



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**



Daianna Silva Lana

**AVALIAÇÃO DA BALNEABILIDADE DE CORPOS D'ÁGUA DA REGIÃO DE**  
**OURO PRETO**

**OURO PRETO**  
**2024**

Daianna Silva Lana

**AVALIAÇÃO DA BALNEABILIDADE DE CORPOS D'ÁGUA DA REGIÃO DE  
OURO PRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Ambiental da Escola de Minas  
da Universidade Federal de Ouro Preto  
para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Aníbal da Fonseca  
Santiago

Coorientadora: Dra. Grazielle Rocha dos  
Santos

**OURO PRETO**

**2024**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L243a Lana, Daianna Silva.  
Avaliação da balneabilidade de corpos d'água da região de Ouro Preto. [manuscrito] / Daianna Silva Lana. - 2024.  
54 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Anibal da Fonseca Santiago.  
Coorientadora: Dra. Grazielle Rocha dos Santos.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Sustentabilidade. 2. Água - Qualidade. 3. Rios. 4. Coliformes fecais. 5. Escherichia coli. I. Santiago, Anibal da Fonseca. II. Santos, Grazielle Rocha dos. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 502

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Dainna Silva Lana**

### **Avaliação Da Balneabilidade De Corpos D'Água Da Região De Ouro Preto**

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

Aprovada em 16 de outubro de 2024.

#### Membros da banca

Dr. Aníbal da Fonseca Santiago - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dra. Grazielle Rocha dos Santos - Coorientadora - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr. Hubert Mathias Peter Roeser - Universidade Federal de Ouro Preto  
Engenheira e Mestra Isabela Da Silva Pedro Rochinha - Universidade Federal de Ouro Preto

Aníbal da Fonseca Santiago, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 25/11/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Aníbal da Fonseca Santiago, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/11/2024, às 13:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0815632** e o código CRC **CA8D0BAB**.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de iniciar agradecendo aos meus pais, que mesmo com todas as dificuldades da vida, fizeram de tudo para que eu sempre me mantivesse nos estudos. Sem o esforço e dedicação deles, esta conquista não teria sido possível.

Agradeço às minhas irmãs, e de forma especial à Di, que sempre me mostrou o valor e a importância dos estudos, sendo um exemplo de perseverança e inspiração para mim.

Sou grata também aos professores que passaram pelo meu caminho, especialmente à Livia, Lia e Marina, cujos ensinamentos e dedicação me marcaram profundamente, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional. Um agradecimento especial também ao meu orientador, Aníbal, pela paciência, orientação e apoio durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Às minhas amigas Michele e Tácia, que nos momentos em que mais pensei em desistir, me mantiveram de pé com palavras de encorajamento e apoio incondicional. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui.

A Nayanna, por todo o apoio nos meus momentos de stress e pela ajuda nas obrigações, quando eu precisava me fechar e focar no meu trabalho. Sua compreensão foi essencial para que eu pudesse concluir esta etapa.

Aos meus pets, que estiveram ao meu lado durante todo o processo de escrita, inclusive nas madrugadas, tornando essa jornada mais leve e menos solitária.

Por fim, agradeço à minha filha, Yasmin, o grande motivo pelo qual finalizei este trabalho. Sua compreensão, mesmo tão jovem, diante da minha ausência foi algo que jamais esquecerei. Você é minha maior motivação e meu maior orgulho.

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo avaliar a qualidade da água em diversas cachoeiras e pontos de coleta na região de Ouro Preto, Minas Gerais, com foco na balneabilidade conforme os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 274/2000. O estudo considerou fatores ambientais e antropogênicos que podem influenciar os níveis de contaminação microbiológica, como a ocorrência de chuvas, o manejo inadequado de esgoto, resíduos agrícolas e o uso e ocupação do solo de forma inapropriada e desordenada. Este estudo foi a primeira etapa de um projeto mais amplo que está sendo desenvolvido pelo Programa de Educação Tutorial do curso de Engenharia Ambiental da Escola de Minas, na Universidade Federal de Ouro Preto (PET Ambiental). Foram realizadas, entre os meses de março a abril do ano de 2022, coletas em dezessete corpos d'água da cidade, das quais quatorze foram classificadas como próprias para recreação de contato primário. Entre essas, dez cachoeiras apresentaram balneabilidade excelente, uma foi classificada como muito boa, e três foram consideradas satisfatórias. Em contrapartida, três áreas foram classificadas como impróprias para uso recreativo devido aos níveis elevados de *Escherichia coli* (*E.coli*). Dentre as áreas avaliadas, a Bacia do Custódio, embora classificada como satisfatória, apresentou indícios de que suas condições poderiam ser melhores. A Cachoeira de Taboões mostrou os maiores valores de *E. coli* nas amostras coletadas após a chuva (dias 06/04/2022 e 13/04/2022), sugerindo contaminação por esgoto doméstico ou material fecal de animais. As amostras da Prainha do Rio das Velhas e do Poço 20 também indicaram a necessidade de uma investigação mais aprofundada das fontes de poluição. Este estudo ressalta a importância de estratégias integradas de gestão ambiental, como a ampliação do sistema de tratamento e coleta de esgoto, a implementação de práticas de manejo de águas pluviais e a promoção de educação ambiental. Tais medidas são essenciais para garantir a segurança e a sustentabilidade dos recursos hídricos, beneficiando tanto a população local quanto os turistas.

**Palavras-chaves:** Balneabilidade; Qualidade da água; Coliformes; *Escherichia Coli*; Ouro Preto.

## ABSTRACT

This thesis aimed to evaluate the water quality of various waterfalls and collection points in the region of Ouro Preto, Minas Gerais, focusing on the balneability criteria established by CONAMA Resolution No. 274/2000. The study considered environmental and anthropogenic factors that could influence microbiological contamination levels, such as rainfall, improper sewage management, agricultural waste, and the inappropriate and disorganized use and occupation of land. This study was the first phase of a broader project being developed by the Tutorial Education Program of the Environmental Engineering course at the School of Mines, Federal University of Ouro Preto (PET Ambiental). Between March and April 2022, samples were collected from seventeen water bodies in the city, of which fourteen were classified as suitable for primary contact recreation. Among these, ten waterfalls were rated as having excellent balneability, one was classified as very good, and three were considered satisfactory. On the other hand, three areas were classified as unsuitable for recreational use due to elevated levels of *Escherichia coli* (*E. coli*). Among the areas evaluated, the Custódio Basin, although classified as satisfactory, showed signs that its conditions could be improved. The Taboões Waterfall showed the highest *E. coli* levels in the samples collected after the rain (on 06/04/2022 and 13/04/2022), suggesting contamination by domestic sewage or animal fecal material. Samples from Prainha do Rio das Velhas and Poço 20 also indicated the need for further investigation of pollution sources. This study highlights the importance of integrated environmental management strategies, such as expanding the sewage treatment and collection system, implementing stormwater management practices, and promoting environmental education. Such measures are essential to ensure the safety and sustainability of water resources, benefiting both the local population and tourists.

**Keywords:** Balneability; Water's quality, Coliforms, *Escherichia Coli*; Ouro Preto.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa de Localização da cidade de Ouro Preto-MG.....	19
<b>Figura 2:</b> Mapa de Localização dos distritos de Ouro Preto - MG.....	21
<b>Figura 3:</b> Bacias e Sub-Bacias hidrográficas do município de Ouro Preto – MG. ....	22
<b>Figura 4:</b> Localização dos Pontos de Coleta nos distritos do Município de Ouro Preto – MG. ....	24
<b>Figura 5:</b> Ocupação urbana e áreas de influência da cachoeira de Catarina Mendes. ....	31
<b>Figura 6:</b> Ocupação urbana e áreas de influência da Prana do Rio das Velhas .....	34
<b>Figura 7:</b> Ocupação urbana e áreas de influência do Poço 20.....	35
<b>Figura 8:</b> Ocupação urbana e áreas de influência na Cachoeira de Taboões .....	38

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Classificação de Balneabilidade Segundo a Resolução Conama nº 274/2000 .....	15
<b>Tabela 2:</b> Pontos de Coletas e Coordenadas Geográficas dos Pontos .....	25
<b>Tabela 3:</b> Análise de Dados Parque das Andorinhas .....	28
<b>Tabela 4:</b> Análise de Dados Cachoeira Catarina Mendes .....	30
<b>Tabela 5:</b> Análise de Dados Cachoeiras de São Bartolomeu .....	33
<b>Tabela 6:</b> Análise de Coletas: Cascata Dom Bosco .....	35
<b>Tabela 7:</b> Análise das Coletas Cachoeiras de Lavras Novas .....	37

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>10</b>
2.1. Objetivo Geral.....	10
2.2. Objetivos Específicos.....	10
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>11</b>
3.1. Conceitos Básicos.....	11
3.1.1. Coliformes Totais.....	11
3.1.2. Coliformes Termotolerantes.....	11
3.1.3. <i>Escherichia coli</i> – <i>E. coli</i> .....	12
3.1.4. Balneabilidade e qualidade da água.....	12
3.1.5. Critérios de avaliação de balneabilidade.....	13
3.2. Fontes de Contaminação e Seus Efeitos na Saúde e Meio Ambiente.....	17
3.2.1. Fontes de Contaminação.....	17
3.2.2. Efeitos na Saúde.....	18
3.2.3. Meio Ambiente.....	18
3.3. Caracterização do local de estudo.....	19
3.3.1. Evolução urbana e histórica.....	21
3.3.2. Recursos Hídricos e Saneamento básico.....	21
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
4.1. Coleta e Análise de Dados.....	24
4.1.1. Coleta de Amostras.....	24
4.2. Metodologia de Coleta e Preservação das Amostras:.....	26
4.2.1. Plano de Amostragem:.....	26
4.2.2. Procedimentos e Equipamentos Utilizados na Coleta e Preservação de Amostras.....	26
4.3. Análises Laboratoriais.....	27
4.4. Análises dos Resultados.....	27
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
5.1. Parque natural municipal das andorinhas.....	28
5.1.1.1 Ponte das Andorinhas e Poço das Crianças.....	28
5.2. Cachoeira de Catarina Mendes.....	29

5.2.1	Possíveis Fontes de Contaminação .....	31
5.3.	Cachoeiras de São Bartolomeu .....	33
5.3.1.	Possíveis Fontes de Contaminação .....	34
5.4.	Análise dos Resultados da Cascata Dom Bosco .....	35
5.4.1.	Visão Geral dos Resultados .....	35
5.5.	Análise dos Resultados das Cachoeiras de Lavras Novas .....	36
5.5.1.	Visão Geral.....	36
5.6.	Limitações do estudo .....	39
<b>6.</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cidade de Ouro Preto, localizada em Minas Gerais, aproximadamente a 90 km da capital Belo Horizonte, é reconhecida como patrimônio cultural da humanidade pela UNESCO desde 1980 (Sandoval, Arruda e Santos, 2009). Com suas ruas de pedra, casarões coloniais e igrejas barrocas, a cidade atrai visitantes do mundo todo interessados em conhecer um pouco da história e da cultura brasileira (Sandoval, Arruda e Santos, 2009). O turismo é uma atividade de grande importância para o município e, juntamente com a mineração, constitui a base da economia local (IPHAN, 2014). Além de sua rica história e cultura, Ouro Preto se destaca pelas belezas naturais e recursos hídricos. A cidade está situada em uma região montanhosa, com diversas cachoeiras e trilhas naturais em seu território (Silva, 2007).

Entre os diversos segmentos do turismo, o ecoturismo tem se destacado por ser uma modalidade que trabalha de forma sustentável com o patrimônio natural e cultural. Esse segmento promove a preservação através da conscientização ecológica e da interpretação do ambiente, contribuindo para o bem-estar das comunidades locais (Vieira, 2021). O turismo ecológico conecta o desenvolvimento econômico à educação ambiental, algo de extrema importância para o homem contemporâneo, ao proporcionar uma experiência direta com a natureza (Vieira, 2021). Entretanto, esse modelo de turismo tem impactos importantes nos aspectos econômicos, ecológicos e territoriais, conforme apontado por Ruschmann (1997). A falta de saneamento básico e as atividades humanas têm contribuído para a deterioração da qualidade das águas em Ouro Preto (Pereira, 2018). A ausência de tratamento de esgoto é uma das principais causas desse problema, com as águas residuais sendo despejadas diretamente nos rios e córregos da região sem tratamento ou controle, afetando a qualidade da água e a saúde pública (Pereira, 2018). Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2021), apenas cerca de 1,69% do esgoto em Ouro Preto é gerenciado adequadamente, sendo que 80% é coletado, mas não tratado e 18,31% não é coletado nem tratado.

