Documento assinado digitalmente<br>KELLY CRISTINA TONELLO<br>Data: 10/12/2025 11:49:59-0300<br>Verifique em <a href="https://validar.jti.gov.br">https://validar.jti.gov.br</a> | ello |
| Profa. Dra. Julieta Bramorski   |      | Prof. Dr. Cláudio Júnior Araújo   |      |

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Julieta Bramorski, Cláudio Júnior Araújo e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

 Documento assinado digitalmente  
KELLY CRISTINA TONELLO  
Data: 10/12/2025 11:34:19-0300  
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello

Não houve alteração no título ( ) Houve alteração no título. O novo título passa a ser:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### Observações:

- a) Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.  
b) Para gozar dos direitos do título de Mestre ou Doutor em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, o candidato ainda precisa ter sua dissertação ou tese homologada pelo Conselho de Pós-Graduação da UFSCar.

Aos meus pais. Hoje, para sempre e depois.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a todas as forças divinas desse misterioso mundo que culminaram a esse momento.

Aos meus pais pela eterna luta em me manter são e protegido em meio as adversidades que esse plano nos traz. Em me manter em pé quando tudo parecia desabar, em me apoiar quando nada mais parecia possível. E por acreditarem que isso tudo seria realidade, como agora é.

A minha orientadora Professora Kelly, pela paciência, ensinamentos, sabedoria e compreensão das diversas necessidades de mudanças de planos durante a realização do estudo.

A todos meus companheiros e companheiras de luta diária, nas trincheiras da eterna luta em defesa dos interesses da natureza e do meio ambiente que nos abriga, e dele fazemos casa.

Todos que direta ou indiretamente estiveram presentes na minha vida ao longo de mais essa jornada técnica e acadêmica, meu muito obrigado.

SARAVÁ.

*“As leis não bastam.  
Os lírios não nascem da lei.  
Meu nome é tumulto, e escreve-se na pedra”.*

- Carlos Drummond de Andrade.

## RESUMO

ANGELINI NETO, Angelo. Diagnóstico hidroambiental da Bacia do Ribeirão Caracol na cidade de Andradadas - MG. 2025. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2025.

As nascentes são componentes ecohidrológicos críticos em bacias hidrográficas, mas frequentemente são negligenciadas em avaliações ambientais e no planejamento do uso do solo. Este estudo apresenta um diagnóstico hidroambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão do Caracol, localizada no bioma Mata Atlântica, no sudeste do Brasil. O uso e a cobertura do solo exercem papel central na dinâmica hídrica de bacias hidrográficas, influenciando a recarga subterrânea, a integridade das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e o estado de conservação das nascentes. Na bacia do Ribeirão do Caracol, o mapeamento temático revelou predominância do mosaico de usos, seguido pela formação florestal e pelas áreas de pastagem, compondo uma paisagem fragmentada e com distintos níveis de conservação ambiental. Embora grande parte das APPs das nascentes mantenha cobertura vegetal, a análise espacial apontou uma nascente localizada na bacia intermediária sem proteção florestal, evidenciando vulnerabilidade ecológica e risco à recarga. A partir desse contexto de uso do solo, sete nascentes foram avaliadas por meio de análises macroscópicas, georreferenciamento, medições hidrológicas e da determinação da qualidade da água em períodos seco e chuvoso. Os resultados demonstraram forte heterogeneidade hidrológica: três nascentes de cabeceira, historicamente consideradas perenes, não apresentaram fluxo em nenhum período de amostragem, indicando possível redução da recarga subterrânea; a nascente urbana apresentou surgência em três pontos distintos e sinais de degradação; e apenas uma nascente obteve classificação “Excelente” pelo índice IIAN. As análises da água do curso principal revelaram valores críticos no ponto de captação municipal, com elevados níveis de DBO<sub>5</sub> e baixos valores de oxigênio dissolvido, contrastando com as melhores condições registradas no trecho de montante. No conjunto, os achados evidenciam a influência direta do uso do solo sobre a conservação das nascentes e, de forma indireta, sobre a qualidade da água do ribeirão, reforçando a necessidade de integrar o monitoramento das nascentes ao planejamento ambiental, de fortalecer a proteção das APPs e de aplicar as diretrizes legais de manejo previstas no Código Florestal. As nascentes, mais que pontos de afloramento hídrico, constituem indicadores sensíveis das mudanças ambientais na paisagem e elementos fundamentais para a segurança hídrica regional.

**Palavras-chave:** cabeceiras; gestão de bacias hidrográficas; Mata Atlântica; qualidade da água; vazão ecológica.

## ABSTRACT

ANGELINI NETO, Angelo. Hydro-Environmental Assessment of the Ribeirão do Caracol Watershed in Andradas - MG. 2025. Dissertation (Master's Degree in Sustainability in Environmental Management) - Federal University of São Carlos, Sorocaba, 2025.

Springs are critical ecohydrological components of watersheds, yet they are often neglected in environmental assessments and land-use planning. This study presents a hydro-environmental diagnosis of the Ribeirão do Caracol watershed, located in the Atlantic Forest biome in southeastern Brazil. Land use and land cover play a central role in watershed hydrological dynamics, influencing groundwater recharge, the integrity of Permanent Preservation Areas (PPAs), and the conservation status of springs. In the Ribeirão do Caracol watershed, thematic mapping revealed a predominance of mixed land uses, followed by forest formations and pasture areas, composing a fragmented landscape with distinct levels of environmental conservation. Although most spring PPAs maintain vegetation cover, spatial analysis identified a spring in the intermediate portion of the watershed without forest protection, indicating ecological vulnerability and risk to recharge. Within this land-use context, seven springs were evaluated through macroscopic assessments, georeferencing, hydrological measurements, and the determination of water quality during dry and wet periods. The results demonstrated strong hydrological heterogeneity: three headwater springs, historically considered perennial, showed no flow during any sampling period, indicating a possible reduction in groundwater recharge; the urban spring exhibited emergence at three distinct points and signs of degradation; and only one spring was classified as "Excellent" according to the IIAN index. Analyses of the main channel water revealed critical values at the municipal abstraction point, with high BOD<sub>5</sub> levels and low dissolved oxygen concentrations, contrasting with better conditions recorded in the upstream reach. Overall, the findings indicate a direct influence of land use on spring conservation and, indirectly, on stream water quality, reinforcing the need to integrate spring monitoring into environmental planning, strengthen the protection of PPAs, and apply the legal management guidelines established by the Brazilian Forest Code. Springs, more than mere points of water emergence, are sensitive indicators of environmental change in the landscape and fundamental elements for regional water security.

**Keywords:** headwaters; watershed management; Atlantic Forest; water quality; ecological flow.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Bacia hidrográfica do Ribeirão Caracol – Andradas - MG .....                              | 25 |
| Figura 2: Definição de nascente e olho d'água e margem de APP – Área de Preservação Permanente..... | 18 |
| Figura 3: Uso e ocupação do solo da bacia do Ribeirão do Caracol.....                               | 33 |
| Figura 4: Nascentes avaliadas na Bacia do Ribeirão Caracol.....                                     | 34 |
| Figura 5: Nascente 1 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG (Afloramento do solo) .....       | 35 |
| Figura 6: Nascente 2 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG .....                             | 35 |
| Figura 7: Nascente 3 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG .....                             | 36 |
| Figura 8: Nascente 4 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG .....                             | 36 |
| Figura 9: Nascente 5 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG .....                             | 37 |
| Figura 10: Nascente 6 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG .....                            | 37 |
| Figura 11: Mapa da Bacia com Exutório e Ponto de Captação da Concessionária .....                   | 40 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Nascentes amostradas na bacia do Ribeirão do Caracol, Andradas – MG.....                     | 38 |
| Tabela 2: Classificação das nascentes segundo a pontuação total.....                                   | 39 |
| Tabela 3: Análises de qualidade da água do Ribeirão do Caracol e nascentes associadas (2024–2025)..... | 41 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....   | 13 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....   | 16 |
| 2.1. Bacias hidrográficas como unidades de gestão ambiental.....                                   | 16 |
| 2.2. As nascentes e sua importância hidroambiental .....   | 17 |
| 2.3. Diagnóstico hidroambiental: conceitos e métodos .....   | 20 |
| 2.4. Indicadores de qualidade e conservação das águas.....   | 21 |
| 2.5. Gestão integrada e educação ambiental .....   | 22 |
| 3 MATERIAIS DE MÉTODOS .....   | 24 |
| 3.1 Área de estudo.....  | 24 |
| 3.2 Uso e ocupação do solo.....  | 25 |
| 3.3 Procedimento metodológico .....  | 26 |
| 3.3 Visitas <i>in loco</i> .....   | 27 |
| 3.4 Quesitos para verificação .....  | 28 |
| 3.6 Análise de dados .....   | 31 |
| 4 RESULTADOS.....  | 32 |
| 4.1 Caracterização do uso e cobertura da bacia: situação hidrológica e integridade ambiental ..... | 32 |
| 4.2 Qualidade da água do ribeirão e implicações para a vazão ecológica .....                       | 39 |
| 5 DISCUSSÃO .....  | 44 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS.....  | 48 |
| REFERÊNCIAS.....   | 51 |
| APÊNDICE.....  | 55 |
| Apêndice 1 – Ficha de campo.....   | 55 |

## 1 INTRODUÇÃO

A exploração descontrolada dos recursos hídricos levanta uma série de preocupações prementes, abrangendo desde a escassez de água potável até o declínio da biodiversidade aquática (Cunha; Augustin, 2014). Nesse cenário desafiador, é imperativo priorizar a identificação e o entendimento detalhado da dinâmica complexa que rege os fluxos e os ciclos da água no planeta. Apenas por meio de uma compreensão aprofundada desse processo vital, a sociedade poderá adotar medidas eficazes e sustentáveis para preservar e gerenciar adequadamente esse recurso vital (Pereira et al., 2023). Pelo fato de não haver a devida consideração dos impactos negativos ao meio, o meio ambiente tende a desequilibrar os fluxos que geram o pleno funcionamento das demandas ambientais, trazendo à tona os debates de conservação (Charlton, 2008).

A água, por ser um recurso escasso e não renovável, poderá faltar no futuro, já que o não planejamento da dinâmica de bacias hidrográficas, poderá incidir em mais catástrofes naturais. Isso porque as bacias hidrográficas estão em contínua flutuação, em equilíbrio transacional ou dinâmico (Lima, 1986), sendo que a área da bacia tem influência direta sobre a quantidade de água produzida com o deflúvio (Tonello et al. 2006).

O conceito de uma bacia hidrográfica envolve um sistema aquático interligado, onde várias forças interdependentes e cíclicas operam em uma área específica demarcada por divisores de água. Dentro desta região delimitada, um rio principal e seus afluentes convergentes desempenham um papel crucial, sendo formados tanto pelo escoamento pluvial superficial quanto pelas nascentes alimentadas por águas subterrâneas afloradas do lençol freático. Esta interação dinâmica resulta em um equilíbrio sustentável do sistema hidrológico (Nacaratti, 2015).

Bacias hidrográficas, conforme sugere Bevilacqua (2012), podem ser adotadas como unidade territoriais de planejamento e recorte espacial para entendimento de relações de degradação e ocupação antrópica. A bacia pode ser considerada um instrumento de análise, planejamento e gerenciamento, ou seja, em uma unidade territorial onde há concentração da água com o meio ambiente, existe a necessidade de um planejamento por meio de uma política do Estado para alcançar o desenvolvimento sustentável (Bevilacqua, 2012, Cury, 2006).

A Lei Federal 12.651 de 2012 em seu Art. 3º, define em seu inciso XVII que “nascente: afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água”, sendo um componente chave para a formação de bacias e microbacias hidrográficas, já no

Art.4º, inciso IV, preconiza a proteção de nascentes e dos olhos d'águas perenes, considerando uma proteção mínima de um raio de 50 (cinquenta) metros (Brasil, 2012).

A Resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) aborda a categorização dos corpos d'água e define os princípios ambientais para sua qualificação. Consequentemente, é possível classificar as águas provenientes de nascentes como de classe I. Isto se baseia no fato de que, após um tratamento simplificado, essas águas são adequadas para suprir as necessidades de consumo humano, atividades recreativas e também para proteger os ecossistemas aquáticos (Brasil, 2005).

Nascentes apresentam comportamento hidrológico de acordo com suas características geomorfológicas e também do tipo de cobertura vegetal (Lima, 1986). De acordo Felipe (2009), nascentes são sistemas que geram a conexão entre águas subterrâneas com a superfície, criando assim sistemas de drenagem e bacias e microbacias hidrográficas. Sendo assim, podemos considerar que nascentes são a origem de toda a cadeia hidrológica superficial.

Segundo Calheiros (2009), as nascentes representam áreas onde a água subterrânea emerge, dando início aos cursos d'água fundamentais em um sistema de drenagem. No entanto, a qualidade ideal de uma fonte depende de sua capacidade de oferecer água de excelência de forma constante e abundante, distribuída de maneira uniforme ao longo do tempo, garantindo uma variação mínima na vazão durante todo o ano (Leal et al., 2017).