Recentemente, o debate sobre a qualidade das águas recreacionais ganhou destaque internacional durante as Olimpíadas de Paris 2024. As provas de natação em águas abertas, que estavam programadas para ocorrer no Rio Sena, foram canceladas devido à baixa qualidade das águas, causada por níveis elevados de *Escherichia coli* e *enterococos*, indicativos de poluição fecal. O problema foi

exacerbado por chuvas intensas, que levaram ao transbordamento de águas residuárias não tratadas para o rio, comprometendo a segurança dos atletas (Globalnews.ca, 2024; The Independent, 2024). Apesar dos esforços significativos de Paris, que investiu cerca de 1,4 bilhão de euros em infraestrutura para melhorar a qualidade da água do Sena, incluindo a construção de um grande reservatório subterrâneo, a qualidade da água permaneceu abaixo dos níveis exigidos para competições seguras (Globo Esporte, 2024). Este incidente ressaltou os desafios enfrentados por grandes cidades em conciliar turismo, saneamento e eventos de grande porte. Situações como essa destacam a importância de monitorar a balneabilidade, tanto em Paris quanto em outras regiões, como Ouro Preto, que enfrentam problemas semelhantes de contaminação dos corpos d'água.

Nesse contexto, a balneabilidade tornou-se um tema crucial para Ouro Preto e seus habitantes, bem como para os turistas que visitaram a região em busca de contato com a natureza. Este trabalho fez parte de um projeto de extensão e buscou avaliar a qualidade da água e a balneabilidade dos corpos d'água da região. Os dados apresentados referem-se à primeira etapa do estudo, que ocorreu entre os dias 30 de março de 2022 e 13 de maio de 2022.

Na primeira etapa deste estudo, procurou-se compreender os impactos da falta de saneamento básico, das atividades humanas e do uso do solo, especialmente nas regiões a montante dos corpos d'água, sobre a qualidade da água nas áreas de lazer de Ouro Preto. Foi analisada a relação entre essas atividades e a balneabilidade. O objetivo central foi gerar dados e informações que possam auxiliar na implementação de ações de monitoramento e controle da qualidade da água, visando melhorar as condições de saúde e garantir segurança para o lazer dos moradores e turistas que frequentam essas áreas para banho e práticas esportivas.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água das cachoeiras e pontos de coleta em Ouro Preto, através da determinação dos níveis de coliformes totais e *Escherichia coli*, identificando as principais fontes de contaminação.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Classificar a Balneabilidade das áreas avaliadas de acordo com a Resolução CONAMA 274/2000;
- Propor estratégias de gestão e mitigação para melhorar a qualidade da água.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Conceitos Básicos**

##### **3.1.1. Coliformes Totais**

O grupo dos coliformes totais é um subgrupo da família *Enterobacteriaceae*, que inclui 44 gêneros e 176 espécies (Junqueira *et al*, 2012). Dentre as diversas espécies que se encaixam nessa definição, encontram-se tanto bactérias originárias do trato gastrointestinal de humanos e outros animais de sangue quente (*Escherichia coli*), como também bactérias não entéricas. (Silva, 2017).

Embora a presença de coliformes totais não indique automaticamente um risco a saúde, sua presença na água pode ser um indicativo da presença de coliformes termotolerantes (Silva, 2017) e contaminação fecal (Ashbolt, 2004).

A contaminação microbiológica da água pode ter sérias consequências para a saúde humana. A ingestão de água contaminada pode causar doenças gastrointestinais, como diarreia, cólera e febre tifoide, especialmente em áreas com acesso limitado à água tratada (WHO, 2017). A contaminação também pode afetar o meio ambiente, levando à morte de organismos aquáticos e comprometendo a qualidade dos ecossistemas (Devarajan *et al.*, 2016).

Os coliformes totais são um grupo diverso de microrganismos, compostos por espécies como *E. coli*, *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Enterobacter spp.* Eles compartilham características como:

- Gram-negativos, não formadores de esporos, bacilos que fermentam lactose com produção de ácido e gás.
- Negativos para oxidase e crescimento em temperaturas entre 35 e 37 °C.
- No início dos anos 1960, os coliformes foram renomeados como coliformes totais nos Estados Unidos (DUFOR, 2021)

##### **3.1.2. Coliformes Termotolerantes**

Os coliformes termotolerantes são um subgrupo de coliformes que crescem a temperaturas acima de 44,5°C (CONAMA, 2000).

Apesar de sua composição ser em sua maioria enterobactérias provenientes do trato intestinal, como a *Escherichia coli* (*E. coli*) (Lopes, 2012) descobriu-se que esse grupo inclui também organismos de origem não fecal (Silva, 2017). Por isso, o

termo "coliformes fecais" foi substituído por "coliformes termotolerantes", que reflete melhor essa diversidade (SILVA, 2017).

### **3.1.3. *Escherichia coli* – *E. coli***

A *E. coli* é uma bactéria encontrada no intestino de humanos e de animais de sangue quente. Sua presença em águas naturais é um indicativo de contaminação fecal recente, sugerindo a possível presença de outros patógenos fecais (APHA, 2012).

Embora a maioria das cepas de *E. coli* seja inofensiva e faça parte da flora intestinal normal, algumas cepas, como a *E. coli* O157: H7, podem produzir toxinas que causam doenças graves, como diarreia sanguinolenta, síndrome hemolítica urêmica (SHU) e insuficiência renal (Kaper, 1989).

A análise de *E. coli* é fundamental para avaliar a qualidade da água destinada ao consumo e à recreação, uma vez que sua presença pode indicar a existência de patógenos intestinais causadores de doenças gastrointestinais (WHO, 2017). A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda o uso de *E. coli* como um indicador de risco para a saúde humana (WHO, 2017).

### **3.1.4. Balneabilidade e qualidade da água**

De acordo com a Resolução CONAMA nº 274/2000, balneabilidade refere-se à qualidade das águas destinadas à recreação de contato primário, quando há contato direto dos usuários com corpos d'água, como em atividades de mergulho, natação e esqui aquático.

As águas destinadas a essa forma de recreação devem cumprir padrões microbiológicos que assegurem a proteção da saúde dos usuários. Esses padrões incluem a presença mínima de coliformes termotolerantes, que indicam a ausência de contaminação fecal e de patógenos causadores de doenças (CONAMA nº 274/2000).

A contaminação microbiológica, frequentemente resultante do lançamento de esgoto sem tratamento adequado, pode introduzir microrganismos patogênicos na água, como bactérias, vírus e parasitas. Esses patógenos podem infectar o corpo humano por meio da ingestão de água contaminada, contato direto com a pele ou inalação de aerossóis, acarretando diversos problemas de saúde (OMS, 2020).

Monitorar todos esses patógenos diretamente seria financeiramente inviável e complexo em termos práticos. Conforme apontado por Von Sperling (2005) e USEPA (2003), o uso de indicadores microbiológicos como *Escherichia coli* e *Enterococos* é uma alternativa viável para avaliar a contaminação fecal em ambientes aquáticos. Esses indicadores são vantajosos por serem de fácil isolamento, identificação simples e de baixo custo, além de terem características de sobrevivência similares às de bactérias enteropatogênicas (CETESB, 2003).

Além dos indicadores microbiológicos, outros parâmetros físico-químicos e biológicos são essenciais para avaliar a qualidade da água, como pH, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a presença de elementos potencialmente tóxicos. O pH mede a acidez ou alcalinidade da água, um fator crucial para determinar sua adequação a diversos usos. A turbidez está relacionada à quantidade de partículas suspensas, que afetam a transparência e a estética da água. A DBO avalia a quantidade de matéria orgânica presente, fornecendo uma indicação do nível de contaminação por efluentes. A presença de metais pesados, como chumbo, mercúrio e cádmio, representa um risco significativo tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente (Von Sperling, 2010).

A contaminação microbiológica não apenas compromete a saúde humana, mas também provoca impactos ambientais severos. Os nutrientes presentes em esgotos podem causar a eutrofização de corpos d'água, estimulando o crescimento excessivo de algas e outros organismos, o que pode resultar na morte de peixes e na degradação do ecossistema aquático (Lopes, 2012)

Portanto, é fundamental adotar medidas eficazes para garantir a balneabilidade e a qualidade da água, incluindo o tratamento adequado de esgotos, o monitoramento contínuo da qualidade da água e a conscientização da população sobre a importância de preservar e proteger os recursos hídricos (Von Sperling, 2010). Essas ações são essenciais para proteger a saúde pública e o meio ambiente, assegurando um ambiente saudável e sustentável para as gerações futuras.

### **3.1.5. Critérios de avaliação de balneabilidade**

A qualidade das águas destinadas a atividades recreativas de contato primário é uma questão de saúde pública de extrema relevância (OMS, 2003). O Brasil, assim

como outras nações, segue regulamentações específicas para a classificação de balneabilidade, baseadas em parâmetros microbiológicos e físicos (CONAMA, 2000).

Nos Estados Unidos, os primeiros critérios para a qualidade da água recreacional foram estabelecidos em 1968 pelo *National Technical Advisory Committee* (NTAC), vinculado ao Departamento do Interior. Esses critérios foram baseados em estudos conduzidos entre as décadas de 1940 e 1950 pelo Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos (*United States Public Health Service* – USPHS), que demonstraram que a presença de coliformes fecais nas águas estava associada a um risco elevado de doenças entre os banhistas (Martins, 2012). Em 1976, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) assumiu a responsabilidade pela emissão de diretrizes. Inicialmente, os critérios utilizavam coliformes fecais como o principal indicador de contaminação, mas estudos subsequentes apontaram que esse indicador não era suficientemente específico, pois outras bactérias, poderiam estar presentes sem estarem associadas à contaminação fecal (Martins, 2012).

Em 1986, a EPA revisou seus critérios, adotando *E. coli* e *Enterococos* como indicadores microbiológicos mais precisos e confiáveis. Os critérios atuais da EPA estabelecem que, para águas doces, a média geométrica de cinco amostras coletadas ao longo de 30 dias não deve exceder 126 NMP/100 mL de *E. coli* e 33 NMP/100 mL de *Enterococos*. Para águas salgadas, o limite para *Enterococos* é de 35 NMP/100 mL (USEPA, 1986). Em 2012, a EPA atualizou esses critérios, incorporando a metodologia de qPCR para uma detecção mais rápida de *Enterococos*, mantendo os limites microbiológicos estabelecidos em 1986 (USEPA, 2012).

Na Europa, os esforços para regulamentar a qualidade das águas recreacionais começaram na década de 1970. Em 1976, a Comunidade Econômica Europeia (CEE) implementou a Diretiva 76/160/EEC, que estabeleceu limites para parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, com o objetivo de proteger tanto a saúde pública quanto o meio ambiente. Esses critérios foram revisados com o tempo, resultando na publicação da Diretiva 2006/7/EC, que introduziu uma abordagem mais abrangente para a gestão das águas recreacionais, classificando-as em quatro categorias: baixas, suficientes, boas e excelentes. Para águas doces, os limites máximos para a classificação "suficiente" são de 330 NMP/100 mL de *Enterococos* e 900 NMP/100 mL de *E. coli* (EUROPEAN UNION, 2006).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) também desempenhou um papel importante na criação de diretrizes globais para a qualidade da água recreacional. Em 2003, a OMS publicou um conjunto de recomendações, as *Guidelines for Safe Recreational Water Environments*, estabelecendo limites para *E. coli* e *Enterococos* como indicadores microbiológicos de contaminação fecal. Para águas doces, os limites recomendados são de 500 NMP/100 mL de *E. coli* e 40 NMP/100 mL de *Enterococos*, enquanto para águas salgadas, o limite é de 100 NMP/100 mL de *Enterococos* (WHO, 2003). Além dos parâmetros microbiológicos, a OMS sugere que outros fatores, como resíduos sólidos, turbidez e floração de algas, também sejam levados em consideração na avaliação da balneabilidade das águas.

No Brasil, a regulamentação da qualidade das águas recreacionais é definida pela Resolução CONAMA nº 274/2000, que estabelece critérios para a classificação da balneabilidade das águas, com base na contagem dos indicadores microbiológicos *Escherichia coli* (*E. coli*) e *Enterococos* (CONAMA, 2000). Segundo essa normativa, as águas podem ser categorizadas em quatro classes: Excelente, Muito Boa, Satisfatória e Imprópria, de acordo com a contagem desses organismos. De acordo com a Tabela 1:

**Tabela 1:** Classificação de Balneabilidade Segundo a Resolução CONAMA nº 274/2000

Classificação	Condição
<b>Excelente</b>	80% das amostras devem apresentar valores menores ou iguais a 250 coliformes termotolerantes ou 200 <i>Escherichia coli</i> .
<b>Muito Boa</b>	80% das amostras devem apresentar valores menores ou iguais a 500 coliformes termotolerantes ou 400 <i>Escherichia coli</i> .
<b>Satisfatória</b>	80% das amostras devem apresentar valores menores ou iguais a 1000 coliformes termotolerantes ou 800 <i>Escherichia coli</i> .
<b>Imprópria</b>	Não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias, e ou valor obtido na última amostragem for superior a 2500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 2000 <i>Escherichia coli</i> ou 400 enterococos por 100 mililitros.

Fonte: Resolução CONAMA nº 274/2000.

Comparando os critérios estabelecidos nos Estados Unidos, Europa, OMS e Brasil, observa-se que há variações significativas nos limites microbiológicos adotados para a classificação da balneabilidade. A EPA (2012) dos Estados Unidos, por exemplo, adota limites mais rigorosos para *E. coli* em águas doces (126 NMP/100 mL), enquanto a OMS (2003) permite até 500 NMP/100 mL para o mesmo indicador. Na Europa, o limite para *E. coli* em águas doces é de 900 NMP/100 mL, o que é consideravelmente mais alto do que os padrões americanos e brasileiros.

No Brasil, os critérios estabelecidos pelo CONAMA (2000) são relativamente próximos aos padrões internacionais, especialmente quando comparados aos da OMS (2003). No entanto, os limites para *Enterococos* em águas salgadas no Brasil (400 NMP/100 mL) são significativamente mais elevados do que os adotados nos Estados Unidos (35 NMP/100 mL) e na OMS (2003) (100 NMP/100 mL), sugerindo que há uma maior tolerância à contaminação fecal em águas recreacionais salgadas no Brasil.

Além das diferenças nos limites microbiológicos, é importante destacar o uso do percentil 90 como um critério chave nos Estados Unidos e na OMS para a avaliação da qualidade das águas recreacionais. Isso significa que 90% das amostras analisadas devem estar abaixo dos limites estabelecidos para que a água seja considerada própria para recreação (USEPA, 2012 e WHO, 2003). No Brasil, a Resolução CONAMA nº 274/2000 utiliza o percentil 80, o que implica que 80% das amostras devem estar dentro dos limites estabelecidos. Essa diferença no uso dos percentis indica um critério mais flexível no Brasil, enquanto a EPA (2012) e a OMS (2003) adotam uma abordagem mais rigorosa.

A Resolução CONAMA nº 274/2000, assim como os padrões internacionais, inclui fatores adicionais, como resíduos sólidos e floração de algas, porém, para a legislação Brasileira, esses critérios são menos detalhados. Além disso, os padrões relacionados aos *Enterococos* no Brasil são aplicáveis somente às águas marinhas, diferenciando-se dos critérios adotados para águas doces e salobras (SILVA *et al.*, 2017). Embora a Resolução CONAMA nº 274/2000 seja amplamente aplicada no Brasil, é importante considerar que os critérios de balneabilidade podem variar de acordo com a região e estão sujeitos a atualizações e regulamentações específicas (CONAMA, 2000).

Um ponto de destaque é que, conforme Van Asperen *et al.* (1995), as fontes de poluição de origem não fecal em águas recreacionais têm sido negligenciadas, visto que os critérios estabelecidos para balneabilidade focam exclusivamente em patógenos fecais. Fatores físicos e estéticos, como turbidez e resíduos sólidos flutuantes, que também podem influenciar na qualidade e segurança das atividades recreacionais de contato primário, não são contemplados pela Resolução CONAMA nº 274/2000.

### **3.2. Fontes de Contaminação e Seus Efeitos na Saúde e Meio Ambiente**

#### **3.2.1. Fontes de Contaminação**

A contaminação dos corpos d'água é um fenômeno complexo resultante da interação de diversos fatores, especialmente atividades humanas que impactam o uso do solo:

- **Efluentes Domésticos e Urbanos:** a falta de tratamento adequado do esgoto doméstico, quando lançado diretamente em corpos d'água, é uma das principais fontes de contaminação microbiológica. Microrganismos patogênicos presentes no esgoto, como bactérias, vírus e parasitas, representam um risco significativo para a saúde humana (WHO, 2006).

Durante períodos de chuvas intensas, a lavagem de ruas e terrenos aumenta o risco de contaminação nos balneários, resultando em quantidade maior de esgoto e resíduos do que em dias normais (Ribeiro *et al.*, 2023).

Em cidades turísticas, há variação sazonal na população e a sobrecarga nos sistemas de coleta durante férias pode resultar em lançamento de esgoto não tratado, comprometendo a balneabilidade (CETESB, 2003).

- **Atividades Agropecuárias:** O escoamento superficial de áreas agrícolas pode carrear fertilizantes, pesticidas e fezes de animais para cursos d'água, introduzindo nutrientes excessivos e microrganismos patogênicos. Isso pode levar à eutrofização e proliferação de algas nocivas (Carpenter *et al.*, 1998).

- **Resíduos Industriais:** Descargas industriais podem liberar metais pesados, compostos orgânicos persistentes e outros poluentes tóxicos. Esses contaminantes podem acumular-se nos ecossistemas aquáticos, afetando a biota e biomagnificando na cadeia alimentar (Goodyear *et al.*, 1999).

Além disso, é crucial considerar a contaminação proveniente do material fecal dos próprios banhistas durante suas atividades recreativas na água (Rees *et al.*, 2000). Durante períodos mais quentes do ano, o aumento expressivo no número de banhistas pode resultar em maior concentração de patógenos na água e as altas temperaturas favorecem a proliferação de certos organismos (Van Asperen *et al.*, 1995).

### **3.2.2. Efeitos na Saúde**

A definição de saúde da OMS destaca que ela não se refere apenas à ausência de doenças, mas a um estado completo de bem-estar físico, mental e social (Pereira, 2008). Durante atividades recreativas em ambientes naturais, a ingestão acidental de água pode representar um risco de contaminação microbiológica, comprometendo o bem-estar físico das pessoas (Lopes, 2012). A ingestão de água durante atividades recreativas aquáticas é mais comum em crianças do que em adultos, de acordo com a OMS (2003). Estima-se que a ingestão de água durante a natação varie de 100 a 200mL por sessão, mas esses valores podem variar dependendo da atividade (OMS, 2003). Um estudo de Dufour *et al.* (2006) mediu o consumo médio de água em adultos em piscinas como sendo de 16mL em 45 minutos, enquanto em crianças foi de 37mL no mesmo período (Lopes, 2012).

A preocupação com a contaminação microbiológica da água está ligada à possibilidade de uma variedade de doenças transmitidas pela água, sendo as infecções gastrointestinais as mais comuns, apresentando sintomas como diarreia, vômito, febre e cólicas abdominais. A exposição a coliformes fecais pode resultar em infecções cutâneas, otites e doenças oculares em pessoas que têm contato com águas contaminadas durante atividades recreativas (Kaper *et al.*, 2004).

Prüss (1998), com apoio da OMS, realizou um estudo que analisou 22 pesquisas entre 1953 e 1996, destacando que infecções gastrointestinais foram as ocorrências mais frequentes relacionadas ao uso recreativo das águas.

### **3.2.3. Meio Ambiente**

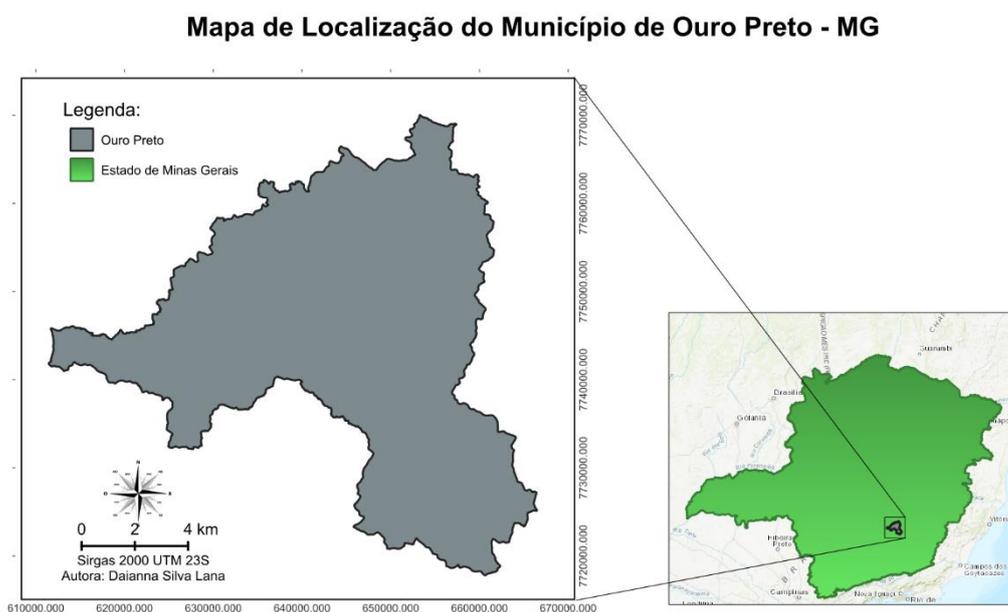
A contaminação por coliformes fecais tem impactos significativos no meio ambiente, afetando a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos. A eutrofização é especialmente preocupante, pois a proliferação de algas consome

oxigênio na decomposição do material orgânico, resultando em uma redução dos níveis de oxigênio dissolvido e condições prejudiciais para a vida aquática (Cometti, 2019).

### 3.3. Caracterização do local de estudo

O município de Ouro Preto, situado na região Sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais (Figura 1), está localizado na Serra do Espinhaço, integrando a Zona Metalúrgica de Minas Gerais, conhecida como Quadrilátero Ferrífero. Suas coordenadas geográficas são aproximadamente latitude 20°23'28" sul e longitude 43°30'20" oeste, com altitude média de 1.150 metros (Prefeitura de Ouro Preto, 2024; IBGE, 2020). Segundo o IBGE (2020), a população estimada de Ouro Preto é de 74.558 pessoas, com uma área territorial de 1.245,865 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 59,84 hab./km<sup>2</sup>. O clima é tropical de altitude, com pluviosidade média de 2.018 mm/ano, distribuição irregular e chuvas concentradas no verão (Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2024).

**Figura 1:** Mapa de Localização da cidade de Ouro Preto-MG



Fonte: Autoria Própria

Nenhum outro município brasileiro acumulou tantos fatos históricos relevantes à construção da memória nacional como Ouro Preto (IBGE, 2021). A cidade se originou do Arraial do Padre Faria, fundado por volta de 1698 pelo bandeirante Antônio

Dias de Oliveira, pelo Padre João de Faria Fialho, pelo Coronel Tomás Lopes de Camargo e seu irmão. A junção desses vários arraiais culminou na formação de um importante centro urbano, que em 1711 foi elevado à categoria de vila com o nome de Vila Rica. Em 1720, tornou-se a capital da nova capitania de Minas Gerais, desempenhando um papel crucial na história do Brasil colonial (IBGE, 2021).