De acordo com Naccarati (2015), um diagnóstico hidroambiental visa analisar a presença de efeitos tanto positivos quanto negativos no meio ambiente. A finalidade é propor medidas de recuperação e conservação ambiental para proteger a biodiversidade regional e assegurar a provisão contínua dos serviços ambientais associados. Isso inclui garantir a disponibilidade e qualidade da água em áreas de grande importância, como os remanescentes florestais.

Levando em consideração o exposto, surge o problema de pesquisa com o questionamento: Qual a relação da proteção e conservação das nascentes formadoras das bacias e microbacias com a qualidade das águas?

A pesquisa proposta se justifica dada a conjuntura global marcada pela escassez crescente de recursos hídricos. A compreensão aprofundada das questões críticas relacionadas à gestão sustentável da água torna-se fundamental para enfrentar os desafios iminentes (Naccarati, 2015). Além disso, contribui para o avanço do conhecimento científico em áreas como recursos hídricos, hidrologia e gestão ambiental. Isso é fundamental para a comunidade acadêmica, fornecendo informações e dados valiosos que podem servir de base para futuras pesquisas e estudos.

Com base nos dados que serão obtidos por meio do estudo e após uma análise técnica e crítica, é possível subsidiar laudo técnico com propostas de mitigação/reparação/recuperação de tais nascentes, fazendo com que assim haja um melhoramento em sua qualidade e um planejamento estratégico da bacia, prevendo seus múltiplos usos de forma sustentável.

Neste contexto, o objetivo geral do presente estudo foi avaliar a relação entre o estado de conservação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Caracol, em Andradadas-MG, identificando fatores hidrológicos e ambientais que influenciam a sustentabilidade hídrica local.

Além disso, pretendeu analisar o uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica; caracterizar as condições físico-ambientais e hidrológicas das nascentes da bacia do Ribeirão do Caracol; aplicar o índice IIAN para avaliar o grau de conservação e a qualidade das águas superficiais; analisar espacialmente a influência do uso e cobertura do solo sobre a condição das nascentes.

Além disso, o estudo está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Agenda 2030 da ONU, especialmente no que se refere ao ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ao contribuir para a identificação de pressões que comprometem a segurança hídrica local. O trabalho também se relaciona ao ODS 15 (Vida Terrestre) ao analisar o estado de conservação das Áreas de Preservação Permanente e da vegetação nativa que protege as nascentes, e ao ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) ao abordar a vulnerabilidade da nascente urbana e a necessidade de planejamento ambiental integrado. De forma complementar, os resultados apoiam ações do ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), ao evidenciar como o uso e a cobertura do solo influenciam processos hidrológicos essenciais para a resiliência ecológica da bacia. Dessa forma, os objetivos específicos e metodológicos do trabalho contribuem diretamente para a compreensão e fortalecimento de práticas sustentáveis de gestão dos recursos hídricos e ambientais em escala local.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Bacias hidrográficas como unidades de gestão ambiental

A bacia hidrográfica é amplamente reconhecida como a unidade natural mais apropriada para o planejamento e a gestão ambiental, por integrar de forma sistêmica os componentes físicos, bióticos e antrópicos do território (Oliveira; Vestena, 2013 ). Essa unidade representa um sistema aberto em contínua troca de matéria e energia, no qual variáveis como relevo, solo, cobertura vegetal e uso do solo condicionam diretamente os processos hidrológicos, incluindo a infiltração, o escoamento superficial, a recarga dos aquíferos e a disponibilidade hídrica (Tonello et al., 2006 ).

Conforme Schussel e Nascimento Neto (2016), a adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento implica reconhecer que toda atividade humana em seu interior repercute sobre o sistema hídrico e, por consequência, sobre a qualidade ambiental e o bem-estar social. Essa visão reforça a interdependência entre as ações antrópicas e os elementos naturais, e destaca que a sustentabilidade da bacia depende do equilíbrio entre uso do solo, cobertura vegetal e conservação dos recursos hídricos .

No contexto brasileiro, a Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, consolidou o princípio da gestão descentralizada e participativa das águas, estabelecendo os Comitês de Bacia Hidrográfica como instâncias colegiadas responsáveis pela deliberação, planejamento e resolução de conflitos sobre o uso da água. Essa política introduziu instrumentos inovadores, como o enquadramento dos corpos d'água e os planos de bacia, reforçando o caráter democrático e técnico da gestão (Brasil, 1997).

A abordagem por bacia favorece a integração entre dimensões ambientais, sociais e econômicas, ao permitir que o território seja entendido como um sistema ecológico-funcional, em que o uso racional dos recursos naturais depende da coordenação entre os diversos atores sociais, poder público, usuários e comunidade local. Essa perspectiva é essencial para a gestão ambiental contemporânea, pois articula políticas de saneamento, conservação do solo, reflorestamento e ordenamento territorial em um mesmo recorte espacial (Naccaratti, 2015).

Assim, compreender a bacia do Ribeirão Caracol sob essa ótica sistêmica é fundamental para subsidiar estratégias de manejo, conservação e recuperação das nascentes, de modo que o diagnóstico hidroambiental se alinhe às diretrizes do Plano Diretor Municipal de Andradas –

MG. Essa integração entre planejamento urbano-rural e gestão de recursos hídricos é indispensável para assegurar a sustentabilidade hídrica e ecológica da região.

## **2.2. As nascentes e sua importância hidroambiental**

As nascentes constituem os pontos de afloramento natural do lençol freático à superfície, representando o início dos cursos d'água superficiais e, portanto, os principais formadores da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica (Leal et al., 2017). Esses ambientes correspondem a interfaces entre os sistemas subterrâneo e superficial, desempenhando papel essencial na manutenção do equilíbrio hidrológico e no sustento da biodiversidade aquática e terrestre.

Do ponto de vista ecológico, as nascentes atuam como zonas de recarga e descarga do sistema hídrico, responsáveis pela regulação natural da vazão dos rios e córregos, pela recarga de aquíferos e pela manutenção da perenidade dos corpos d'água mesmo em períodos de estiagem. A cobertura vegetal nativa associada às áreas de nascentes exerce função crucial na filtração de sedimentos, na retenção de nutrientes e na proteção contra processos erosivos, garantindo a qualidade da água e a estabilidade das margens (Tonello et al., 2006; Oliveira; Vestena, 2013).

Diversos fatores foram considerados para a classificação das nascentes, abrangendo os seguintes aspectos:

- Tipo (pontual ou difusa)

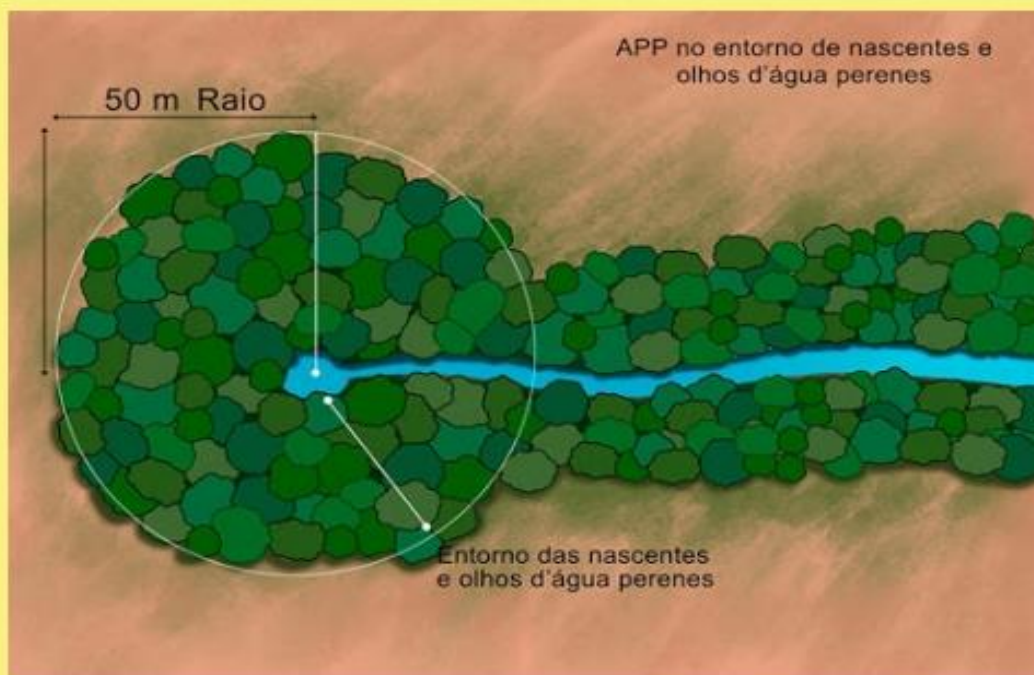
Conforme cita Castro (2007) e Valente e Gomes (2005), as nascentes difusas se concentram em uma pequena área, são consideradas como olho d'água, porém em uma área encharcada e depois dão início a um fluxo contínuo. Já as nascentes pontuais são aquelas que apresentam um ponto fixo no terreno e desaguam em formação de um corpo hídrico. Segundo o Código Florestal Brasileiro, Lei Federal 12.651 de 2012 em seu Art. 3º: XVII - nascente: afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água; XVIII - olho d'água: afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente” (Figura 2) (Brasil, 2012).

**Figura 1: Definição de nascente e olho d'água e margem de APP – Área de Preservação Permanente**

**\*\*Para efeito da aplicação da legislação pertinente, é considerado:**

**Nascente:** Afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água;

**Olho d'água:** Afloramento natural do lençol freático mesmo que intermitente.



Fonte: Cartilha do Código Florestal Brasileiro

- Persistência (perene, intermitente ou efêmera)

Intermitentes são as nascentes que alimentam corpos hídricos nas estações chuvosas, podendo secar em determinadas épocas do ano, já as consideradas perenes, apresentam o fluxo contínuo, mesmo em períodos de seca.

A esse propósito, conforme citado no item anterior, o Código Florestal Brasileiro trata que nascentes intermitentes ou efêmeras são chamadas de 'olho d'água' e quando há perenidade, trata-se de nascente propriamente dita, isso é importante ser considerado, pois é o que dá a aplicabilidade legal de proteção. Para melhor entendimento e dados mais preciso, foram duas temporadas de incursões a campo, uma na época chuvosa e outra na época de estiagem.

- Fluxo da água ou vazão

Conforme cita Gondim (2006) existem vários termos para se definir vazão ecológica. A esse propósito, temos:

✓ Vazão Mínima Residual: é um mínimo a ser mantido a jusante de qualquer estrutura de barragem ou captação (Igam 2012; Collischonn et al., 2005)

✓ Vazão Mínima Ecológica: é o mínimo de fluxo que garanta as funções ecológicas do rio, mantendo assim toda a cadeia produtiva e usuários ao longo do corpo hídrico (Gondim, 2006)

✓ Vazão ecológica: é a água que flui do rio (Igam, 2012; IFC, 2004), também podendo ser considerado, conforme Bernardo (1996), que é a demanda hídrica necessária para abastecimento de um rio e conservação da ecologia e da paisagem.

A relevância ambiental das nascentes é reconhecida pela legislação brasileira desde o Código Florestal de 1965 (Lei nº 4.771/65), que as definiu como Áreas de Preservação Permanente (APPs). Essa proteção foi reafirmada pela Lei nº 12.651/2012, o novo Código Florestal, que estabelece a obrigatoriedade de preservação de um raio mínimo de 50 metros ao redor das nascentes e olhos d'água perenes, independentemente de sua localização geográfica ou regime de vazão (Brasil, 2012). Tal determinação legal tem como objetivo assegurar a integridade física e ecológica desses ambientes, prevenindo a degradação de áreas de recarga e o comprometimento da qualidade hídrica.

Felippe (2009) ressalta que, além de seu papel hidrológico, as nascentes possuem elevado valor ecológico, social e cultural, pois sustentam ecossistemas frágeis, favorecem a manutenção da diversidade biológica, contribuem para a regulação microclimática local e fornecem água para o abastecimento humano e produtivo. Nesse sentido, as nascentes são consideradas elementos-chave dos serviços ecossistêmicos, refletindo diretamente na qualidade de vida e no desenvolvimento sustentável das comunidades que delas dependem.

Entretanto, diversos estudos apontam que o avanço da urbanização, a agropecuária intensiva, a supressão da vegetação ciliar e o pisoteio de gado em áreas de nascentes são os principais fatores de degradação desses ambientes (Souza, 2018; Naccarati, 2015). Tais práticas provocam assoreamento, compactação do solo, contaminação por nutrientes e agrotóxicos, além da redução da infiltração hídrica e da vazão das fontes.

Dessa forma, a conservação e recuperação de nascentes exigem diagnósticos ambientais detalhados e interdisciplinares, capazes de identificar as principais pressões antrópicas e propor medidas de manejo adequadas à realidade local. A adoção de práticas de conservação do solo e da água, o reflorestamento de áreas ciliares, o isolamento de nascentes degradadas e a

educação ambiental comunitária são estratégias fundamentais para restaurar a funcionalidade ecológica desses ambientes e garantir a sustentabilidade hídrica das bacias hidrográficas.