A cidade foi palco de importantes eventos históricos, como o movimento revolucionário conhecido como Inconfidência Mineira, que teve seu ápice em 1789.

Ao longo dos séculos, Ouro Preto manteve sua importância cultural e histórica, conservando grande parte de seus monumentos coloniais. Em reconhecimento a esse patrimônio único, a cidade foi elevada a Patrimônio Nacional em 1933 e tombada pelo IPHAN cinco anos depois. Em 5 de setembro de 1980, durante a quarta sessão do Comitê do Patrimônio Mundial da UNESCO, realizada em Paris, Ouro Preto foi declarada Patrimônio Cultural da Humanidade, consagrando seu papel fundamental na preservação da história e da cultura brasileira (IPHAN, 1980).

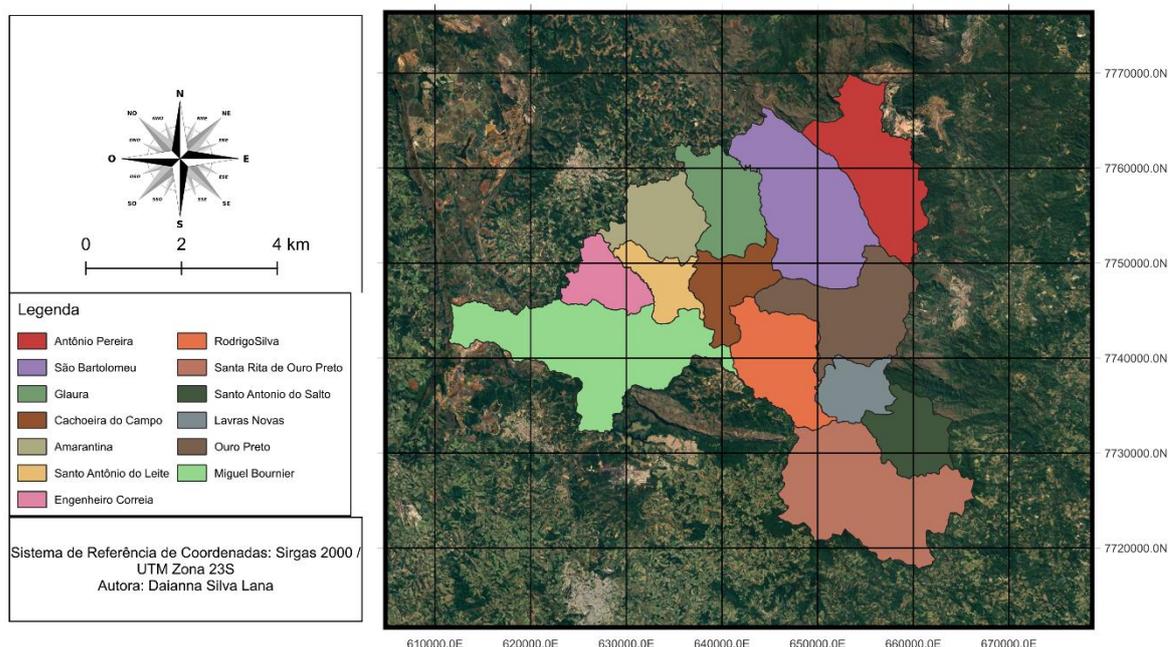
Em 1897, Ouro Preto perdeu seu status de capital de Minas Gerais devido à falta de alternativas viáveis para o desenvolvimento físico urbano. A capital foi transferida para o antigo Curral Del'Rey, onde uma nova cidade, Belo Horizonte, estava sendo planejada e construída, oferecendo uma infraestrutura mais moderna e espaçosa.

Em 1923, a antiga Itabira do Campo, atualmente Itabirito, foi emancipada pela Lei N° 843 de 7 de setembro. Posteriormente, em 1953, o município de Ouro Branco foi criado, sendo desmembrado de Ouro Preto pela Lei N° 1039, de 12 de dezembro do mesmo ano (LEI N° 843, 1923; LEI N° 1039, 1953).

Atualmente, os distritos que compõem o município de Ouro Preto são (Figura 2): Cachoeira do Campo, Amarantina, Glaura (Casa Branca), São Bartolomeu, Santo Antônio do Leite, Rodrigo Silva, Miguel Burnier, Engenheiro Correia, Santa Rita, Santo Antônio do Salto, Antônio Pereira e Lavras Novas.

**Figura 2:** Mapa de Localização dos distritos de Ouro Preto - MG

Mapa de Localização dos Distritos de Ouro Preto - MG



Fonte: Autoria Própria

### 3.3.1. Evolução urbana e histórica

A evolução urbana e histórica de Ouro Preto é marcada por sua localização em um terreno extremamente montanhoso e acidentado, influenciando diretamente a ocupação humana ao longo dos séculos. A cidade se desenvolveu de maneira peculiar devido à relação entre a ocupação e o relevo e a geografia locais.

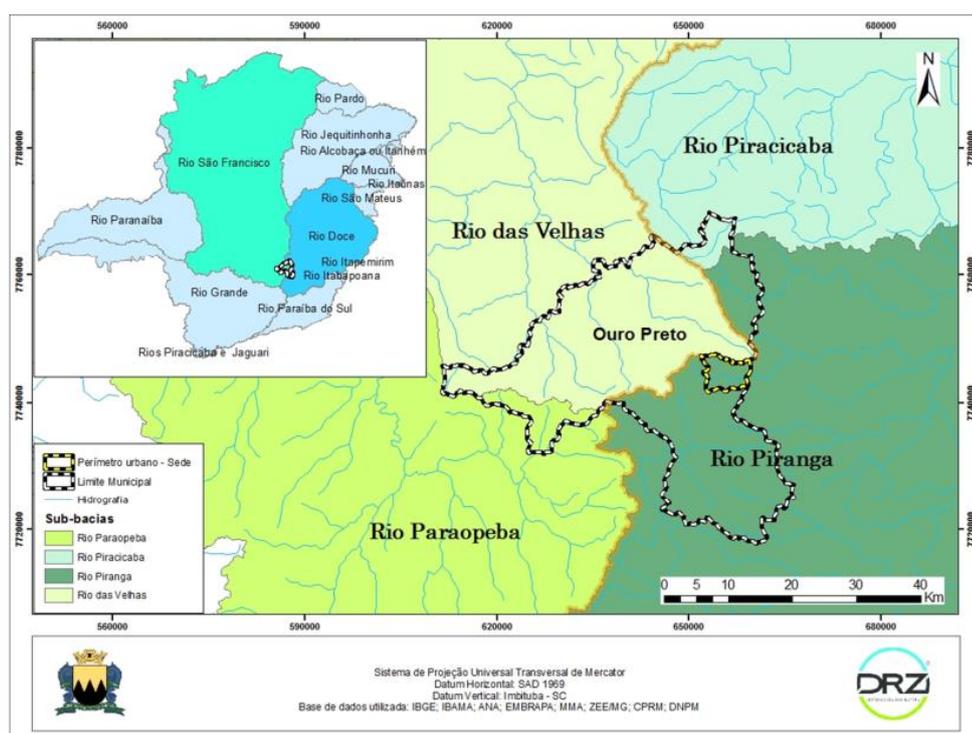
A ocupação de Ouro Preto ocorreu de duas formas principais: nas margens dos rios, onde o ouro era abundante e facilmente acessível, e nos morros circundantes, onde eram encontradas as minas. Nos primeiros tempos, os arraiais ocuparam as íngremes encostas, dando origem a uma configuração urbana peculiar, marcada pela verticalidade e pela adaptação às condições topográficas desafiadoras. Essa ocupação inicial moldou o desenvolvimento urbano da cidade ao longo dos séculos, resultando em uma paisagem urbana única e rica em história (Bohrer, 2020).

### 3.3.2. Recursos Hídricos e Saneamento básico

O município de Ouro Preto está estrategicamente localizado entre duas grandes regiões hidrográficas: a do rio São Francisco e a do Atlântico Leste, separadas pela imponente Serra Geral. Esta posição coloca Ouro Preto nas sub-

bacias do rio Paraopeba e das Velhas, pertencentes à bacia do Alto Rio São Francisco, e nas sub-bacias do rio Piracicaba e do rio Piranga, integrantes da bacia do Rio Doce, parte da região hidrográfica do Atlântico Leste (Figura3). Essa configuração hidrográfica é crucial para o município, influenciando diretamente suas características ambientais (PMSB/OP, 2012).

**Figura 3:** Bacias e Sub-Bacias hidrográficas do município de Ouro Preto – MG.



Fonte: Ana (2012); IBGE (2010); Minas Gerais (2005). Organização: DRZ Geotecnologia e Consultoria

O município de Ouro Preto também está inserido na região do Alto Rio das Velhas, abrangendo toda a área conhecida como Quadrilátero Ferrífero. Ouro Preto limita-se ao sul, enquanto os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará formam os limites ao norte. Uma parte do município de Caeté também faz parte do Alto Rio das Velhas, com a Serra da Piedade como limite leste. A região possui o maior contingente populacional e significativa atividade econômica, concentrada principalmente na Região Metropolitana, onde se localizam os principais focos de poluição hídrica da bacia. Essa poluição é causada principalmente pelo despejo de esgotos industriais e domésticos não tratados, bem como pelos efluentes gerados pelas atividades minerárias clandestinas (PMSB/OP, 2012).

O crescimento populacional de Ouro Preto é impulsionado pela população flutuante gerada pelo setor de mineração, turismo e desenvolvimento do setor de ensino, incluindo a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), instituições particulares e cursos profissionalizantes. O setor de mineração, principalmente no distrito de Antônio Pereira, onde estão instaladas as mineradoras Samarco e Vale, demanda grande quantidade de mão de obra, contribuindo para o crescimento populacional flutuante.

Como cidade turística, Ouro Preto recebe visitantes que permanecem na cidade por períodos curtos, aumentando consideravelmente o número de pessoas. Durante o Carnaval, a Secretaria de Turismo estima um incremento populacional de 30.000 pessoas. Outras datas comemorativas, como a Semana Santa, o Festival de Inverno e datas religiosas, também atraem turistas (PMSB/OP, 2012). A Secretaria de Turismo não possui um controle preciso do número de pessoas que frequentam a cidade ao longo do ano, dificultando uma análise mais precisa dos impactos causados por essa população.

A pluviosidade média é de 1.306 mm/ano, com distribuição irregular, concentrando-se principalmente no verão. As chuvas são predominantemente orográficas, caracterizadas por serem intermitentes e finas (Braga, 2007). O volume de chuvas durante o verão, combinado com a geografia e geomorfologia do terreno, historicamente contribuem para diversos problemas na área urbana, como deslizamentos, enxurradas e alagamentos. No meio rural, essas condições favorecem o surgimento de grandes erosões e voçorocas, agravadas pela intervenção humana.

Ouro Preto, uma cidade histórica com mais de 300 anos e de grande destaque no cenário nacional, possui um dos sistemas de tratamento de esgoto mais antigos do Brasil (Teixeira, 2017). O sistema, implantado em 1890, encontra-se atualmente em total abandono e sem manutenção adequada, funcionando apenas como passagem para os efluentes que ainda são escoados por ele. Segundo Fonseca e Prado Filho (2012), Ouro Preto "possuía uma estação de tratamento de esgotos, então denominada Tanques de Desinfecção da Barra, uma inovação que também foi fruto da ideologia positivista de progresso".

Os indicadores do sistema de esgotamento sanitário de Ouro Preto não são satisfatórios, pois atualmente o sistema possui apenas rede coletora de efluentes domésticos em parte da cidade, abrangendo a região central e o bairro Vila Itacolomi.

Nas demais áreas do município, principalmente nos morros e periferia, os efluentes são despejados em galerias de águas pluviais, diretamente nos corpos d'água ou tratados inadequadamente, como no caso das fossas negras (PMSB/OP, 2012).

Observa-se que não há interceptores nos cursos d'água, necessários para a interceptação e destinação de todos os efluentes para estações de tratamento de esgoto. Dessa forma, estes cursos d'água estão completamente poluídos, com sérios riscos à saúde pública (PMSB/OP, 2012).

Um estudo de diagnóstico ambiental utilizando um Protocolo de Avaliação Rápida realizado por Rodrigues, Malafaia e Castro (2008) relata que os trechos avaliados do Ribeirão do Funil, localizados na área urbana do município, apresentaram significativas alterações de suas condições ambientais.

Os motivos são o crescimento desordenado da cidade e a falta de controle da infraestrutura instalada ao longo do tempo.

Esse crescimento desordenado do município propiciou a implantação de vários trechos de rede que hoje se encontram sob residências ou sob aterros, implicando na grande profundidade das redes e inviabilidade de manutenção, ou estão posicionados transversalmente às áreas e quintais particulares (PMSB/OP, 2012).

## **4. METODOLOGIA**

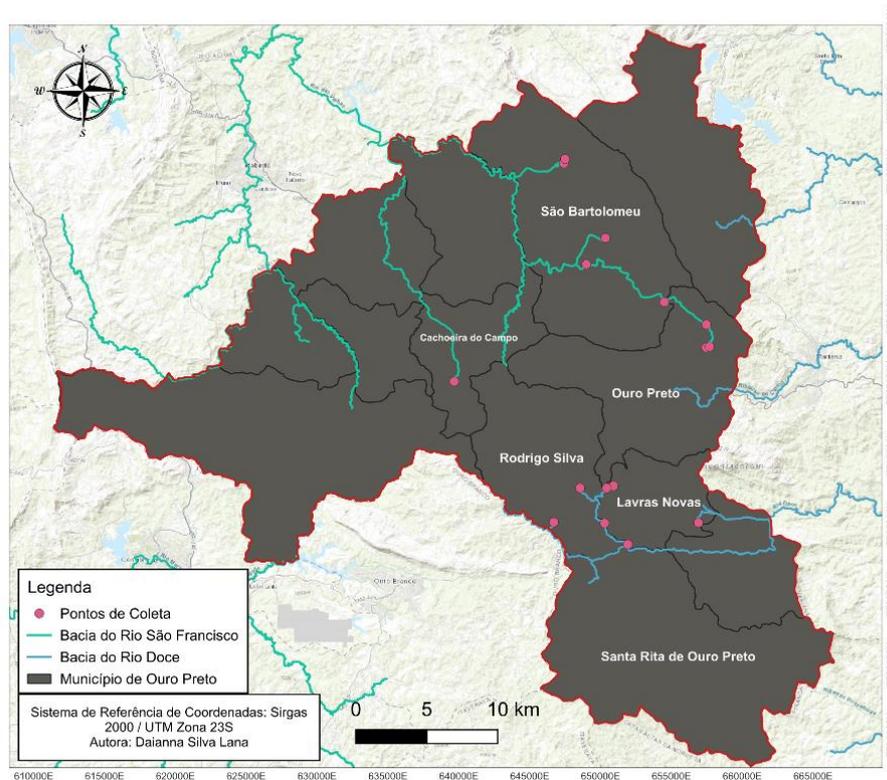
### **4.1. Coleta e Análise de Dados**

#### **4.1.1. Coleta de Amostras**

Esse trabalho integrou uma pesquisa mais ampla realizada pelo PET Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, os dados apresentados se referem, à primeira etapa do estudo, onde foram desenvolvidas atividades de campo para a coleta de amostras de água nas cachoeiras selecionadas para o estudo (Figura 4). As cachoeiras analisadas (Tabela 2) situam-se na região de Ouro Peto-MG, identificadas por seus respectivos nomes e coordenadas geográficas. Em cada cachoeira, foram coletadas amostras de 100mL de água durante cinco (5) semanas consecutivas, dos dias 22/03/2022 ao dia 13/05/2022,

**Figura 4:** Localização dos Pontos de Coleta nos distritos do Município de Ouro Preto – MG.

## Mapa de Localização dos Pontos de Coleta nos Distritos de Ouro Preto - MG



Fonte: Autoria própria

**Tabela 2:** Pontos de Coletas e Coordenadas Geográficas dos Pontos.

Nome das Cachoeiras	Coordenadas Geográficas
Três Moinhos	-20.453511 ; -43.553302
Três Pingos	-20.476678 ; -43.495558
Bacia do Custódio	-20.465718 ; -43.492242
Taboões/Borboletas	-20.490844 ; -43.543131
Cachoeira Brás Gomes	-20.246717 ; -43.588794
Cachoeira de Catarina Mendes	-20.335174 ; -43.519999
Cachoeira de São Bartolomeu	-20.294436 ; -43.560199
Cascata Dom Bosco	-20.387342 ; -43.661609
Castelinho	-20.477417 ; -43.559023
Falcão	-20.454930 ; -43.557798
Folhinha - Cachoeira das Andorinhas	-20.349377 ; -43.491466
Poço 20 - Rio das Velhas	-20.311462 ; -43.572915
Poço das Crianças - Cachoeira das Andorinhas	-20.364196 ; -43.491469
Ponte - Cachoeira das Andorinhas	-20.363516 ; -43.489110
Ponte de Caveira	-20.455056 ; -43.575846
Ponte do Calixto	-20.477162 ; -43.593430
Prainha - Rio das Velhas	-20.243963 ; -43.587916

Fonte: Autoria Própria

## **4.2. Metodologia de Coleta e Preservação das Amostras:**

A metodologia de coleta foi realizada conforme o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2011). Seguindo as recomendações do guia, a coleta foi planejada e executada da seguinte forma:

### **4.2.1. Plano de Amostragem:**

- Definição dos objetivos: Avaliação da balneabilidade das cachoeiras selecionadas.
- Identificação das variáveis a serem analisadas: Coliformes Totais, *Escherichia coli*.
- Determinação dos pontos e frequências de amostragem: Coleta semanal durante cinco semanas consecutivas

### **4.2.2. Procedimentos e Equipamentos Utilizados na Coleta e Preservação de Amostras**

Os procedimentos gerais de coleta seguiram diretrizes padronizadas para garantir a integridade das amostras. A coleta foi realizada sempre a favor da correnteza, com o intuito de evitar possíveis contaminações. Durante todo o processo, foram utilizadas luvas limpas para manipular os frascos, assegurando que não houvesse interferência externa. Em seguida, a coleta foi feita diretamente no ponto específico, enchendo-se os frascos com cuidado para evitar transbordamentos ou perdas.

Após a coleta as amostras foram mantidas refrigeradas durante todo o transporte, assegurando que as características físico-químicas não se alterassem até a chegada ao laboratório. Além disso, todas as informações relevantes como as condições climáticas no momento da coleta, foram devidamente registradas para posterior análise.

Esses procedimentos foram conduzidos em conformidade com as normas estabelecidas pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2011) e de acordo com a ABNT NBR 9898 (1987), que regulamentam as práticas de amostragem e preservação de qualidade em estudos ambientais.

#### **4.3. Análises Laboratoriais**

As variáveis microbiológicas avaliadas foram os Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*). Para determiná-las, foi utilizado o método do substrato cromogênico e fluorogênico (método Colilert® IDEXX Quanti-Tray®/2000) por meio da faixa de detecção Número Mais Provável por 100 ml (NMP/100ml) (APHA, 2012).

#### **4.4. Análises dos Resultados**

Os resultados quantitativos encontrados foram comparados com os valores padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 274/2000. De acordo com a referida resolução, as cachoeiras podem apresentar balneabilidade própria (divididas entre excelente, muito boa e satisfatória) ou imprópria. A Tabela 1 sintetiza os principais critérios de balneabilidade desta resolução.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Parque natural municipal das andorinhas

A análise de balneabilidade realizada no Parque Natural Municipal das Andorinhas aponta que os três pontos avaliados (Ponte das Andorinhas, Poço das Crianças e Folhinha) apresentam condições próprias para balneabilidade, classificadas como excelentes conforme os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA n°274/2000 (Tabela3).

**Tabela 3:** Análise de Dados Parque das Andorinhas

Ponto de Coleta	Datas de Coleta	Coliformes Totais (NMP/100mL)	E.Coli (NMP/100mL)	Classificação
Ponte das Andorinhas	22/03/2022	1.413,6	29,2	Balneabilidade Própria - Condição <b>Excelente</b>
	29/03/2022	387,3	35,0	
	06/04/2022*	1.203,3	14,5	
	12/04/2022	1.732,9	13,4	
	26/04/2022**	1.732,9	8,6	
Poço das Crianças	22/03/2022	866,4	1,0	Balneabilidade Própria - Condição <b>Excelente</b>
	29/03/2022	2.419,6	3,1	
	06/04/2022*	1.203,3	7,5	
	14/04/2022	1.413,6	8,6	
	26/04/2022**	1.046,2	11,0	
Folhinha	22/03/2022	1.732,9	39,9	Balneabilidade Própria - Condição <b>Excelente</b>
	29/03/2022	920,8	15,5	
	06/04/2022*	>2419,6	45,7	
	14/04/2022	1.203,3	21,6	
	26/04/2022**	>2419,6	56,3	

\*Chuva momentos antes da coleta

\*\* Ocorreu um erro de amostragem na coleta realizada na semana anterior (19/04), então, realizou-se a coleta no dia 26/04

#### 5.1.1.1 Ponte das Andorinhas e Poço das Crianças

Os locais da Ponte das Andorinhas e do Poço das Crianças apresentaram consistentemente baixos níveis de *Escherichia coli* (*E. coli*) em todas as datas de coleta, o que indica excelente qualidade da água para atividades de contato primário, como natação e mergulho.

#### 5.1.1.2 Folhinha

Embora a Folhinha também tenha sido classificada com balneabilidade excelente, os valores de *E. coli* registrados foram ligeiramente mais elevados em comparação com os outros dois pontos. Esses valores mais altos podem sugerir

contaminação pontual ou variações decorrentes de fatores ambientais, como chuvas, que podem transportar contaminantes para o corpo d'água.

A presença mais elevada de *E. coli* na Cachoeira da Folhinha indica a necessidade de investigações adicionais para identificar possíveis fontes de contaminação, visando a manutenção da qualidade dos corpos d'água. Algumas das possíveis fontes incluem:

- **Animais selvagens ou domésticos:** A presença de animais nas proximidades do curso d'água pode ser uma fonte significativa de *E. coli*. Animais que habitam ou transitam pela área podem contaminar a água diretamente ou por meio de escoamento superficial durante chuvas.
- **Esgoto não tratado:** Descargas irregulares de esgoto provenientes de áreas residenciais ou turísticas a montante da cachoeira podem contaminar o curso d'água. Esta situação é particularmente preocupante em Ouro Preto, onde a infraestrutura de saneamento é limitada. Durante períodos de alta ocupação turística, o volume de esgoto pode aumentar, agravando a poluição e comprometendo a qualidade da água.

Os resultados gerais são amplamente positivos, indicando que o Parque Natural Municipal das Andorinhas oferece condições seguras para a recreação aquática. No entanto, a vigilância contínua é essencial para garantir a manutenção dessas condições e para permitir a implementação de medidas preventivas ou corretivas conforme necessário.

## **5.2. Cachoeira de Catarina Mendes**

A Cachoeira de Catarina Mendes apresenta uma situação de balneabilidade própria, classificada como satisfatória. Isso significa que, apesar de alguns resultados estarem próximos ou excederem os limites estabelecidos pela legislação, a água ainda é considerada segura para contato primário. Esta classificação baseia-se nos critérios da Resolução CONAMA n°274/2000 que delimitam as condições em que as águas são consideradas próprias para recreação.