### **2.3. Diagnóstico hidroambiental: conceitos e métodos**

O diagnóstico hidroambiental constitui uma ferramenta técnica e interdisciplinar voltada à análise integrada das condições físicas, químicas, biológicas e antrópicas de um sistema hídrico, tendo como objetivo principal compreender o estado ambiental de uma bacia e subsidiar ações de planejamento, conservação e recuperação (Naccarati, 2015). Essa abordagem permite identificar e quantificar impactos positivos e negativos decorrentes do uso do solo, das atividades humanas e das características naturais da paisagem, fornecendo bases científicas para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Segundo Felipe (2009), a eficácia do diagnóstico hidroambiental depende da integração entre métodos quantitativos e qualitativos, que considerem tanto os aspectos físicos e químicos das águas quanto as condições ecológicas e sociais do território. Assim, a análise deve combinar ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, que possibilitam o mapeamento da cobertura vegetal, do relevo e da drenagem, com medições de parâmetros físico-químicos (como pH, oxigênio dissolvido, turbidez e sólidos totais), e ainda com avaliações macroscópicas e visuais realizadas *in loco* (Tonello et al., 2006; Leal et al., 2017).

A abordagem hidroambiental parte do princípio de que o ambiente é um sistema interdependente, no qual alterações em um de seus componentes, como o desmatamento, a compactação do solo ou o lançamento de efluentes, repercutem diretamente na dinâmica hídrica e ecológica. Dessa forma, o diagnóstico atua não apenas como instrumento de mensuração, mas também como ferramenta estratégica de gestão territorial, permitindo identificar áreas críticas e definir ações prioritárias de manejo ambiental (Oliveira; Vestena, 2013).

Dentre os métodos aplicáveis, destaca-se o Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN), proposto por Felipe e Magalhães Júnior (2012), amplamente utilizado em estudos de avaliação e monitoramento ambiental. O IIAN baseia-se na observação macroscópica e qualitativa de parâmetros ambientais como cor, odor, presença de resíduos, estado da vegetação, grau de proteção física, estabilidade das margens e proximidade de atividades antrópicas. Cada parâmetro recebe uma pontuação ponderada, cujo resultado é expresso em uma classificação numérica que indica o grau de conservação ou degradação da nascente.

Essa metodologia destaca-se por sua simplicidade, baixo custo e aplicabilidade em campo, permitindo que comunidades, escolas e órgãos públicos realizem avaliações rápidas e contínuas (Felipe; Magalhães Junior, 2012).

Portanto, o diagnóstico hidroambiental não se restringe a um levantamento técnico, mas representa uma etapa essencial de planejamento ambiental, que permite compreender a interação entre fatores naturais e antrópicos, avaliar o estado de conservação das nascentes e embasar políticas públicas de gestão participativa de microbacias. Sua aplicação na bacia do Ribeirão Caracol, em Andradas–MG, oferece um suporte técnico valioso para a tomada de decisão, a formulação de estratégias de manejo e a promoção da sustentabilidade hídrica local.

#### **2.4. Indicadores de conservação das águas**

A análise da qualidade da água representa um componente essencial do diagnóstico hidroambiental, uma vez que permite avaliar os efeitos das atividades humanas sobre os ecossistemas aquáticos e compreender o funcionamento dinâmico das bacias hidrográficas. Segundo Tonello et al. (2006), os parâmetros físico-químicos, como pH, oxigênio dissolvido, turbidez, temperatura, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, constituem indicadores fundamentais para detectar alterações nos processos naturais de autodepuração e inferir o grau de interferência antrópica sobre o escoamento superficial, os processos erosivos e a recarga dos aquíferos.

Esses parâmetros refletem tanto as condições geológicas e climáticas quanto os impactos decorrentes de práticas agrícolas, urbanas e industriais. Por exemplo, a diminuição do oxigênio dissolvido e o aumento da turbidez ou da carga orgânica podem indicar processos de eutrofização, assoreamento e contaminação difusa, resultantes do lançamento de efluentes domésticos, do uso intensivo de agroquímicos e da supressão da vegetação ripária (Oliveira; Vestena, 2013; Naccarati, 2015).

Entre os instrumentos mais amplamente utilizados para sintetizar e comunicar esses resultados destaca-se o Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN), proposto por Felipe e Magalhães Júnior (2012), que permite uma avaliação holística da qualidade ambiental, integrando dimensões físicas, químicas, biológicas e socioambientais.

Assim, o uso desse indicador configura uma ferramenta estratégica de planejamento ambiental, capaz de subsidiar políticas públicas voltadas à conservação dos mananciais, ao controle da poluição difusa e à gestão integrada das microbacias hidrográficas. No contexto da

bacia do Ribeirão Caracol, a aplicação do IIAN fornece subsídios técnicos para identificar áreas prioritárias de intervenção, orientar ações de manejo e recuperação de nascentes e promover a sustentabilidade hídrica do município de Andradas - MG.

## **2.5. Gestão integrada e educação ambiental**

A gestão integrada dos recursos hídricos pressupõe a articulação entre ações técnicas, políticas e sociais voltadas à conservação e ao uso sustentável das águas. A literatura recente aponta que a conservação de nascentes e mananciais requer não apenas abordagens técnicas, mas também estratégias de governança participativa e de educação ambiental. Segundo Pereira et al. (2023), a sensibilização da sociedade é um elemento essencial para fortalecer a gestão compartilhada das bacias hidrográficas, promovendo a corresponsabilidade entre o poder público, os usuários e a comunidade local na manutenção da qualidade ambiental e na promoção do uso sustentável do solo e da água.

Nesse contexto, a educação ambiental desempenha um papel formador e transformador, pois estimula a adoção de práticas sustentáveis, o engajamento social e a valorização dos recursos hídricos como bens coletivos. Mais do que transmitir conhecimento técnico, ela promove uma mudança de atitudes, despertando o senso de pertencimento e responsabilidade em relação ao território e ao meio ambiente (Pereira et al., 2023).

De acordo com Schussel e Nascimento Neto (2016), a gestão participativa das bacias deve integrar o conhecimento técnico-científico com o saber local, promovendo o diálogo entre diferentes atores sociais, como o poder público, instituições de ensino, produtores rurais e comunidades. Essa interação amplia a legitimidade e a efetividade das ações, garantindo que as estratégias de manejo e conservação sejam adequadas às especificidades socioambientais de cada região.

No caso da bacia do Ribeirão Caracol, a integração entre o diagnóstico hidroambiental e o Plano Diretor do Município de Andradas – MG representa um instrumento estratégico para orientar políticas públicas voltadas à proteção das nascentes, à conservação das áreas de recarga e à melhoria da qualidade da água.

O Plano Diretor, ao incorporar diretrizes de ordenamento territorial e de uso do solo, reforça a importância de alinhar o planejamento urbano e rural à gestão ambiental, contribuindo para a sustentabilidade hídrica e ecológica do município. Nesse sentido, o diagnóstico hidroambiental torna-se uma ferramenta técnica essencial para subsidiar decisões

administrativas, priorizar áreas de intervenção e monitorar os resultados das ações de conservação.

A educação ambiental comunitária, quando articulada às políticas públicas e às práticas de gestão territorial, atua como um vetor de transformação social. Experiências recentes destacadas por Pereira et al. (2023) demonstram que programas de capacitação e de envolvimento da população local fortalecem o sentimento de pertencimento à bacia, estimulando a participação efetiva da comunidade em ações de recuperação de nascentes e de manejo sustentável do solo. Essa mobilização social é decisiva para consolidar a gestão participativa e garantir a continuidade das ações ambientais no longo prazo.

Assim, o diagnóstico hidroambiental da bacia do Ribeirão Caracol deve ser entendido como parte integrante de um processo contínuo de planejamento e gestão territorial sustentável, fundamentado na articulação entre conhecimento científico, participação social e políticas públicas eficazes.

Essa abordagem integrada constitui o caminho mais promissor para assegurar a proteção das nascentes, o uso racional dos recursos hídricos e a manutenção da resiliência ecológica do território. Os estudos revisados convergem, portanto, para a compreensão de que a bacia hidrográfica é a unidade ideal de planejamento ambiental; que as nascentes são elementos estratégicos de conservação e monitoramento; que os indicadores de avaliação, como o IIAN, permitem mensurar objetivamente o grau de impacto ambiental; e que a gestão participativa, aliada à educação ambiental, é indispensável para a efetividade das ações de preservação.

A fundamentação teórica apresentada sustenta, portanto, o desenvolvimento do diagnóstico hidroambiental proposto, orientando a metodologia de avaliação das nascentes e contribuindo para a elaboração de subsídios técnicos e científicos voltados à gestão hídrica e territorial do município de Andradas - MG.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O município de Andradas está situado no sul do Estado de Minas Gerais, integrando a mesorregião Sul/Sudoeste de Minas e a microrregião de Poços de Caldas. Apresenta uma distância de 485 km da capital mineira, com território de 469,396 km<sup>2</sup> e uma população residente de 40.553, do território a área urbanizada é de 8,77 km<sup>2</sup>. A cidade encontra-se a 22°04'05" de latitude Sul e 46°34'04" de longitude Oeste e se eleva a uma altitude de 920 metros acima do nível do mar. A bacia hidrográfica do Ribeirão do Caracol, localizada integralmente no município, possui área de 13,63 km<sup>2</sup> e foi selecionada como área de estudo por sua relevância ecológica e hidrológica. (Ibge, 2022).

Andradas está inserida no bioma Mata Atlântica com ecótonos de cerrado, apresentando vegetação original de Floresta Estacional Semidecidual e campos de altitude. O relevo é diversificado, com planaltos ao norte (1.350 a 1.500 m), colinas na porção central (900 a 970 m), e áreas serranas elevadas, como o Pico do Gavião (1.657 m). A vegetação atual é composta principalmente por pastagens, remanescendo pequenas áreas de mata ciliar (Cidade Brasil, 2024).

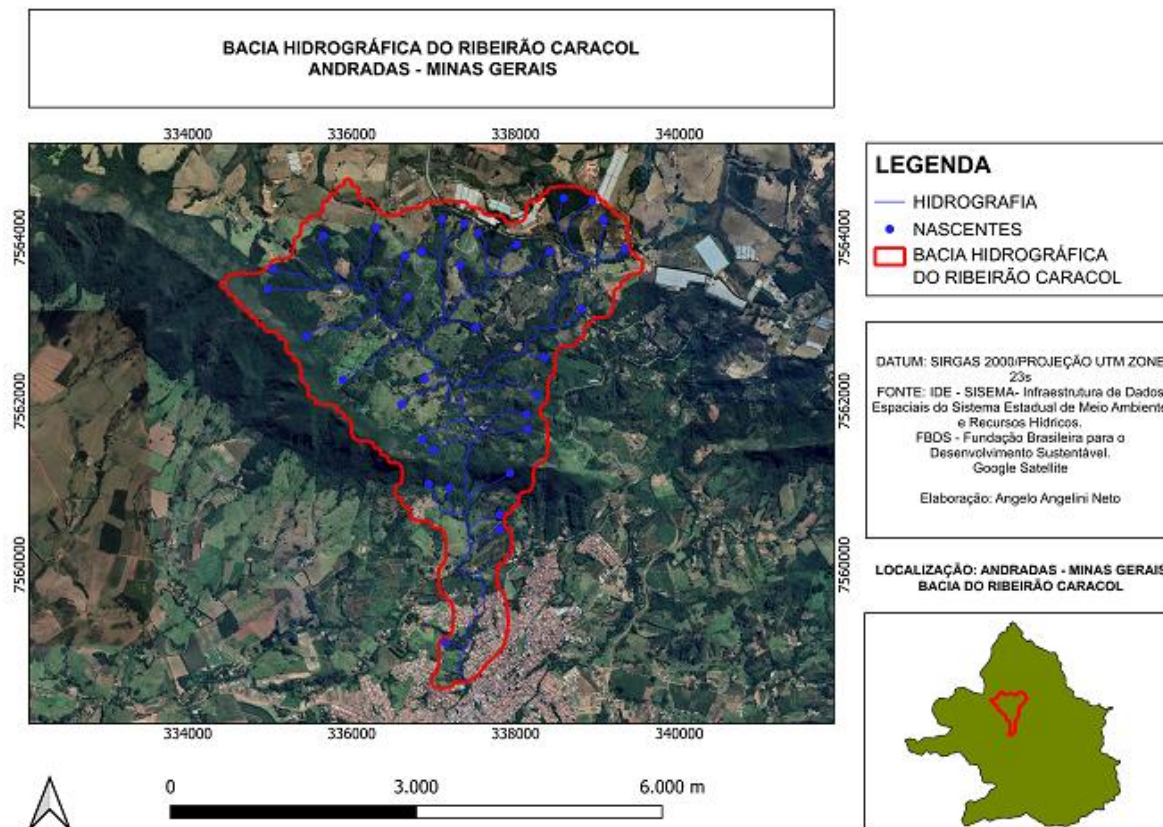
O clima de Andradas é classificado como tropical de altitude, segundo a classificação climática de *Köppen-Geiger* (Cwb). Esse clima caracteriza-se por verões quentes e úmidos, com invernos secos e temperaturas mais amenas, favorecendo a diversidade agrícola e as atividades ao ar livre na região (Dubreuil et al., 2019). A temperatura média anual é em torno de 20 °C, tornando o clima da cidade agradável e propício para a vitivinicultura e outras culturas (Cidade Brasil, 2024).

Andradas é abastecida pelo Conjunto Paisagístico da Serra do Caracol, um importante repositório que beneficia tanto o município quanto as propriedades rurais da região. A Serra do Caracol, reconhecida como patrimônio hídrico, abriga uma vasta diversidade de fauna e flora e é utilizada para atividades culturais, turísticas, de subsistência e paisagísticas (Infosanbas, 2025).

A cidade apresenta uma densa e rica malha hídrica, composta por diversas nascentes e cursos d'água, distribuídos em aproximadamente seis microbacias (Figura 1). As microbacias com maior destaque na região incluem o Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão das Antas e Ribeirão do Caracol, que representam as principais fontes de abastecimento e apresentam significativas

vazões em suas áreas. Esses recursos são fundamentais para a sustentação ambiental e o abastecimento da população local (InfoSanBas, 2025).

**Figura 2: Bacia hidrográfica do Ribeirão Caracol – Andradas - MG**



Fonte: IDE-SISEMA e QGIS 3.32.2.

A região possui um padrão de drenagem dendrítico, com muitos cursos d'água retilíneos na área serrana. O relevo acidentado e a alta densidade de drenagem favorecem a formação de diversas quedas d'água, proporcionando uma paisagem única. Em termos de abastecimento, cerca de 98,34% da população de Andradas recebe água potável por meio da Rede Geral de Distribuição (Infosanbas, 2025).

Apesar da instalação de um aterro sanitário, o município ainda enfrenta desafios ambientais, como o descarte irregular de esgoto em rios e a falta de coleta seletiva. Grupos locais, como Impressão Verde e a ONG Caracol, promovem ações de preservação e reflorestamento para a conservação dos recursos naturais.

### 3.2 Uso e ocupação do solo

A elaboração do Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Caracol – apresentado na seção resultados (Figura 3), foi realizada por meio de técnicas de geoprocessamento integradas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitindo a análise espacial e temática da área estudada. A delimitação da bacia foi obtida a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), processado pelas ferramentas hidrológicas de preenchimento de depressões, direção e acumulação de fluxo, possibilitando a extração automática da área de contribuição. A hidrografia foi obtida no banco de dados do IDE-Sisema e complementada com extrações derivadas do próprio MDE, o que garantiu maior correspondência com o padrão de drenagem local. A identificação das nascentes utilizou bancos de dados oficiais, ortofotos de alta resolução e validações *in loco*, resultando na representação dos pontos de nascente mapeados e visitados na figura.

O mapeamento do uso e da cobertura da terra foi realizado a partir da base do MapBiomias referente ao ano de 2024, recortada segundo o limite da bacia e reclassificada em categorias específicas, como formação florestal, silvicultura, pastagem, mosaico de usos, áreas urbanizadas, café e outras lavouras temporárias e perenes. As classes foram convertidas para o formato vetorial, permitindo o cálculo das áreas em hectares por meio de ferramentas estatísticas internas do *software*. As áreas ocupadas por cada classe de uso e cobertura da terra foram calculadas em hectares e em percentuais, a partir da proporção entre a área de cada classe mapeada e a área total da bacia hidrográfica.

Por fim, o mapa foi estruturado segundo normas cartográficas, incluindo grade UTM (SIRGAS 2000 – Zona 23S), barra de escala, rosa dos ventos, legenda temática e representação dos elementos da paisagem, resultando no produto final apresentado.

### **3.3 Procedimento metodológico**

A bacia escolhida como objeto de estudo, foi a Bacia do Caracol recortando para a cidade de Andradas - MG.

As nascentes foram classificadas entre pontuais, que estão fixas em um ponto do terreno objeto de estudo, ou difusa, quando houver fluxo em vários pontos, gerando uma área alagada (Castro, 2007). Quanto as nascentes perenes e intermitentes, foram caracterizadas com base na diferença de fluxo e pontos de surgência nas diferentes épocas de coleta (estação seca e chuvosa).

As nascentes foram previamente mapeadas por meio de mapas do IGC e da Secretaria do Meio Ambiente, além de considerar o ponto de coleta de água pela empresa concessionária. A produção de mapas temáticos foi realizada por meio do *software Quantum GIS (QGIS 3.32.2)*. Foram realizadas incursões em campo para análises macroscópicas e coletas para análises laboratoriais e tomadas de coordenadas com ajuda de receptor GPS. Nas análises macroscópicas foram utilizadas metodologias já propostas por outros autores como Gomes et al. (2005), Felipe e Magalhães Junior (2008), Leal et al. (2017), Souza (2018), além de itens que serão definidos pelo próprio autor, de maneira a enriquecer os dados.

Para a análise geral, foram considerados diversos itens definidos em uma ficha de campo, que está detalhada no Apêndice 1 do presente estudo, e após isso uma classificação de acordo com os dados obtidos.

### **3.3 Visitas *in loco***

Foram efetuadas visitas em momentos contrastantes: durante a estação de maior (outubro/2024) e menor (junho/2025) precipitação pluviométrica. Durante essas visitas, as nascentes foram devidamente catalogadas, registrando suas coordenadas geográficas por meio de dispositivos GPS. Fotos foram capturadas para integrar o arquivo visual, utilizando um aparelho celular. Além disso, foi preenchida uma ficha específica (Apêndice 1), na qual

A quantificação da produção de água das nascentes foi realizada para estabelecer sua classificação de vazão por meio dos métodos direto e indireto. No método direto, foi utilizado um recipiente com capacidade para um litro de água juntamente com um cronômetro para determinar o tempo de preenchimento do recipiente. Dessa forma, as nascentes foram classificadas da seguinte maneira: grande fluxo de água ( $\geq 0,10$  L/s); fluxo médio (0,03 a 0,09 L/s); fluxo baixo ( $< 0,03$  L/s); e fluxo baixíssimo, caracterizado apenas pelo acúmulo de água (Naccarati, 2015).

Em situações em que a profundidade e o fluxo de água não viabilizam o uso do método direto, recorreu-se a um método indireto e não convencional para estimar a vazão. Nesse contexto, a largura do canal foi determinada em diferentes profundidades ao longo da seção transversal, e a velocidade do fluxo foi estimada. Utilizando uma trena, a largura do canal foi medida; no caso de canais muito largos, essa medição foi realizada com o auxílio de um GPS. Após obter a largura do canal, calculou-se a profundidade média, utilizando uma vara de bambu devidamente marcada em escala métrica. A próxima etapa envolveu medições para estimar a

média das profundidades, obtendo-se a soma de todos os pontos amostrados dividida pelo número de pontos amostrados (Carvalho, 2008).

Com a média da profundidade e a distância do canal, restou a última variável, a mais delicada, uma vez que é dinâmica ao longo do eixo transversal e vertical do canal: a velocidade média do fluxo de água. Para estimá-la, uma laranja foi colocada em um ponto específico e solta, seguindo uma distância pré-fixada para sua flutuação (podendo ser 1, 2 ou 10 metros), e o tempo decorrido foi utilizado para estimar a velocidade, utilizando a fórmula  $v = t/d$ . Esse processo foi repetido três vezes para obter uma média mais precisa da velocidade da corrente de água (Carvalho, 2008).

### **3.4 Quesitos para verificação**

Nesta etapa do procedimento, foram realizadas visitas em diferentes períodos, abrangendo tanto a estação com maior quanto a estação com menor volume de chuva. Para a caracterização das nascentes, foi utilizada uma Ficha de Nascente (Apêndice 1), desenvolvida para o registro sistemático das informações observadas em campo. Essa ficha tem como objetivo padronizar a coleta de dados e garantir a comparabilidade entre os pontos amostrados, permitindo uma avaliação integrada das condições ambientais de cada nascente visitada.

A ficha contemplou dados gerais, como data, local, coordenadas geográficas e tipo de área de inserção (propriedade privada, área protegida ou informação ausente), além de condições climáticas recentes (ocorrência de chuva nos cinco dias anteriores à visita). Também registrou características físicas e químicas da água, incluindo fluxo, temperatura, pH e a identificação de nascente difusa.

Na segunda parte, foram avaliados parâmetros macroscópicos, que indicam o grau de preservação e possíveis impactos ambientais. Esses parâmetros envolveram a coloração da água, presença de resíduos nas margens e de materiais flutuantes, ocorrência de espuma, óleo ou esgoto, além do estado da vegetação, presença humana e de animais. Cada item recebeu uma pontuação qualitativa, permitindo classificar visualmente o nível de alteração do ambiente.

Por fim, foram registradas informações sobre a proteção física da nascente (existência de cercamento ou isolamento) e sua proximidade com residências ou estabelecimentos, fatores que influenciam diretamente a vulnerabilidade da área.

A ficha, portanto, atuou como um instrumento de diagnóstico ambiental, fornecendo subsídios para a análise comparativa entre as nascentes quanto ao grau de conservação, nível de impacto antrópico e qualidade ambiental do entorno.

A temperatura das nascentes foi aferida com auxílio de um termômetro da marca Vivosun. Com o uso de um medidor digital da marca Owhatssad, modelo Plastic, foram realizadas as medições de pH, cujos valores foram anotados na ficha correspondente.

Para verificar a coloração da água, foi realizada uma coleta e aguardo de cinco minutos para sedimentação dos possíveis materiais em suspensão. Em seguida, foi analisada a coloração ou limpidez da amostra; no caso de coloração, identificou-se o material predominante (areia, argila, silte) ou possíveis fontes de lançamento de esgoto.

Em relação ao odor, a equipe de campo utilizou a mesma amostra coletada para as aferições anteriores, encaminhando-a ao laboratório para análises de oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e odor.

A presença de resíduos nas margens e entorno, de materiais flutuantes não naturais, espuma e óleo, foi avaliada com base em uma escala qualitativa: presente (alto), intermediário (baixo) e ausente.

A observação de resíduos foi realizada em um raio mínimo de 10 metros ao redor da nascente, quando houve possibilidade. Caso contrário, foi justificada a limitação. Para verificar espuma e óleo, foi utilizado um quadrante de 50 x 50 cm.

A presença de esgoto foi considerada presente quando houve emissários de lançamento na nascente ou no corpo hídrico por ela formado. Quando possível, foi classificado o tipo de lançamento: com tratamento (ETE, fossa séptica, biodigestor), sem tratamento, efluentes industriais ou de criação animal a montante. A categoria ausente foi atribuída quando nada foi detectado.

A vegetação foi analisada *in loco* para verificar sua presença e, quando possível, o tipo (Mata Atlântica, Cerrado ou vegetação exótica). Quando identificado o bioma de Mata Atlântica, foi definido o estágio de regeneração, conforme a Resolução CONAMA nº 01, de 31 de janeiro de 1994, que estabelece os estágios sucessionais.

Foi considerado um raio de 50 metros, faixa mínima exigida por lei para Áreas de Preservação Permanente (APP). Em cada nascente, foi realizado um levantamento parcial dos indivíduos arbustivo-arbóreos vivos com diâmetro à altura do peito (DAP)  $\geq 5,0$  cm a 1,30 m do solo. Os indivíduos foram registrados com nome popular, DAP e altura total (Freire, 2019).

Também foi realizada uma análise do dossel, considerando que a abertura de clareiras provoca alterações estruturais e descontinuidades florestais (Yamada, 2014). A identificação

das variações na cobertura florestal foi feita por fotointerpretação, baseada em atributos como forma, tamanho, padrões de arranjo espacial, tonalidade, textura e localização (Mello, 2012). Esses parâmetros permitiram identificar variações de continuidade e descontinuidade do dossel, modificações estruturais associadas a estágios sucessionais e presença de espécies emergentes, caracterizando indiretamente a integridade ambiental dos fragmentos florestais (Toppa, 2021).

Com base nesses parâmetros, foi atribuída uma pontuação de 1 a 5 para a integridade do dossel. Fragmentos com pontuação 1 indicam integridade muito alta (ausência de clareiras, maior rugosidade na textura e cobertura arbórea uniforme), enquanto os de pontuação 5 representam integridade muito baixa (Toppa, 2021).

A presença humana foi considerada quando houver uso direto do recurso hídrico (bombas de captação, irrigação, consumo), vestígios de atividades antrópicas, trilhas ou pessoas observadas em um raio de 50 metros. Na ausência desses indicadores, foi considerada ausente.

Quanto à presença de animais, foram observados bebedouros, pegadas, sons, fezes ou ossadas em um raio de 50 metros. Quando nada foi encontrado, considerou-se ausente. Destacou-se que animais silvestres, por utilizarem esse recurso em seu habitat natural, mesmo em locais de difícil acesso, foram considerados indicadores de boa qualidade ambiental. Animais domésticos possuem baixo potencial de degradação, enquanto o gado representa maior impacto, devido ao pisoteio e compactação do solo nas nascentes.

Durante a vistoria, foi verificado se há cercas limitando o acesso de animais e pessoas. Caso a nascente sirva como bebedouro, foi avaliado o tipo de acesso (animal ou humano), conforme permitido pela Lei nº 12.651/2012, que assegura o acesso à água.

Também foi observada a proximidade de residências ou estabelecimentos, medindo-se a distância mínima de intervenções em relação às nascentes. De acordo com o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), a faixa mínima de preservação é de 50 metros. Assim, os dados foram anotados conforme os critérios:

- Presente: menos de 50 m;
- Intermediário: entre 50 e 100 m;
- Ausente: mais de 100 m.