**Tabela 4:** Análise de Dados Cachoeira Catarina Mendes

Ponto de Coleta	Data da Coleta	Coliformes Totais (NMP/100mL)	E.Coli (NMP/100mL)	Classificação
Cachoeira de Catarina Mendes	29/03/2022	2.419,6	49,7	Balneabilidade Própria - Condição <b>Satisfatória</b>
	06/04/2022*	1.986,3	135,4	
	13/04/2022	7.170,0	1100,0	
	20/04/2022	>2419,60	187,2	
	04/05/2022	>2419,6	547,5	

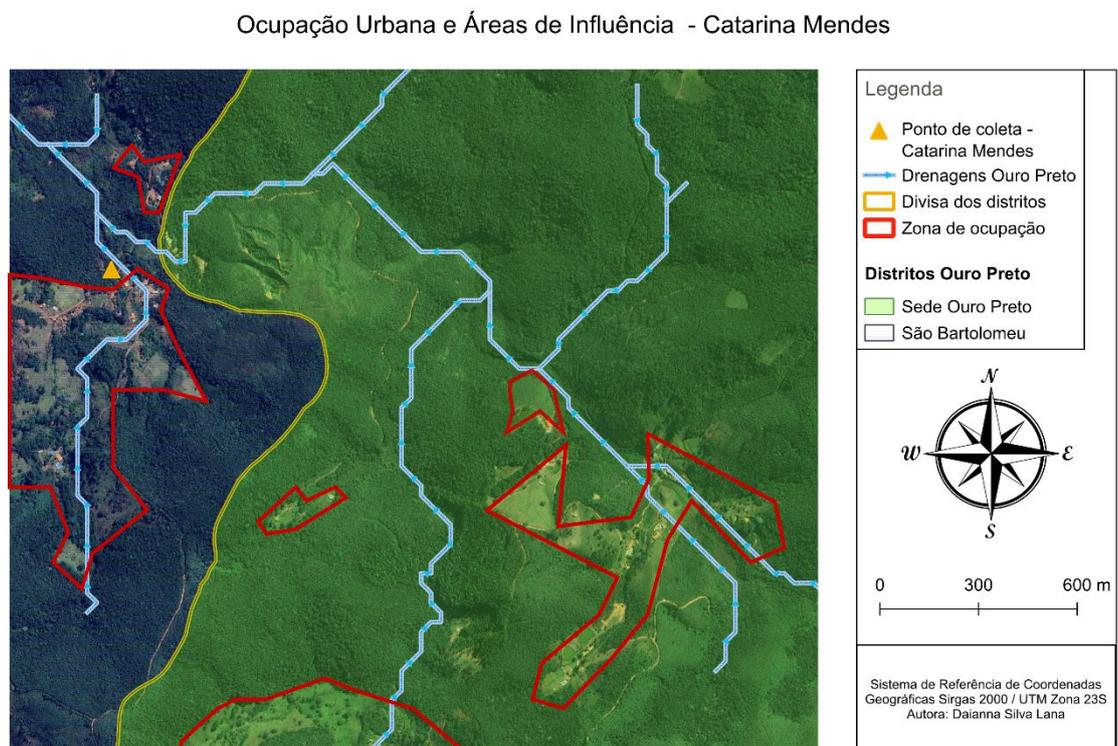
\*Chuva momentos antes da coleta

Fonte: Autoria Própria

### 5.2.1 Possíveis Fontes de Contaminação

- **Esgoto Doméstico:** A contaminação pode estar associada ao esgoto doméstico inadequado ou não tratado proveniente das comunidades locais. Esse problema tende a se agravar durante períodos de chuva, quando o escoamento superficial aumenta, levando o esgoto não tratado para os corpos d'água. O mapa de ocupação urbana (Figura 5) revela que zonas habitacionais estão localizadas próximas às drenagens que alimentam a Cachoeira de Catarina Mendes. Embora a imagem não permita concluir diretamente se o esgoto está sendo lançado diretamente nas drenagens, a proximidade dessas zonas ocupadas sugere que o esgoto doméstico inadequadamente tratado pode estar contribuindo para a contaminação da água.

**Figura 5:** Ocupação urbana e áreas de influência da cachoeira de Catarina Mendes.



• **Atividades Agrícolas e Rurais:** Resíduos de atividades agrícolas e rurais, incluindo contaminantes fecais de animais, podem ser transportados para o corpo d'água durante as chuvas, contribuindo para a contaminação da água. A proximidade das zonas de ocupação, conforme mostrado na Figura 5, também pode estar relacionada à presença de práticas agrícolas nas redondezas, que potencialmente adicionam contaminantes à água que fluem para a cachoeira. Assim, a combinação de esgoto doméstico inadequadamente tratado e resíduos agrícolas pode ser um fator relevante na contaminação da água.

Realizar ações de manejo e controle da qualidade da água enquanto ela ainda está classificada como satisfatória é crucial para evitar a deterioração da situação. A implementação de medidas corretivas e preventivas neste estágio pode prevenir a evolução da qualidade da água para níveis insatisfatórios, o que exigiria intervenções mais complexas e custosas. Além disso, ações proativas podem ajudar a prevenir problemas futuros ao abordar as fontes de contaminação antes que os níveis de poluição se intensifiquem, minimizando o impacto ambiental e protegendo a saúde pública. Investir em medidas preventivas também é geralmente mais econômico do que enfrentar os custos associados à recuperação de áreas já contaminadas. A preservação da qualidade da água contribui para a sustentabilidade dos ecossistemas locais e para a continuidade das atividades recreativas e econômicas que dependem da cachoeira.

Para alcançar esses objetivos, é fundamental implementar iniciativas que melhorem o tratamento e a gestão do esgoto, tanto rural quanto urbano, nas áreas a montante, a fim de reduzir os níveis de contaminantes. Além disso, são necessários estudos ambientais mais aprofundados para identificar com precisão as fontes de contaminação e entender melhor a hidrologia da região. Aumentar a frequência do monitoramento da qualidade da água, especialmente antes e após eventos de chuva, é crucial para implementar estratégias eficazes de intervenção e responder rapidamente a picos de contaminação

### 5.3. Cachoeiras de São Bartolomeu

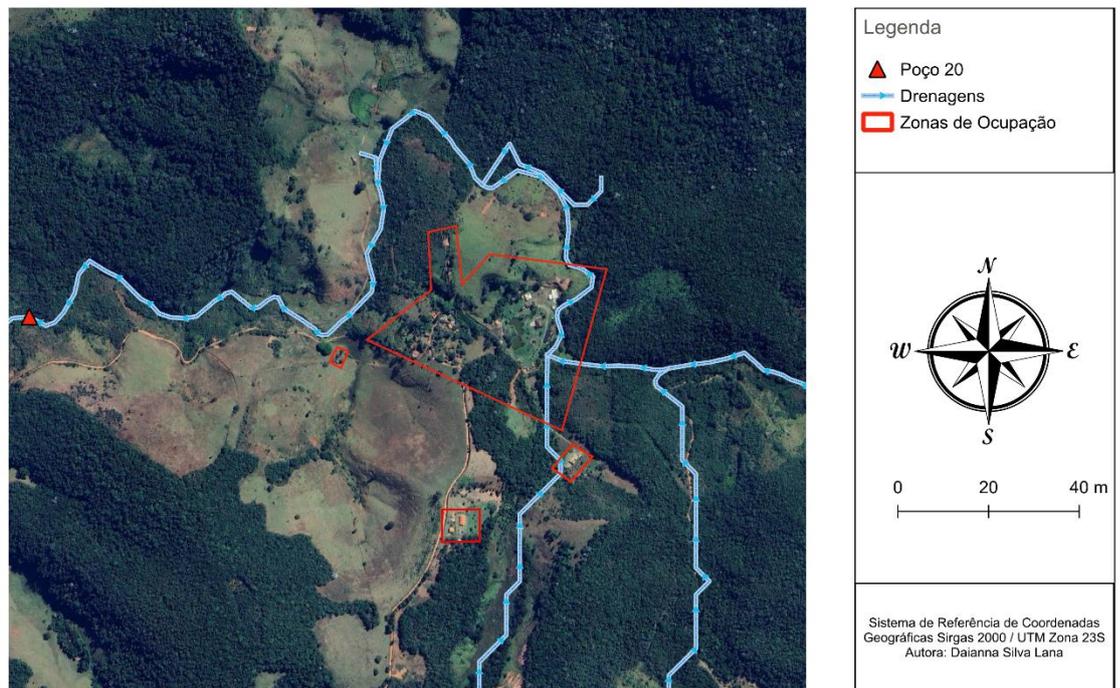
As Cachoeiras de São Bartolomeu apresentam uma distinção clara entre áreas classificadas como próprias e impróprias para balneabilidade. A Cascata de São Bartolomeu e a Cachoeira de Brás Gomes foram classificadas como próprias para balneabilidade como é possível constar na Tabela 5, enquanto a Prainha do Rio das Velhas e o Poço 20 foram classificadas como impróprias.

**Tabela 5:** Análise de Dados Cachoeiras de São Bartolomeu

Ponto de Coleta	Data da Coleta	Coliformes Totais (NMP/100mL)	E.Coli (NMP/100mL)	Classificação
Cascata de São Bartolomeu	29/03/2022	2.419,6	76,7	Balneabilidade Própria - Condição <b>Excelente</b>
	06/04/2022	>2419,6	93,4	
	12/04/2022	13.140,0	<100,0	
	20/04/2022	>2419,6	71,7	
	04/05/2022	>2419,6	131,4	
Brás Gomes	29/03/2022	146,4	106,3	Balneabilidade Própria - Condição <b>Excelente</b>
	06/04/2022	316,9	30,5	
	12/04/2022	>2419,6	60,2	
	20/04/2022	1.986,3	77,1	
	04/05/2022	43,2	9,7	
Prainha	05/04/2022	2.419,6	125,9	Balneabilidade <b>Imprópria</b>
	13/04/2022	20.460,0	13570,0	
	20/04/2022	>2419,6	1732,9	
	04/05/2022	>2419,6	687,7	
	11/05/2022	>2419,6	2419,6	
Poço 20 Rio das Velhas	05/04/2022	20.420,0	1580,0	Balneabilidade <b>Imprópria</b>
	13/04/2022	8.600,0	410,0	
	20/04/2022	>2419,6	228,2	
	04/05/2022	>2419,6	93,3	
	11/05/2022	>2419,6	1203,3	

\*Fonte: Autoria Própria

## Ocupação Urbana e Áreas de Influência - Poço 20



### 5.3.1. Possíveis Fontes de Contaminação

Assim como na Cachoeira de Catarina Mendes, também é possível observar a presença de zonas de ocupação a montante dos pontos de coleta próximos à Prainha do Rio das Velhas e ao Poço 20 (Figuras 6 e 7). Essa proximidade pode explicar os níveis elevados de *E.coli* encontrados nas amostras coletadas, uma vez que áreas habitadas e atividades humanas são potenciais fontes de contaminação.

**Figura 6:** Ocupação urbana e áreas de influência da Prana do Rio das Velhas

## Ocupação Urbana e Áreas de Influência - Prainha do Rio das Velhas



**Figura 7:** Ocupação urbana e áreas de influência do Poço 20

### 5.4. Análise dos Resultados da Cascata Dom Bosco

#### 5.4.1. Visão Geral dos Resultados

A Cascata Dom Bosco apresentou balneabilidade própria com condições satisfatórias (Tabela 6). Embora alguns resultados estivessem próximos ou excedendo os limites estabelecidos pela legislação, a água ainda é considerada segura para contato primário.

**Tabela 6:** Análise de Coletas: Cascata Dom Bosco.

Ponto de Coleta	Data da Coleta	Coliformes Totais (NMP/100mL)	E.Coli (NMP/100mL)	Classificação
Cascata Dom Bosco	29/03/2022	6.020,0	5460,0	Balneabilidade Própria - Condição <b>Satisfatória</b>
	06/04/2022	4.550,0	100,0	
	12/04/2022	4.650,0	520,0	
	19/04/2022	4.640,0	410,0	
	27/04/2022	250,0	12,0	

Apesar dessa cachoeira apresentar-se em condição satisfatória é aconselhável uma investigação das condições sanitárias a montante da queda d'água, no intuito de identificar ações necessárias de saneamento rural.