### 3.6 Análise de dados

A análise dos dados foi realizada com base na metodologia proposta por Felipe e Magalhães Junior (2013), a qual utiliza um conjunto de critérios previamente definidos (Apêndice 1) para avaliar o estado de conservação das nascentes. Cada critério foi classificado em três categorias: presente, intermediário ou ausente, às quais foram atribuídos valores numéricos de 1, 2 e 3, respectivamente, de acordo com a condição observada em campo.

A partir dessa atribuição de valores, obteve-se uma pontuação total para cada nascente avaliada, variando de 12 pontos, correspondente à situação mais favorável, em que todos os critérios foram classificados como presentes, até 36 pontos, representando a condição mais crítica, na qual todos os critérios foram considerados ausentes (Felipe; Magalhães Junior, 2013). Dessa forma, quanto maior a pontuação final, pior é o estado de conservação da nascente.

Após a realização das coletas de dados e das visitas técnicas, as informações obtidas foram organizadas, armazenadas e processadas conforme o procedimento metodológico descrito anteriormente. Esse tratamento dos dados permitiu mensurar individualmente a condição de cada nascente e, de forma integrada, avaliar a situação das microbacias hidrográficas nas quais essas nascentes estão inseridas.

A análise dos dados foi realizada com base na metodologia proposta por Felipe e Magalhães Junior (2013), a qual utiliza um conjunto de critérios previamente definidos (Apêndice 1) para avaliar o estado de conservação das nascentes. Cada critério foi classificado em três categorias - presente, intermediário ou ausente - às quais foram atribuídos valores numéricos de 1, 2 e 3, respectivamente, de acordo com a condição observada em campo.

A partir dessa atribuição de valores, foi calculada uma pontuação total para cada nascente avaliada, permitindo sua classificação quanto ao estado de conservação. As informações coletadas em campo foram organizadas, armazenadas e processadas conforme os procedimentos metodológicos descritos anteriormente.

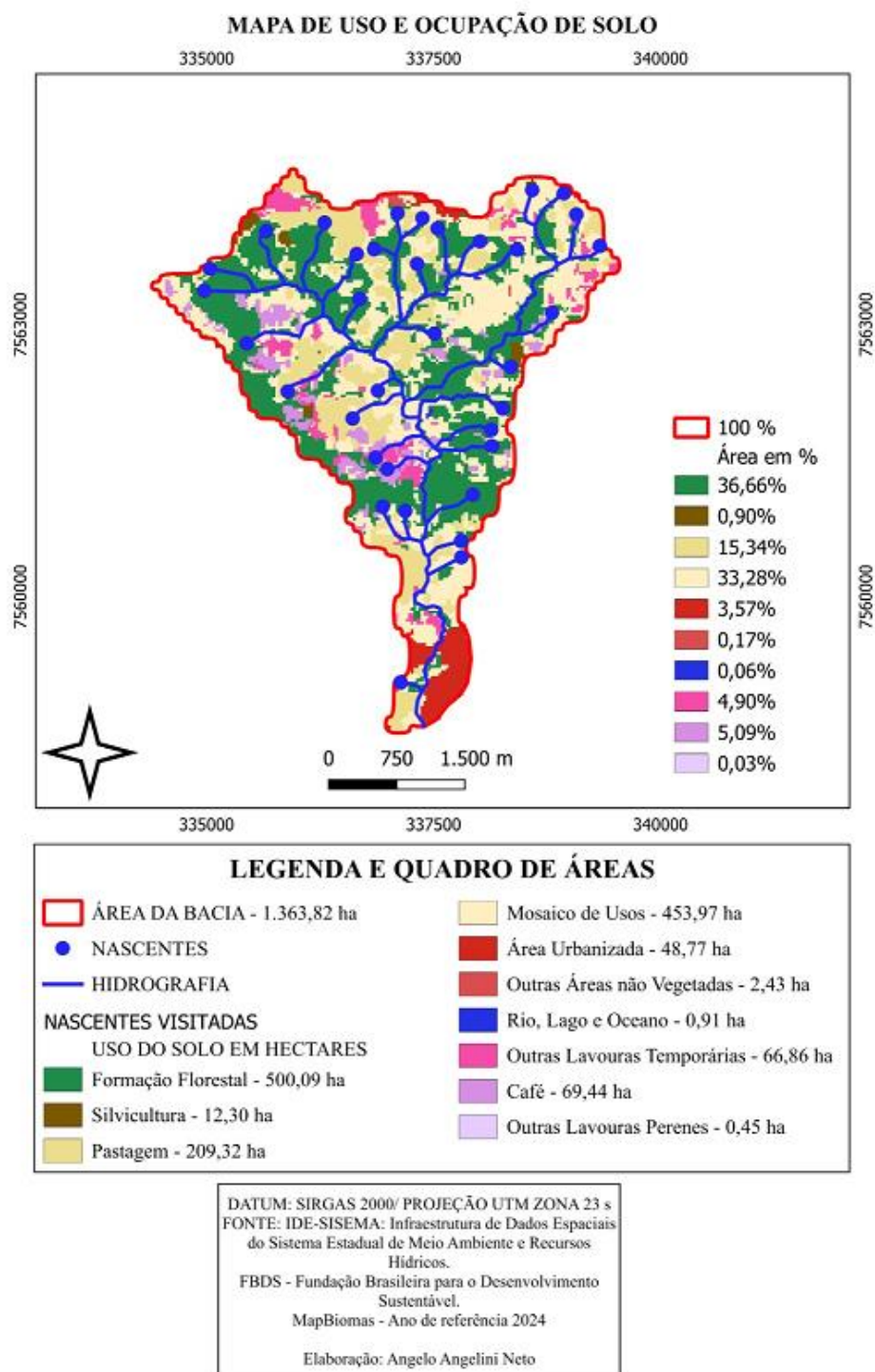
As coletas ocorreram nos meses de setembro e outubro de 2025 e os dados obtidos nessas análises serviram, ainda, como subsídio para a elaboração de um laudo técnico, no qual foram propostas medidas de mitigação, reparação e recuperação das nascentes, com foco na melhoria da qualidade ambiental e hídrica da área de estudo.

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Caracterização do uso e cobertura da bacia: situação hidrológica e integridade ambiental**

A Figura 3 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Caracol, permitindo visualizar a distribuição espacial das diferentes classes de cobertura da terra, bem como a localização das nascentes e da rede hidrográfica. Esse mapeamento constitui um elemento central para a compreensão das dinâmicas ambientais da área estudada, evidenciando padrões de vegetação, expansões antrópicas, áreas produtivas e fragmentos florestais remanescentes. A representação espacial dessas informações possibilita identificar os principais usos predominantes, compreender sua relação com o relevo e a hidrografia, além de subsidiar a análise dos impactos ambientais associados às intervenções humanas na bacia.

Figura 3: Uso e ocupação do solo da bacia do Ribeirão do Caracol



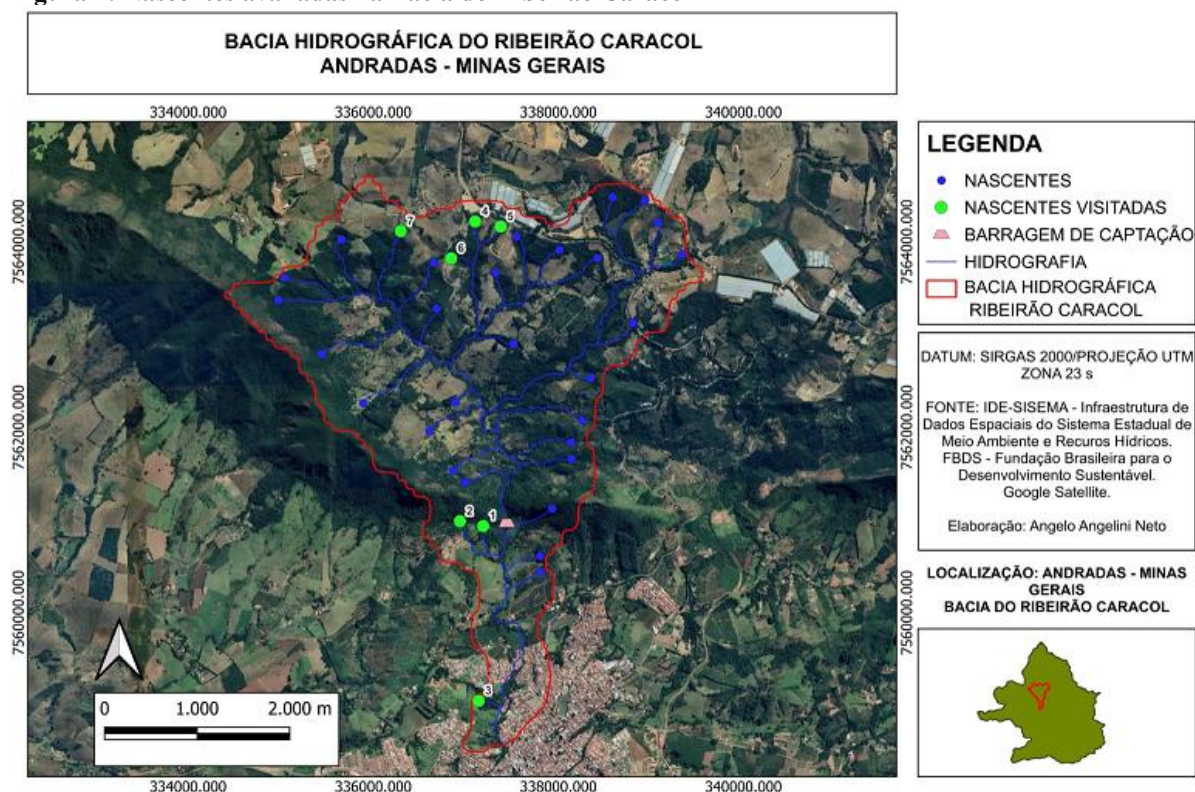
Fonte: IDE-SISEMA e QGIS 3.32.2.

A quantificação das classes de uso e cobertura da terra indicou que a bacia possui área total de 1.363,82 ha. As classes predominantes foram formação florestal (500,09 ha; 36,7%), mosaico de usos (453,97 ha; 33,3%) e pastagem (209,32 ha; 15,3%), totalizando aproximadamente 85,3% da área da bacia. As demais classes (p.ex., silvicultura, áreas

urbanizadas, café e outras lavouras) compõem os 14,7% restantes, evidenciando a presença de usos antrópicos distribuídos em porções específicas do território.

Foram avaliadas sete nascentes (S1 a S7) localizadas na bacia hidrográfica do Ribeirão do Caracol, no município de Andradas (MG) (Figura 4). Embora registros históricos indiquem fluxo perene em todas elas, três nascentes (S4, S5 e S7) não apresentaram descarga em nenhum dos períodos amostrados, estação chuvosa (outubro/2024) e seca (junho/2025).

**Figura 4: Nascentes avaliadas na Bacia do Ribeirão Caracol**



Fonte: IDE-SISEMA e QGIS 3.32.2.

Essas nascentes, situadas nas porções de cabeceira da bacia, possuem elevada relevância eco-hidrológica, pois contribuem para a manutenção das vazões de base e iniciação dos processos hidrológicos a jusante (Cantonati et al., 2021; Viviroli et al., 2007). A ausência de fluxo nesses pontos indica possível comprometimento das zonas de recarga e redução da conectividade subterrânea.

As nascentes S1, S2 e S3, localizadas nas áreas mais baixas, apresentaram descarga contínua, embora de baixa intensidade, permitindo a avaliação macroscópica completa. Já a nascente S6 exibiu comportamento intermitente, sem fluxo durante a estação chuvosa e com baixa descarga no período seco, um padrão atípico que sugere escoamento subterrâneo

retardado ou alterações locais no lençol freático, possivelmente associadas a compactação do solo ou interferência antrópica indireta. As Figuras 5 à 10 ilustram as nascentes visitadas, contribuindo para a análise e possíveis ações de conservação.

**Figura 5: Nascente 1 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG (Afloramento do solo)**



Fonte: Resultados da pesquisa (2025)

**Figura 6: Nascente 2 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG**



Fonte: Resultados da pesquisa (2025)

**Figura 7: Nascente 3 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG**



Fonte: Resultados da pesquisa (2025)

**Figura 8: Nascente 4 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG**



Fonte: Resultados da pesquisa (2025)

**Figura 9: Nascente 5 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG**



Fonte: Resultados da pesquisa (2024)

**Figura 10: Nascente 6 da Bacia Ribeirão do Caracol – Andradas – MG**



Fonte: Resultados da pesquisa (2024)

Os parâmetros de campo permitiram classificar as nascentes quanto à perenidade, tipo de surgência, uso e cobertura do entorno, conforme sintetizado na Tabela 1.

**Tabela 1: Nascentes amostradas na bacia do Ribeirão do Caracol, Andradas – MG.**

| <b>ID</b> | <b>Coordenadas</b>         | <b>Persistência do fluxo</b> | <b>Tipo de nascente</b> | <b>Vazão (chuvosa)</b> | <b>Vazão (seca)</b> | <b>Condições ambientais</b>                         | <b>Uso e cobertura</b>                           | <b>Infraestrutura</b>                |
|-----------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|---|--|--------------------------------------|
| <b>S1</b> | 22°2'58.60"S<br>46°34'40"W | Perene                       | Pontual                 | Baixa<br>0,294 L/s     | –<br>Baixa          | Sem óleo, espuma, esgoto<br>ou materiais flutuantes | Estágio intermediário de<br>floresta             | Estrutura de concreto e<br>tubulação |
| <b>S2</b> | 22°3'4.20"S<br>46°34'44"W  | Perene                       | Difusa                  | Baixa                  | Baixa               | Sem óleo, espuma, esgoto<br>ou materiais flutuantes | Sem vegetação; acesso por<br>gado                | –                                    |
| <b>S3</b> | 22°3'59.10"S<br>46°34'37"W | Perene                       | Pontual                 | Baixa                  | Baixa               | Sem óleo, espuma, esgoto<br>ou materiais flutuantes | Vegetação intermediária;<br>influência antrópica | Caixa d'água                         |
| <b>S4</b> | 22°1'8.62"S<br>46°34'41"W  | –                            | –                       | Ausente                | Ausente             | Sem óleo, espuma, esgoto<br>ou materiais flutuantes | Vegetação intermediária;<br>influência antrópica | –                                    |
| <b>S5</b> | 22°1'10.50"S<br>46°34'32"W | –                            | –                       | Ausente                | Ausente             | Sem óleo, espuma, esgoto<br>ou materiais flutuantes | Vegetação intermediária;<br>influência antrópica | –                                    |
| <b>S6</b> | 22°1'21.47"S<br>46°34'50"W | Intermitente                 | Pontual                 | Ausente                | Baixa               | Sem óleo, espuma, esgoto<br>ou materiais flutuantes | Vegetação intermediária;<br>influência antrópica | –                                    |
| <b>S7</b> | 22°1'11.73"S<br>46°35'9"W  | –                            | –                       | Ausente                | Ausente             | Sem óleo, espuma, esgoto<br>ou materiais flutuantes | Vegetação intermediária;<br>influência antrópica | –                                    |

Fonte: Resultados da pesquisa (2024)

Para interpretação do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN), considera-se que a pontuação total pode variar de 12 pontos (condição mais favorável, com critérios predominantemente classificados como “presente”) a 36 pontos (condição mais crítica, com critérios predominantemente “ausentes”), de modo que pontuações mais elevadas indicam maior comprometimento ambiental.

A classificação final das nascentes, baseada no IIAN, indicou condições variáveis entre os pontos amostrados. Apenas uma nascente (S6) foi enquadrada como “Excelente”, enquanto as demais oscilaram entre “Boa” e “Regular”, conforme demonstrado na Tabela 2.

**Tabela 2: Classificação das nascentes segundo a pontuação total**

| <b>Nascente</b> | <b>Pontuação total</b> | <b>Classificação</b> |
|-----------------|------------------------|----------------------|
| <b>S1</b>       | 33                     | B – Boa              |
| <b>S2</b>       | 27                     | C – Regular          |
| <b>S3</b>       | 27                     | C – Regular          |
| <b>S6</b>       | 35                     | A – Excelente        |

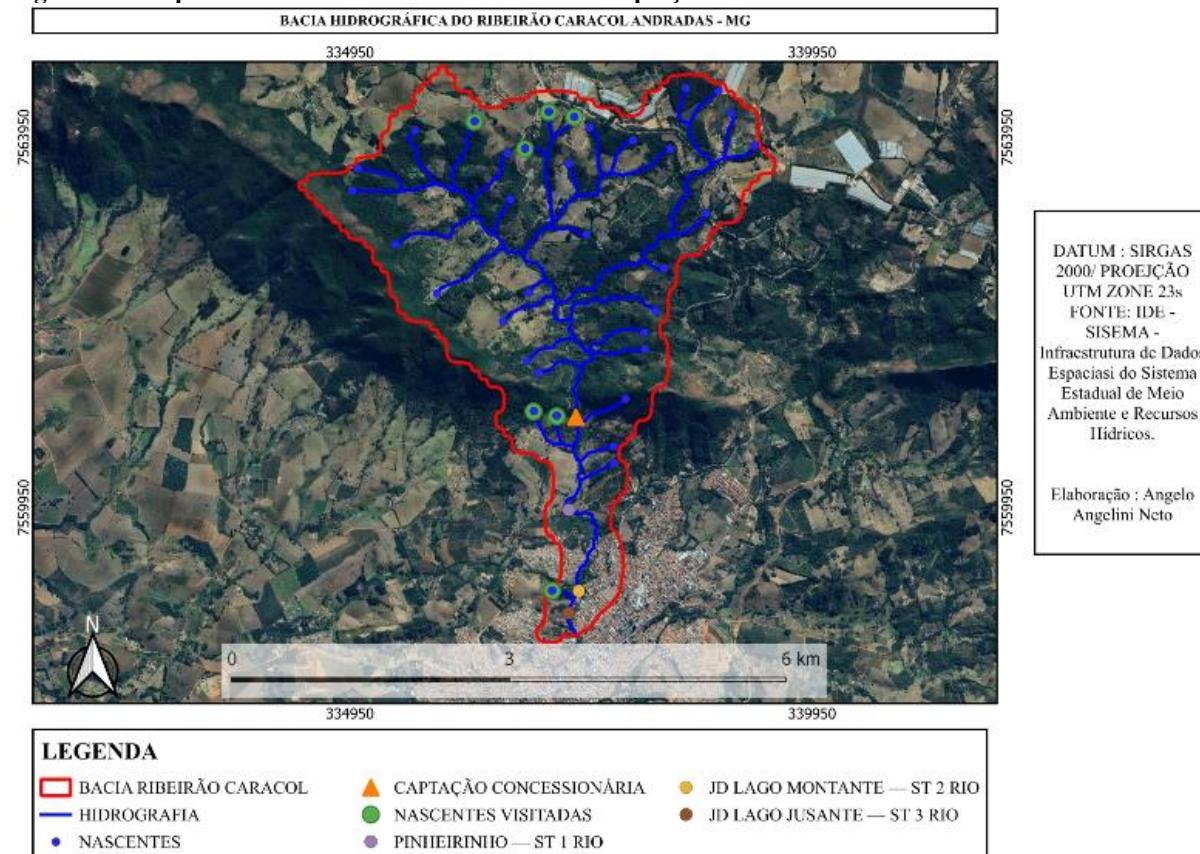
Fonte: Resultados da pesquisa (2024)

De modo geral, os resultados apontam um gradiente de degradação ambiental relacionado à posição na paisagem e ao uso do solo, com nascentes de cabeceira mais vulneráveis à perda de recarga e pontos urbanos (como S3) mais expostos à contaminação e interferência antrópica direta.

#### **4.2 Qualidade da água do ribeirão e implicações para a vazão ecológica**

A Figura 11 ilustra a localização dos pontos de amostragem e do exutório da bacia, destacando o ponto de captação da concessionária municipal, situado na porção intermediária do curso d’água.

**Figura 11: Mapa da Bacia com Exutório e Ponto de Captação da Concessionária**



Fonte: Resultados da pesquisa (2024)

Os pontos de monitoramento foram definidos da seguinte forma: ST1, localizado a montante, a jusante das nascentes rurais; ST2, situado a montante do Jardim do Lago, correspondente ao ponto de captação da concessionária municipal; e ST3, localizado a jusante do Jardim do Lago, após a única nascente urbana identificada na área de estudo.

O ponto ST2, correspondente à captação municipal, apresentou condições críticas, com baixo oxigênio dissolvido ( $OD = 1,50 \text{ mg/L}$ ) e alta demanda bioquímica de oxigênio ( $DBO_5 = 17,76 \text{ mg/L}$ ), indicadores típicos de carga orgânica elevada e possível lançamento de efluentes domésticos.

Em contrapartida, o ponto ST1, localizado em área rural bem vegetada, apresentou boa oxigenação ( $OD = 7,10 \text{ mg/L}$ ) e baixa  $DBO_5 (< 2,00 \text{ mg/L})$ , refletindo menor influência antrópica. O ponto ST3, situado a jusante, demonstrou recuperação parcial ( $OD = 5,10 \text{ mg/L}$ ;  $DBO_5 = 8,48 \text{ mg/L}$ ), indicando capacidade de autodepuração fluvial, ainda que limitada.

Os valores obtidos estão sintetizados na Tabela 5, que apresenta os principais parâmetros físico-químicos determinados nas campanhas de setembro e outubro de 2025.

**Tabela 3: Análises de qualidade da água do Ribeirão do Caracol e nascentes associadas (2024–2025)**

| Data da coleta | Ponto (ID) | Localidade                               | pH   | Turbidez (NTU) | Cor aparente (mg PtCo/L) | OD (mg L <sup>-1</sup> ) | DBO <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) | Coliformes Totais (UFC/100 mL) | E. coli (UFC/100 mL) | Classe de qualidade* | Observações principais                                   |
|----------------|------------|--|------|----------------|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------------|----------------------|----------------------|--|
| 29/10/2024     | ST1        | Pinheirinho (montante)                   | 7,05 | 80,0           | 200                      | —                        | —                                      | 175                            | 67                   | IV                   | Alta turbidez e coliformes; influência antrópica pontual |
| 09/06/2025     | ST2        | Jardim do Lago (água potável – captação) | 6,87 | 3,75           | <5,0                     | —                        | —                                      | 380                            | 55                   | II                   | Boa potabilidade geral; presença bacteriológica isolada  |
| 09/06/2025     | ST1        | Pinheirinho (montante)                   | —    | —              | —                        | 7,10                     | < 2,00                                 | —                              | —                    | II                   | Boa oxigenação; baixa carga orgânica                     |
| 09/06/2025     | ST2        | Jardim do Lago (captação)                | —    | —              | —                        | 1,50                     | 17,76                                  | —                              | —                    | IV                   | OD crítico; alta carga orgânica                          |
| 09/06/2025     | ST3        | Jardim do Lago (jusante)                 | —    | —              | —                        | 5,10                     | 8,48                                   | —                              | —                    | III                  | Leve recuperação a jusante                               |
| 30/09/2025     | ST1        | Pinheirinho (montante)                   | 7,3  | 2,4            | —                        | 4,21                     | < 2,00                                 | —                              | —                    | II                   | Condições satisfatórias; leve redução de OD              |
| 30/09/2025     | ST2        | Jardim do Lago (captação)                | 6,1  | 13,8           | —                        | 1,35                     | 13,58                                  | —                              | —                    | IV                   | Elevada DBO <sub>5</sub> ; provável aporte de esgoto     |
| 30/09/2025     | ST3        | Jardim do Lago (jusante)                 | 7,0  | 9,2            | —                        | < 1,00                   | 9,64                                   | —                              | —                    | IV                   | Forte depleção de OD; poluição orgânica intensa          |
| 27/10/2025     | ST1        | Pinheirinho (montante)                   | 7,3  | 2,0            | —                        | 5,20                     | < 2,00                                 | —                              | —                    | II                   | Melhoria na oxigenação                                   |
| 27/10/2025     | ST2        | Jardim do Lago (captação)                | 6,2  | 11,6           | —                        | 3,50                     | 24,07                                  | —                              | —                    | IV                   | Persistência de DBO alta; influência antrópica direta    |
| 27/10/2025     | ST3        | Jardim do Lago (jusante)                 | 6,9  | 8,5            | —                        | 2,90                     | 12,35                                  | —                              | —                    | IV                   | Baixo OD; autodepuração parcial                          |

Fonte: Resultados da pesquisa (2024)

De forma sintética, os resultados indicaram que o ST1 apresentou a melhor qualidade da água, com elevados teores de oxigênio dissolvido e baixos valores de DBO<sub>5</sub>. O ST2 apresentou os piores resultados, com oxigênio dissolvido variando entre 1,3 e 3,5 mg/L e DBO<sub>5</sub> atingindo valores de até 24 mg/L. O ST3 apresentou recuperação parcial, com melhora em relação ao ponto de captação, porém mantendo valores elevados de DBO<sub>5</sub>, indicativos de comprometimento da qualidade da água.

As análises físico-químicas e microbiológicas realizadas entre outubro de 2024 e outubro de 2025 evidenciam um padrão de degradação progressiva da qualidade da água no sentido montante-jusante, refletindo o aumento das pressões antrópicas ao longo do curso do Ribeirão do Caracol.

O ponto ST1, localizado na área rural de Pinheirinho, apresentou as melhores condições ambientais durante todo o período de monitoramento, com valores de oxigênio dissolvido (OD) entre 4,2 e 7,1 mg/L e DBO<sub>5</sub> inferior a 2,0 mg/L, indicando águas bem oxigenadas e baixa carga orgânica. Essa condição reflete a predominância de vegetação natural e o reduzido impacto antrópico direto sobre o curso d'água.

No trecho intermediário (ST2), correspondente ao ponto de captação da concessionária municipal, observou-se acentuada deterioração da qualidade, com OD variando entre 1,3 e 3,5 mg/L e DBO<sub>5</sub> atingindo até 24,07 mg/L. Esses valores ultrapassam os limites estabelecidos para corpos d'água de Classe II pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM–CERH/MG nº 8/2022, e indicam forte aporte de matéria orgânica biodegradável, provavelmente associado ao escoamento urbano e à descarga de efluentes domésticos sem tratamento adequado. Essa condição compromete a vazão ecológica mínima, prevista pela Portaria IGAM nº 48/2019, e impacta diretamente o equilíbrio ecológico e a potabilidade da água destinada ao abastecimento público.