## **5.5. Análise dos Resultados das Cachoeiras de Lavras Novas**

### **5.5.1. Visão Geral**

Dos oito pontos coletados no distrito de Lavras Novas, cinco apresentaram balneabilidade própria com condições excelentes: Cachoeira 3 Moinhos, Cachoeira do Falcão, Cachoeira 3 Pingos, Ponte do Calixto e Ponte da Caveira. A Cachoeira Castelinho apresentou balneabilidade própria com condição muito boa, enquanto a Bacia do Custódio foi classificada como balneável em condição satisfatória. A única exceção foi a Cachoeira de Taboões, que apresentou balneabilidade imprópria. Os resultados detalhados estão apresentados na **Tabela 7**.

**Tabela 7: Análise das Coletas Cachoeiras de Lavras Novas**

Ponto de Coleta		Coliformes Totais (NMP/100mL)	E.Coli (NMP/100mL)	Classificação
3 Moinhos	30/03/2022	1.119,9	11,0	Balneabilidade Própria - Condição <b>Excelente</b>
	06/04/2022**	980,4	12,1	
	12/04/2022	146,4	10,8	
	19/04/2022	980,4	7,5	
	27/04/2022	65,1	2,0	
Falcão	30/03/2022	1.203,3	12,2	Balneabilidade Própria - Condição <b>Excelente</b>
	06/04/2022**	15.553,1	30,5	
	13/04/2022	1.413,6	31,7	
	19/04/2022	1.299,7	7,5	
	27/04/2022	93,3	<1	
Castelinho	30/03/2022	1.119,9	101,0	Balneabilidade Própria - Condição <b>Muito Boa</b>
	06/04/2022	>2419,6	261,3	
	13/04/2022*****	86.640,0	13140,0	
	19/04/2022	187,2	20,3	
	27/04/2022	58,8	<1	
Tabuões	30/03/2022	1.119,9	71,7	Balneabilidade <b>Imprópria</b>
	06/04/2022**	>2419,6	920,8	
	13/04/2022*****	81.640,0	5540,0	
	19/04/2022	2.419,6	30,1	
Bacia do Custódio	30/03/2022	46.740,0	<1	Balneabilidade Própria - Condição <b>Satisfatória</b>
	08/04/2022****	10.000,0	<1000	
	13/04/2022**	2.160,0	410,0	
	20/04/2022	1.986,3	1,0	
	03/05/2022	866,4	1,0	
3 Pingos	12/04/2022	721,5	7,5	Balneabilidade Própria - Condição <b>Excelente</b>
	08/04/2022**	630,0	<100	
	13/04/2022***	29.090,0	740,0	
	20/04/2022	1.119,9	25,9	
	03/05/2022	2.419,6	14,6	
Ponte do Calixto	30/03/2022	1.986,3	5,2	Balneabilidade Própria - Condição <b>Excelente</b>
	08/04/2022**	1.990,0	<100	
	12/04/2022	2.750,0	<100	
	19/04/2022	2.419,6	37,3	
	27/04/2022	1.732,9	<1	
Ponte da Caveira	30/03/2022	1.553,1	29,9	Balneabilidade Própria - Condição <b>Excelente</b>
	08/04/2022**	520,0	<100	
	12/04/2022	3.050,0	<100	
	19/04/2022	1.046,2	3,1	
	27/04/2022	10,8	<1	

\* Chuva momentos antes da coleta

\*\* Ocorreu um erro de amostragem na coleta realizada na semana anterior (19/04), então, realizou-se a coleta no dia 26/04

\*\*\* Chuva momentos antes da coleta e vazão de água na cachoeira mais intensa do que nas semanas anteriores

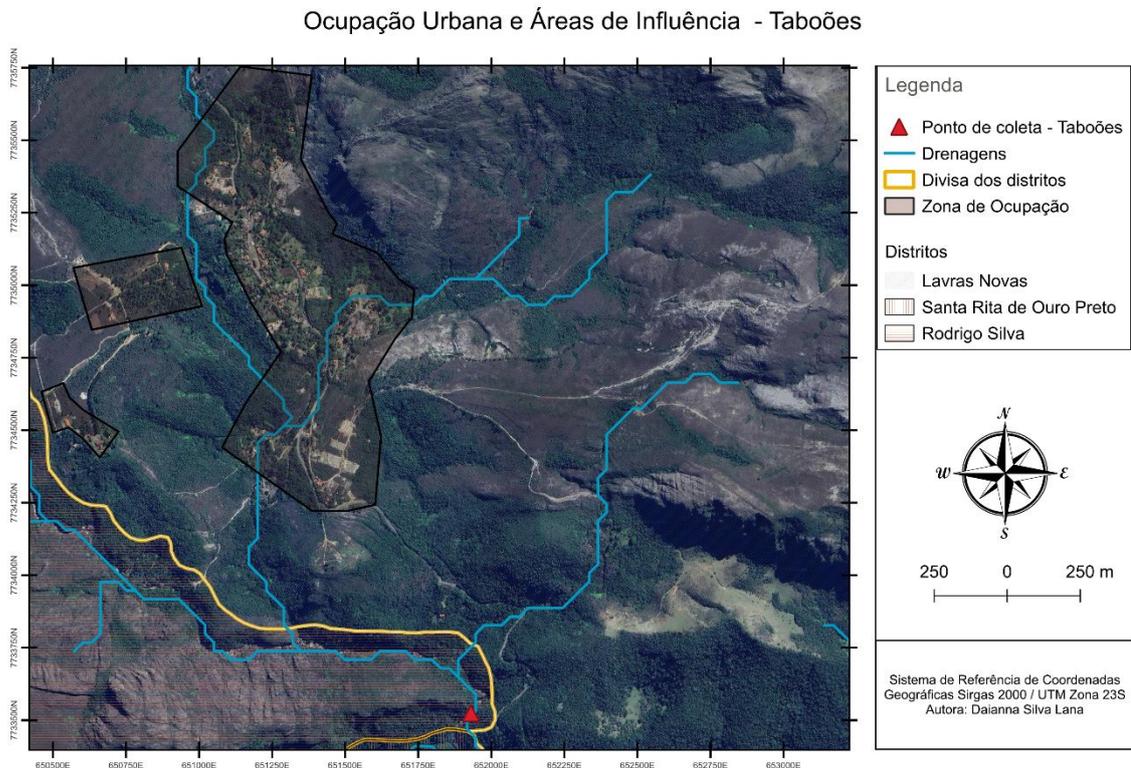
\*\*\*\* Bacia do Custódio com possível erro na análise.

\*\*\*\*\* Cachoeira Castelinho e Tabuões com tromba d'água no momento da coleta.

As variações nas condições de balneabilidade das cachoeiras de Lavras Novas ressaltam a complexidade da gestão de recursos hídricos em áreas sujeitas a influências ambientais e humanas variáveis. Os eventos de chuva parecem ser um fator crítico que exacerba os problemas de qualidade da água, enfatizando a necessidade de sistemas robustos de manejo de águas pluviais e saneamento rural.

Assim como nos outros pontos que apresentaram balneabilidade insatisfatória, a Cachoeira de Taboões também possui uma zona ocupada a montante do ponto de coleta como observado na Figura 8. Essa proximidade reforça a possibilidade de contaminação por esgoto, especialmente em períodos de chuva, quando o escoamento superficial tende a aumentar a carga de poluentes no corpo d'água, agravando a qualidade da água (Ribeiro, 2023).

**Figura 8:** Ocupação urbana e áreas de influência na Cachoeira de Taboões



## 5.6. Limitações do estudo

Uma das principais dificuldades enfrentadas na avaliação da balneabilidade em balneários de água doce é a escassez de estudos e metodologias específicas para esse contexto tanto no Brasil quanto internacionalmente. Segundo Lopes *et al.* (2013), há uma carência notória de investigações que foquem especificamente nos balneários de água doce no Brasil, o que resulta em uma compreensão limitada dos riscos associados e das estratégias eficazes de gestão. Esta carência é agravada pela desatualização metodológica nas práticas de monitoramento e avaliação da balneabilidade, ainda ancoradas em resoluções que não acompanham os avanços científicos e tecnológicos recentes (Lopes *et al.*, 2012).

Frederico Azevedo Lopes, também ressalta a insuficiência de estudos específicos e de um sistema de monitoramento robusto para avaliar a segurança das águas recreativas. Lopes menciona a diversificação das fontes de contaminação e a inadequação dos indicadores atuais que, frequentemente, não conseguem distinguir entre contaminações de origem humana e animal, nem detectar a presença de protozoários e vírus entéricos (Lopes *et al.*, 2012; Van Asperen *et al.*, 1995).

Internacionalmente, a situação não é muito diferente. Lopes *et al.* (2012) apontam que dos estudos apresentados pela *United States Environmental Protection Agency*, USEPA, uma pequena fração dedica-se aos balneários de água doce, evidenciando uma lacuna significativa no conhecimento e nas diretrizes aplicáveis globalmente.

Essa falta de estudos específicos limita significativamente a capacidade dos formuladores de políticas e gestores ambientais de desenvolverem normas e práticas que efetivamente garantam a segurança e a qualidade das experiências recreativas em ambientes de água doce. Além disso, a ausência de metodologias adequadas impede a implementação de programas de monitoramento que poderiam identificar riscos potenciais e mitigar impactos negativos sobre a saúde pública.

Portanto, é imperativo que haja um esforço conjunto para atualizar as diretrizes e promover estudos que abordem as especificidades dos balneários de água doce. Isso não só ajudará a preencher as lacunas existentes no conhecimento científico, mas também garantirá que as medidas de proteção à saúde pública sejam baseadas em evidências sólidas e relevantes para as condições locais.

## 6. DISCUSSÃO

A análise dos dados de balneabilidade dos pontos coletados revelou importantes informações sobre a influência de fatores ambientais na qualidade da água das cachoeiras, especialmente no que diz respeito à ocupação a montante dos pontos de coleta. Em todos os pontos de coleta onde a balneabilidade foi considerada insatisfatória, havia uma zona de ocupação a montante, sugerindo a possível presença de esgoto doméstico e material fecal proveniente de animais e criações. Esses contaminantes podem ser levados para os cursos d'água, comprometendo a qualidade da água. Estudos anteriores demonstram que o escoamento superficial em áreas urbanas e rurais pode introduzir poluentes significativos nos corpos d'água (Boehm *et al.*, 2003). Portanto, é crucial avaliar se as moradias a montante da cachoeira estão contribuindo para esta contaminação.

Esse problema é ainda mais preocupante durante períodos de chuva, quando o escoamento superficial intensifica a transferência desses materiais contaminados para os corpos d'água, resultando em um aumento nos níveis de *E. coli*. Esse fenômeno pode ser observado no presente estudo, onde algumas das amostras coletadas durante ou logo após eventos de chuva apresentaram níveis de *E. coli* significativamente mais altos em comparação às demais amostras. Esse padrão está alinhado com estudos anteriores que demonstram que eventos de precipitação frequentemente levam a aumentos significativos nos níveis de coliformes em águas superficiais (Lopes, 2012, Ribeiro, 2023).

A condição de balneabilidade imprópria da Cachoeira de Taboões pode estar relacionada com a chuva, dado que os valores mais elevados de *E. coli* (06/04 e 13/04) foram encontrados nas amostras coletadas após precipitações.

De maneira semelhante, as amostras da Prainha do Rio das Velhas e do Poço 20 também podem estar sendo contaminadas por esgoto doméstico e transferência de material fecal de pastagens da região. A contaminação das águas superficiais por esgoto não tratado é um problema comum em muitas áreas, afetando diretamente a qualidade da água e a saúde pública (Ribeiro *et al.*, 2023). Assim, é necessária uma investigação mais aprofundada para identificar as causas exatas que afetam a balneabilidade dessas cachoeiras e para desenvolver medidas de mitigação eficazes.