O ponto ST3, situado a jusante, apresentou melhoria parcial dos parâmetros, com OD entre 2,9 e 5,1 mg/L e DBO<sub>5</sub> reduzida em relação ao trecho de captação, o que sugere processos naturais de autodepuração e diluição do material orgânico. No entanto, a persistência de DBO<sub>5</sub> elevada (acima de 8 mg/L) e o baixo teor de oxigênio indicam recuperação limitada, insuficiente para restabelecer a qualidade original da água.

As análises bacteriológicas de 2024 e 2025, realizadas nas amostras associadas às nascentes e à água potável, corroboram o diagnóstico físico-químico. Foi detectada a presença de coliformes totais e *E. coli* em amostras de montante e captação, refletindo contaminação difusa e risco potencial à saúde pública.

Esse comportamento evidencia a existência de um gradiente crescente de impacto ambiental, no sentido montante → captação → jusante, refletindo o aumento das pressões antrópicas ao longo do curso do Ribeirão do Caracol.

De modo geral, o contraste entre ST1 (montante rural conservado) e ST2 (trecho urbano e de captação) confirma o impacto direto das atividades urbanas, da ocupação desordenada e da captação integral do curso d'água sobre a qualidade e a disponibilidade hídrica.

A outorga de captação do Ribeirão do Caracol é de 34 L/s, operando de forma contínua, durante 24 horas por dia. A vazão disponível estimada para o curso d'água é de 36,013 L/s, segundo dados do IDE-SISEMA, e de 70,06 L/s, conforme informações do IGAM.

A presença de 28 nascentes a jusante da captação reforça seu papel ecológico estratégico, contribuindo para a recomposição da vazão e manutenção da integridade ambiental do Ribeirão do Caracol, sobretudo durante o período seco, quando a contribuição base das nascentes torna-se essencial para o fluxo permanente.

## 5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a bacia hidrográfica do Ribeirão do Caracol apresenta marcada heterogeneidade ambiental e hidrológica, resultante da interação entre o uso e a cobertura do solo, as características geológicas e as pressões antrópicas. A ocorrência de nascentes secas (S4, S5 e S7) em áreas de cabeceira ainda recobertas por vegetação nativa evidencia que a perenidade hídrica não depende exclusivamente da cobertura florestal, mas também das propriedades estruturais do solo e da recarga subterrânea (Bonell; Bruijnzeel, 2005; Hayashi; Rosenberry, 2002).

Nesse contexto, destaca-se que as nascentes representam a interface entre o sistema subterrâneo e o sistema superficial, sendo sua perenidade condicionada principalmente aos processos de recarga, armazenamento e liberação da água subterrânea, enquanto a qualidade da água no curso d'água reflete processos adicionais que ocorrem ao longo do escoamento superficial.

Essa constatação reforça a importância de compreender o funcionamento hidrogeológico local para além da análise da vegetação aparente. Nesse sentido, Pereira et al. (2023) destacam que o fortalecimento da gestão participativa e a inserção da educação ambiental são estratégias fundamentais para reduzir as pressões antrópicas sobre as bacias hidrográficas, sobretudo em contextos rurais e urbanos de pequena escala, como o de Andradas (MG).

As nascentes localizadas em zonas urbanas e periurbanas (S2 e S3) apresentaram sinais claros de degradação ambiental, com ausência de vegetação ripária e evidências de uso antrópico direto, como acesso de gado e estruturas de captação. Esses fatores contribuem para o aumento do escoamento superficial e para a redução da infiltração no entorno imediato das nascentes, comprometendo a recarga dos aquíferos e a manutenção da vazão de base (Price et al., 2015; Wu et al., 2021). Souza (2018) observou fenômenos semelhantes em nascentes urbanas de pequeno porte, onde a impermeabilização, a deposição de resíduos e a proximidade de edificações reduzem significativamente a qualidade da água e a estabilidade do fluxo.

No que se refere ao sistema fluvial superficial, a análise dos pontos de monitoramento evidenciou contrastes marcantes ao longo do curso do Ribeirão do Caracol. O ponto ST2, correspondente à captação da concessionária municipal, apresentou-se como o mais crítico da bacia, com valores de oxigênio dissolvido variando entre 1,3 e 3,5 mg/L e demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>) superiores a 20 mg/L nas coletas de 2025. Tais condições caracterizam

um quadro de poluição orgânica intensa e incompatível com os limites estabelecidos para corpos d'água de Classe II pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Além disso, os resultados indicam o não atendimento à Portaria IGAM nº 48/2019, que determina a manutenção de pelo menos 50% da vazão de referência Q7,10 para garantir o equilíbrio ecológico. A captação integral do curso d'água durante o período seco de 2025 agravou a vulnerabilidade ecológica, comprometendo o equilíbrio biogeoquímico e reduzindo a capacidade de autodepuração natural do ribeirão. Tonello et al. (2006) e Oliveira e Vestena (2013) apontam que índices de impacto ambiental em nascentes são instrumentos eficazes para diagnosticar a magnitude da degradação e hierarquizar áreas prioritárias de conservação - aplicabilidade que se confirma na utilização do EIIS neste estudo.

Do ponto de vista da gestão hídrica municipal, a integração entre o diagnóstico das nascentes e os resultados de IAN permite interpretar o desempenho ambiental da bacia de forma sistêmica. Essa relação ocorre de forma indireta, uma vez que as nascentes influenciam principalmente a manutenção da vazão de base e a estabilidade hidrológica, enquanto a qualidade da água nos pontos de captação resulta da interação entre esses aportes e as pressões exercidas ao longo do curso d'água. Em microbacias que contribuem diretamente para a captação e o tratamento de água, a ocorrência de nascentes com condições classificadas como regulares a críticas tende a se refletir em pior qualidade da água nos trechos de tomada, pois a degradação local (perda de proteção ripária, compactação do solo, alterações na recarga e aporte difuso) compromete a estabilidade da vazão de base e aumenta a vulnerabilidade do sistema a cargas orgânicas e contaminação. Assim, os resultados observados no trecho de captação (ST2) reforçam que a qualidade da água captada não depende apenas do ponto de coleta, mas do planejamento e manejo de toda a microbacia contribuinte, com ênfase nas áreas de nascente e recarga.

A montante, o ponto ST1 apresentou as melhores condições de qualidade, com oxigenação adequada (OD acima de 7 mg/L) e baixas concentrações de matéria orgânica (DBO<sub>5</sub> inferior a 2 mg/L), refletindo o predomínio de áreas com vegetação e baixa influência antrópica. Esses resultados refletem o comportamento do sistema superficial, condicionado pelas contribuições das nascentes, mas também por processos de diluição, autodepuração e intervenções antrópicas ao longo do canal. Já o ponto ST3, localizado a jusante, demonstrou leve recuperação nos parâmetros (OD de até 5 mg/L), indicando a ocorrência de processos naturais de diluição e autodepuração. No entanto, essa melhora foi parcial, mostrando que a resiliência do sistema é limitada frente às pressões exercidas no trecho intermediário. Leal et al. (2017) ressaltam que as áreas de cabeceira são particularmente sensíveis à compactação e

ao manejo inadequado do solo, o que pode comprometer tanto a recarga hídrica quanto a qualidade ambiental, observação coerente com a vulnerabilidade registrada na porção superior da bacia.

As 28 nascentes identificadas a jusante da captação municipal cumprem papel estratégico na recomposição da vazão mínima ambiental, especialmente nos períodos de estiagem, quando o fluxo hídrico é sustentado quase integralmente pelas descargas subterrâneas. A conservação dessas nascentes é, portanto, essencial para garantir a continuidade do abastecimento, a manutenção da vazão ecológica e a proteção da biodiversidade aquática. As nascentes funcionam como nós hidrológicos fundamentais, que mantêm a conectividade entre os compartimentos superficiais e subterrâneos do sistema hídrico e asseguram a integridade dos ecossistemas a jusante (Gomi et al., 2002; Cantonati et al., 2021). Essa contribuição ocorre predominantemente em termos quantitativos e hidrológicos, associada à manutenção da vazão ecológica, e não à melhoria direta dos parâmetros de qualidade da água superficial.

Os resultados e observações de campo permitem concluir que a preservação da vegetação ripária constitui uma condição necessária, porém não suficiente, para assegurar a perenidade das nascentes e a estabilidade hidrológica da bacia. Nesse sentido, as ações de manejo devem considerar dois níveis complementares: a proteção das nascentes e das zonas de recarga, voltada à sustentabilidade do sistema subterrâneo, e a recuperação dos trechos fluviais, direcionada à melhoria da qualidade da água superficial. Torna-se indispensável que o planejamento integrado das bacias hidrográficas inclua ações voltadas ao controle das captações, à proteção das zonas de recarga e ao manejo adequado dos efluentes urbanos e rurais. Além disso, o monitoramento contínuo das nascentes e dos pontos de captação deve ser incorporado às políticas públicas municipais de gestão ambiental e de saneamento, com prioridade para as áreas de maior vulnerabilidade hídrica. Esse enfoque converge com Schussel e Nascimento Neto (2015), que defendem a descentralização e a gestão municipal das bacias como caminho para a efetividade da governança hídrica.

Além da interpretação científica, os dados gerados neste estudo subsidiam a elaboração de laudo técnico orientado à tomada de decisão, com proposição de medidas de mitigação, reparação e recuperação das nascentes e trechos associados. Esse encaminhamento é particularmente relevante para priorização de intervenções (por exemplo, proteção física, recomposição de vegetação ripária, controle de acesso de animais, manejo de drenagem superficial e redução de cargas orgânicas) e para apoiar ações articuladas entre poder público, proprietários e concessionária responsável pela captação.

Essas medidas, associadas à participação comunitária e à aplicação efetiva dos instrumentos legais, são fundamentais para garantir a conservação hídrica e ecológica do Ribeirão do Caracol em longo prazo. Elas reforçam a necessidade de reconhecer o Ribeirão do Caracol como uma unidade de gestão ambiental prioritária, integrando instrumentos legais, científicos e comunitários. A adoção de práticas de conservação e manejo sustentável permitirá assegurar a segurança hídrica e a resiliência ecológica da bacia, consolidando um modelo de gestão que valorize o equilíbrio entre os usos humanos e a manutenção dos processos naturais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo alcançou plenamente o objetivo geral avaliar a relação entre o estado de conservação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Caracol e a sustentabilidade hídrica local, considerando a qualidade da água superficial como um de seus principais componentes, demonstrando como os usos do solo, a integridade das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e as condições ambientais das nascentes influenciam diretamente a sustentabilidade hídrica local. Os objetivos específicos também foram atendidos, ao analisar o uso e cobertura do solo, caracterizar as condições físico-ambientais das nascentes, aplicar índices de impacto (IIAN) aplicado às nascentes, integrar os padrões espaciais de uso do solo às condições hidrológicas e propor diretrizes de manejo adequadas ao cenário observado.

Com base no mapeamento de uso e ocupação da bacia, verificou-se que o mosaico de usos constitui a classe predominante, seguido pela formação florestal e pelas áreas de pastagem. Essa configuração reflete uma paisagem fragmentada e sujeita a transições rápidas entre vegetação nativa, áreas agrícolas, pastagens e zonas periurbanas. A distribuição do uso do solo influenciou diretamente as características ecohidrológicas das nascentes. Embora a maior parte das APPs analisadas apresentasse cobertura vegetal, geralmente em estágio intermediário, uma nascente localizada na bacia intermediária mostrou-se completamente desprovida de vegetação e com acesso direto de gado, configurando um ponto de maior vulnerabilidade ambiental e hidrológica.

A caracterização das sete nascentes avaliadas confirmou a influência do uso do solo sobre a dinâmica hídrica local. As nascentes S1, S2 e S3 mantiveram fluxo perene nos períodos de coleta, embora com vazões muito baixas na estação chuvosa e na seca. Por outro lado, três nascentes de cabeceira (S4, S5 e S7) não apresentaram qualquer fluxo, indicando possível comprometimento de recarga subterrânea ou alterações físicas nos pontos de surgência. A nascente S6 se destacou por apresentar comportamento intermitente, com ausência de vazão na estação chuvosa e fluxo baixo na seca, mas foi a única classificada como “Excelente” no Índice de Impacto Ambiental em Nascentes, sugerindo melhor integridade ambiental no entorno imediato.

As condições ambientais observadas foram relativamente homogêneas, com todas as nascentes apresentando ausência de óleo, espuma, esgoto ou materiais flutuantes. Contudo, o uso e cobertura do entorno variaram de forma significativa. A nascente S1 encontrava-se em área com vegetação em estágio intermediário e apresentava estrutura de concreto e tubulação,

sinalizando intervenção antrópica direta. A nascente S2 foi a única sem vegetação na APP, com presença de gado e compactação do solo. A nascente S3 apresentava vegetação intermediária, porém com caixa d'água instalada, evidenciando uso doméstico do recurso. As demais nascentes (S4, S5, S6 e S7) estavam associadas a vegetação intermediária, todas com sinais de influência antrópica, ainda que sem estruturas físicas diretamente instaladas.

A aplicação do IIAN refletiu essas diferenças ambientais. Ressalta-se que o IIAN avalia exclusivamente as condições ambientais das nascentes, enquanto a qualidade da água nos pontos ST1, ST2 e ST3 reflete o comportamento do sistema fluvial superficial, sendo influenciada de forma indireta pelas nascentes por meio da manutenção da vazão de base e da estabilidade hidrológica. A nascente S6 obteve a classificação “Excelente”, enquanto S1 foi classificada como “Boa” e S2 e S3, ambas influenciadas por ausência de vegetação ou pressão urbana, foram classificadas como “Regulares”. As nascentes que não apresentaram fluxo não puderam ser classificadas, mas sua condição expressa agravamento das pressões sobre as zonas de recarga.

Ao relacionar essas informações com a qualidade da água nos pontos ST1, ST2 e ST3, observou-se coerência entre o grau de conservação ambiental das áreas de nascente e os padrões físico-químicos do curso d'água, mediada pela contribuição das nascentes para a vazão de base e pela dinâmica de uso do solo ao longo da bacia. O ponto ST1 apresentou boa oxigenação e baixa carga orgânica, refletindo as condições preservadas do entorno. O ponto ST2, localizado na captação municipal, apresentou valores críticos de oxigênio e altas concentrações de DBO<sub>5</sub>, evidenciando forte impacto urbano e redução da vazão ecológica. O ponto ST3 mostrou recuperação parcial, mas não suficiente para atingir os padrões de qualidade observados a montante, demonstrando a persistência de cargas orgânicas no sistema.

Dessa forma, o estudo evidenciou com clareza que a perenidade e a qualidade ambiental das nascentes estão diretamente relacionadas à conservação da vegetação na APP, à ausência de infraestruturas e ao tipo de uso do solo no entorno. As nascentes situadas em áreas com vegetação mais íntegra apresentaram melhores condições ambientais e maior estabilidade hídrica, enquanto aquelas sob influência antrópica, como a nascente urbana S3 e a nascente sem vegetação S2, apresentaram maior vulnerabilidade. Essa constatação permitiu atender ao objetivo de analisar a influência do uso e cobertura do solo sobre as condições hidrológicas e ambientais das nascentes.

Por fim, os resultados demonstram a relevância do estudo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente o ODS 6, ao tratar da disponibilidade hídrica e da qualidade da água; o ODS 15, ao analisar a condição da vegetação e das APPs; o

ODS 11, ao evidenciar problemas de ocupação urbana associados à nascente S3; e o ODS 13, ao reforçar a relação entre conservação do solo, resiliência hídrica e vulnerabilidade ambiental. Conclui-se que a manutenção da vegetação nativa, o manejo adequado das APPs e o controle das pressões antrópicas sobre as nascentes são medidas essenciais para garantir a continuidade dos processos ecohidrológicos e a segurança hídrica da bacia do Ribeirão do Caracol em longo prazo.

## REFERÊNCIAS

BERNARDO, J.M. Definição de caudais ecológicos em cursos de água de regime mediterrânico? Algumas reflexões de um biólogo. In: **Anais do 3º Congresso da Água**, Vol.III, 545-550, Lisboa, Portugal. 1996.

BEVILACQUA, A.F.A bacia hidrográfica como unidade territorial de Planejamento e desenvolvimento sustentável. In: **VI Encontro Nacional da ANPPAS**. Anais... Belém, 2012.

BONELL, M.; BRUIJNZEEL, L.A. (Eds.). **Forests, water and people in the humid tropics: past, present and future hydrological research for integrated land and water management**. Cambridge: UNESCO/Cambridge University Press, 2005.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e [...]; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm). Acesso em 06 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfda\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf). Acesso em 10 out. 2023.

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de recursos Hídricos. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm). Acesso em 06 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 01, de 31 de janeiro de 1994**. Dispõe sobre definição vegetação primária e secundária nos estágios pioneiro inicial, médio e avançado de regeneração de Mata Atlântica. Disponível em: [goo.gl/ERXXhp](http://goo.gl/ERXXhp). Acesso em 06 jun. 2023.

CALHEIROS, R.O. **Cadernos da Mata Ciliar n. 1: preservação e recuperação das nascentes, de água e vida**. São Paulo: SMA, 2009. 35 p.

CANTONATI, M.; FENSHAM, R.J.; STEVENS, L.E.; GERECKE, R.; GLAZIER, D.S.; GOLDSCHIEDER, N.; KNIGHT, R.L.; RICHARDSON, J.S.; SPRINGER, A.E.; TOCKNER, K. Urgent plea for global protection of springs. **Conservation Biology**, v. 35, n. 1, p. 378–382, 2021.

CARVALHO, T.M. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **RBGF – Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife-PE, v.01, n.01, p. 73-85. Mai/Ago 2008.

- CASTRO, P.S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa, MG: CPT, 2007. 272p.
- CHARLTON, R.O. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. Nova York. ed Routledge. 2008. 275p.
- CIDADE BRASIL. **Município de Votorantim**. 2024. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-votorantim.html>. Acesso em 28 out. 2024.
- COLLISCHONN, W.; AGRA, S.G.; FREITAS, G.K.; PRIANTE, G.R.; TASSI, R.; SOUSA, C.F. Em busca do Hidrograma Ecológico. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 16, 20-24 Nov. 2005, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABRH, 2005.
- CUNHA, B.P.; AUGUSTIN, S. **Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais**. Dados Eletrônicos Caxias do Sul, RS: EducS, 2014. ISBN 978-85-7061-746-0.
- CURY, J.F. **A gestão integrada de Bacias Hidrográficas: a abertura de uma oportunidade para o desenvolvimento sustentável do Alto Paranapanema**. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- FELIPPE, M.F.; **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte-MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais**, 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- FELIPPE, M.F.; MAGALHÃES JUNIOR, A.P. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. **Revista Geografias**, v. 9, n. 1, p. 70–81, 2013.
- FELIPPE, M.F.; MAGALHÃES-JUNIOR, A.P. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte-MG. **Revista Geografias**, v.08, n2, p.07-23. 2008.
- FREIRE, G.S. **Análise de vegetação e solos em áreas de nascentes da sub-bacia hidrográfica do Rio Piauitinga, Sergipe**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. 2019.
- FJP. FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Atlas de Desenvolvimento Humano e Ambiental de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FJP, 2021. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/>. Acesso em 18 out. 2025.
- GOMES, P.M.; MELO, C.; VALE, V.S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.17, p.32, p.103-120. 2005.
- GOMI, T.; SIDLE, R C.; RICHARDSON, J.S. Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. **BioScience**, v. 52, n. 10, p. 905–916, 2002.
- GONDIM, J. **Apresentação na 51ª Reunião da CTAP – Câmara Técnica de Análise de Projetos do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos**. 2006.
- HAYASHI, M.; ROSENBERRY, D.O. Effects of ground water exchange on the hydrology and ecology of surface water. **Ground Water**, v. 40, n. 3, p. 309–316, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Andradas**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/andradas>. Acesso em 18 out. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022: População e Domicílios - Primeiros Resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2022/Populacao\\_e\\_domicilios\\_Primeiros\\_resultados/Resultados\\_da\\_2a\\_apuracao\\_20231027/POP2022\\_Municipios\\_Primeiros\\_Resultados\\_20231222.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2022/Populacao_e_domicilios_Primeiros_resultados/Resultados_da_2a_apuracao_20231027/POP2022_Municipios_Primeiros_Resultados_20231222.pdf). Acesso em 18 out. 2025.

IFC. Instream Flow Council. **Instream Flows for Riverine Resource Stewardship**. Cheyenne, Wyoming. 5400 Bishop Boulevard. 2004. ISBN 0-9716743-1-0.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Resolução nº 1548, de 29 de março 2012**. Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/docs/resolucoes/resolucao-semad-igam-1548.pdf>. Acesso em 06 jun. 2023.

LEAL, M.A.; TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; MINGOTI, R. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Rev. Ambient. Água**, v.12, n.1, p.10. 2017. doi:10.4136/1980-993X.

LIMA, W.P. **Princípios de Hidrologia Florestal para o Manejo de Bacias Hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986. 242p.

MELLO, K. **Análise espacial de remanescentes florestais como subsídio para o estabelecimento de unidades de conservação**. 82 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2012.

MUNICÍPIO DE ANDRADAS (MG). **Inventário de Proteção do Patrimônio Cultural: Ficha 04 – Conjunto Paisagístico da Serra do Caracol**. Andradas: Secretaria Municipal de Agricultura, Meio Ambiente, Desenvolvimento Econômico, Turismo e Cultura, 2020. 282 p. Disponível em: <https://andradas.loci.net.br/wp-content/uploads/2023/05/Conjunto-Paisagistico-da-Serra-do-Caracol-1.pdf>. Acesso em 18 out. 2025.

NACARATTI, R.P.S. **Diagnóstico hidroambiental para incremento da qualidade ambiental no município de Votorantim – SP**. Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESO. 2015.

OLIVEIRA, E.O.; VESTENA, L.R. Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Cascavel, Guarapuava/PR. **Geoinf: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, Maringá, v. 5, n. 2, p. 27–47, 2013. ISSN 2175-862X.

PEREIRA, J.A.; SILVA, M.B.D.C.; JÄHRIG, A.P.; SELL, L.G.; NASCIMENTO, V.; MARTINS, B.R.; BECEGATO, V.A. O papel da educação ambiental na gestão da bacia hidrográfica do Arroio São Lourenço/RS a partir da identificação do uso e ocupação do solo. **Revista Foco**, Curitiba (PR), v.16, n.6, e2118, p.01-17. 2023.

PRICE, M.F.; GRATZER, G.; DUGUMA, L.A.; KÖHLER, T.; MASELLI, D.; ROMEO, R. **Mountain forests in a changing world: realizing values, addressing challenges**. Rome: FAO/MPS and SDC, 2015.

SCHUSSEL, Z.; NASCIMENTO NETO, P. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 137–152, jul./set. 2015.

SOUZA, S.R. **A proteção das nascentes em áreas urbanas consolidadas: dispensável ou necessária missão?** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental da Universidade Federal De São Carlos – campus Sorocaba para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental. 2018.

TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TOPPA, R.H. **Análise ambiental de áreas de interesse para o estabelecimento de unidades de conservação para a proteção dos mananciais do município de Araçoiaba da Serra, Estado de São Paulo**. São Paulo: Editora dos Autores, 2021.

VALENTE, O.F.; GOMES, M.A. **Conservação de nascentes: Hidrologia e Manejo de Bacias Hidrográficas de Cabeceiras**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005.

VIVIROLI, D.; DÜRR, H. H.; MESSERLI, B.; MEYBECK, M.; WEINGARTNER, R. Mountains of the world, water towers for humanity: typology, mapping, and global significance. **Water Resources Research**, v. 43, n. 7, 2007.

WU, J.; JIN, Y.; HAO, Y.; LU, J. Identification of the control factors affecting water quality variation at multi-spatial scales in a headwater watershed. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 11129–11141, 2021.

YAMADA, T. **Técnicas de processamento digital de imagens para análise de integridade do dossel: um modelo em mata semidecídua**. 91f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos. 2014.

# APÊNDICE

## Apêndice 1 – Ficha de campo

| FICHA DE NASCENTE  |                        |                             |                               |
|--|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Número de nascentes  |                        |                             |                               |
| Data da visita   |                        | Local                       |                               |
| Coordenada geográfica  |                        |                             |                               |
| Choveu nos últimos 5 dias?                                       | Sim ( )                |                             | Não ( )                       |
| Tipo de área de inserção   | Informação ausente ( ) | Propriedade privada ( )     | Área protegida ( )            |
| Fluxo de água  | Muito ( )              | Pouco ( )                   | Úmido ( )    Seco ( )         |
| Temperatura  |                        |                             |                               |
| pH   |                        |                             |                               |
| Nascente difusa  | Sim ( )                |                             | Não ( )                       |
| Parâmetros Macroscópios  |                        |                             |                               |
| Pontuação  | Presente (1 ponto)     | Intermediário (2 pontos)    | Ausente (3 pontos)            |
| Coloração  | Leitoso ( )            | Turvo ( )                   | Transparente ( )              |
| Odor da Água   | Análise laboratorial   |                             |                               |
| Presença de resíduo nas Margens (APP)                            | Presente ( )           | Intermediário ( )           | Ausente ( )                   |
| Presença de Materiais Flutuantes na Nascente                     | Presente ( )           | Intermediário ( )           | Ausente ( )                   |
| Espuma   | Presente ( )           | Intermediário ( )           | Ausente ( )                   |
| Óleo   | Presente ( )           | Intermediário ( )           | Ausente ( )                   |
| Esgoto   | Presente ( )           |                             | Ausente ( )                   |
| Estado da Vegetação  | Presente ( )           |                             | Ausente ( )                   |
| Presença Humana  | Presente ( )           |                             | Ausente ( )                   |
| Presença de Animais  | Presente ( )           |                             | Ausente ( )                   |
| *Obs: ( ) Gado/Cavalo ( ) Animais domésticos ( ) Fauna Silvestre |                        |                             |                               |
| Proteção do Local:   | Sem proteção ( )       | Com proteção, acessível ( ) | Com proteção, inacessível ( ) |
| Proximidade com Residência ou estabelecimento                    | Menos de 50m ( )       | Entre 50 e 100m ( )         | Mais de 100m ( )              |