As variações nos níveis de contaminação observadas, especialmente após eventos de chuva, como na cachoeira de Taboões nos dias 06/04 e 13/04, assim como

em Castelinho e 3 Pingos no dia 13/04, estão, estão alinhadas com as tendências documentadas em outros estudos sobre a qualidade da água em ambientes similares. Isso sublinha a importância de considerar os fatores sazonais e climáticos na gestão da qualidade da água. Esses padrões indicam que as estratégias de monitoramento e gerenciamento devem ser adaptadas para responder às mudanças climáticas. Medidas como a ampliação do sistema de tratamento e coleta de esgoto, a implementação de práticas de manejo de águas pluviais e a promoção de educação ambiental entre as comunidades locais e turistas podem ser essenciais para reduzir os riscos de contaminação e garantir a segurança e a sustentabilidade dos recursos hídricos.

## 7. CONCLUSÃO

Os resultados das análises de balneabilidade realizadas nos meses de março a abril de 2022 nos corpos d'água na região de Ouro Preto indicam que, das dezessete áreas amostradas, quatorze estavam classificadas como próprias para recreação de contato primário, conforme os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 274/2000, para essa data. Entre essas, dez cachoeiras apresentaram balneabilidade excelente (Ponte das Andorinhas, Poço das Crianças, Cachoeira da Folhinha, Cascata de São Bartolomeu, Cachoeira Brás Gomes, Cachoeira 3 Moinhos, Cachoeira do Falcão, Cachoeira 3 Pingos, Ponte do Calixto e Ponte da Caveira), uma foi classificada como muito boa (Cachoeira do Castelinho), e três foram consideradas satisfatórias (Cachoeira de Catarina Mendes, Cascata Dom Bosco e Bacia do Custódio).

Por outro lado, três áreas (Prainha do Rio das Velhas, Ponto 20 do Rio das Velhas e Cachoeira de Taboões) não atenderam aos critérios de balneabilidade para o mesmo período, sendo classificadas como impróprias para o uso recreativo. Esta classificação é baseada nas características microbiológicas de indicadores fecais da água investigadas durante o período de amostragem deste estudo (30/03/2022 13/05/2022) .

Vale ressaltar que a ocorrência de chuvas apresentou ter um impacto na qualidade da água de algumas cachoeiras, provavelmente devido ao arraste de materiais contaminados para os cursos d'água. Este fenômeno foi observado em alguns pontos pelo aumento dos níveis de *E. coli* em amostras coletadas após eventos de precipitação.

A Bacia do Custódio, embora classificada como satisfatória, provavelmente possui condições melhores de balneabilidade, considerando que 60% das amostras apresentaram baixos níveis de *E. coli*. Falhas na coleta ou análise de algumas amostras, associadas à influência de chuvas intensas, podem ter prejudicado a avaliação deste ponto. A Cachoeira de Taboões, classificada como imprópria, apresentou os maiores valores de *E. coli* nas amostras coletadas após a chuva, sugerindo contaminação por esgoto doméstico ou material fecal de animais. Portanto, é necessário avaliar se as moradias a montante da cachoeira estão contribuindo para essa contaminação. Da mesma forma, amostras do Rio das Velhas podem estar

sendo impactadas por esgoto doméstico e dejetos animais, destacando a necessidade de uma investigação mais aprofundada.

Em suma, os resultados deste estudo indicam que, apesar de uma gestão ambiental eficaz e preservação natural em grande parte das áreas avaliadas, há uma necessidade contínua de vigilância e melhorias na infraestrutura de saneamento, educação ambiental e práticas de manejo de águas pluviais para garantir a segurança e sustentabilidade dos recursos hídricos em Ouro Preto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. *NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas*. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias/atlas-esgotos>>. Acesso em: 10 out. 2024.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF, 2012.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos*. Brasília: ANA, 2011.

ASHBOLT, N. J. Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Toxicology*, v. 198, p. 229-238, 2004. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.tox.2004.01.030>>.

BARTRAM, J.; REES, G. (Ed.). *Monitoring bathing waters. A practical guide to the design and implementation of assessments and monitoring programmes*. London: Spon, 2000.

BOEHM, A. B. c. Fecal indicator bacteria: Water quality standards, analytical methods, and impacts on recreational water quality. *Environmental Health Perspectives*, v. 117, n. 4, 2009.

BOHRER, Alex Fernandes. *Ouro Preto: um novo olhar*. 1. ed. São Paulo: Scortecci Editora, 2011. 192 p. ISBN 978-85-366-2235-4.

BRAGA, L. T. P. O uso do solo como intensificador dos processos de voçorocamento em Cachoeira do Campo – MG. Instituto de Geociências (IGC). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, MG. 45 p. 2007.

BRAGA, R. *Clima de Ouro Preto*. Belo Horizonte: Editora ClimaTempo, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000*. Define critérios de balneabilidade das águas brasileiras. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2000. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html>>. Acesso em: 10 out. 2024.

CARPENTER, S. R. *et al.* Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, v. 8, n. 3, p. 559-568, 1998.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 2003.

COMETTI, José. Índice de Qualidade da Água dos Riachos do Cavouco e Parnamirim, Recife-PE. DOI: 10.5327/Z2176-94781423.

DEVARAJAN, N. *et al.* Occurrence of antibiotic resistance genes and bacterial markers in a tropical river receiving hospital and urban wastewaters. *PloS One*, v. 11, n. 2, e0149211, 2016. DOI: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149211>>.

DUFOUR, A. P. *et al.* Water ingestion during swimming activities in a pool: a pilot study. *Journal of Water and Health*, v. 4, n. 4, p. 425-430, 2006.

DUFOUR, A. *A short history of methods used to measure bathing beach water quality*. *Journal of Microbiological Methods*, v. 181, p. 106134, fev. 2021. DOI <<https://doi.org/10.1016/j.mimet.2021.106134>>.

EUROPEAN UNION (EU). *Directive 2006/7/EC of 15 February 2006. Concerning the Management of Bathing Water Quality and Repealing Directive 76/160/EEC*. Official Journal of the European Union, 2006. 15 p.

FONSECA, Alberto; PRADO FILHO, José Francisco do. Um esquecido marco do saneamento no Brasil: o sistema de águas e esgotos de Ouro Preto (1887-1890). *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 51-66, jan.-mar. 2010.

GLOBALNEWS.CA. Paris 2024 cancels marathon swim test run over Seine water quality concerns, 2024. Disponível em: <<https://globalnews.ca>>. Acesso em: 10 out. 2024.

GLOBO ESPORTE. De Rio Sena poluído a Vila Olímpica criticada: veja os maiores problemas das Olimpíadas 2024. *Globo Esporte*, 2024. Disponível em: <<https://ge.globo.com/olimpiadas/noticia/2024/08/11/de-rio-sena-poluido-a-vila-olimpica-criticada-veja-os-maiores-problemas-das-olimpiadas-2024.ghtml>>. Acesso em: 10 out. 2024.

GOODYEAR, K. L.; McNEILL, S. Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macro-invertebrates of different feeding guilds: a review. *Science of The Total Environment*, v. 229, n. 1-2, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades e Estados: Ouro Preto - MG. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/ouro-preto.html>>. Acesso em: 10 out. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *O Brasil em números 2021*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/?id=31572&view=detalhes>>. Acesso em: 10 out. 2024.

IPHAN. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Centro Histórico de Ouro Preto (MG). Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/30>>. Acesso em: 10 out. 2024.

KAPER, J.; NATARO, J.; MOBLEY, H. Pathogenic *Escherichia coli*. *Nat Rev Microbiol*, v. 2, p. 123-140, 2004. DOI: <<https://doi.org/10.1038/nrmicro818>>.

LOPES, Frederico Wagner de Azevedo. Proposta metodológica para avaliação de condições de balneabilidade em águas doces no Brasil. 2020. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

MARTINS, Luana Kessia Lucas Alves. Contribuições para monitoramento de balneabilidade em águas doces no Brasil. 2012. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br>>. Acesso em: 10 out. 2024.

MINAS GERAIS. Lei nº 1039, de 12 de dezembro de 1953. Cria o município de Ouro Branco, desmembrado de Ouro Preto. *Diário Oficial do Estado de Minas Gerais*, 1953.  
MINAS GERAIS. Lei nº 843, de 7 de setembro de 1923. Emancipa o município de Itabira do Campo (atual Itabirito). *Diário Oficial do Estado de Minas Gerais*, 1923.

OLIVEIRA, T. C.; VIEIRA, J. E.; GONÇALVES, D. C. Determinação de metais traço no material particulado em Ouro Preto. *Química Nova*, v. 32, n. 2, p. 333-338, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/cbL4V7trHL5PGzrvqRYXQpQ/>>. Acesso em: 9 out. 2024.

PEREIRA, L. G. O tratamento de esgoto em Ouro Preto: Aspectos históricos e técnicos dos séculos XIX ao XXI. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <<http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1149>>. Acesso em: 10 out. 2024.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE OURO PRETO (PMSB/OP). *Plano Municipal de Saneamento Básico: diagnóstico ambiental do município de Ouro Preto*. Ouro Preto: Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. Dados geográficos. Disponível em: <<https://www.ouropreto.mg.gov.br/turismo/dados-geograficos>>. Acesso em: 10 out. 2024.

PRÜSS, A. Review of epidemiological studies on health effects from exposure to recreational water. *Journal of Epidemiology*, v. 27, p. 471-478, 1998.

REIS, R. S. d.; HORN, F. Enteropathogenic *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella* and *Yersinia*: cellular aspects of host-bacteria interactions in enteric diseases. *Gut Pathog*, v. 2, n. 8, 2010. DOI: <<https://doi.org/10.1186/1757-4749-2-8>>.

RIBEIRO, Rodrigo Magno; CARVALHO, Alex de. Avaliação das condições de balneabilidade na Represa do Taboão, Santa Rita de Ouro Preto, Minas Gerais. *Revista GEOgrafias*, v. 19, n. 2, jul./dez. 2023. DOI: 10.35699/2237-549X.2023.46361.

RODRIGUES, A. S. L.; MALAFAIA, G.; CASTRO, P. de T. A. Avaliação ambiental de trechos de rios na região de Ouro Preto-MG através de um protocolo de avaliação rápida. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 10, n. 1, p. 74-83, jan./jun. 2008.

RUSCHMANN, D. V. M. *Ecoturismo: práticas para um turismo sustentável*. Campinas: Papirus, 1997.

SANDOVAL, C. da G.; ARRUDA, J. S.; SANTOS, N. C. Ouro Preto: impactos da atividade turística em uma cidade tombada. *Itinerarium*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 1-20, 2009. Disponível em: <<https://seer.unirio.br/itinerarium/article/view/398>>. Acesso em: 10 out. 2024.

SILVA, F. R. Perspectivas para o uso turístico dos recursos da herança geológica e da evolução geomorfológica da paisagem do Quadrilátero Ferrífero-MG. 2007.

Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MPBB-79DNDW/1/disserta\\_\\_o\\_fabiano\\_reis\\_silva.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MPBB-79DNDW/1/disserta__o_fabiano_reis_silva.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2024.

SILVA, Neusely da *et al.* *Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água*. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2017. E-book. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2024.

TEIXEIRA, Diogo Araújo. Construção e determinação do indicador de salubridade ambiental (ISA/OP) para as áreas urbanas do município de Ouro Preto, MG. 2017. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

THE INDEPENDENT. Marathon swimming training cancelled as concern over River Seine water quality continues, 2024. Disponível em: <<https://independent.co.uk>>. Acesso em: 10 out. 2024.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. *Ambient Water Quality Criteria for Bacteria*. Washington: EPA440/5-84-002, 1986. 24 p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. *Bacterial Water Quality Standards for Recreational Waters (Freshwater and Marine Waters) Status Report*. Washington: EPA-823-R-03-008, 2003. 32 p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. *Report of The Experts Scientific Workshop on Critical Research Needs For The Development of New or Revised Recreational Water Quality Criteria*. Warrenton: EPA 823-R-07-006, 2007. 199 p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. *Review of Published Studies to Characterize Relative Risks From Different Sources of Fecal Contamination in Recreational Water*. Washington: EPA 822-R-09-001, 2009. 103 p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. *Water Quality Criteria*. Disponível em: <<http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/health/recreation/index.cfm>>. Acesso em: 10 out. 2024.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Quality criteria for water*. Washington, D.C.: EPA, 1976. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-10/documents/quality-criteria-water-1976.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2024.

VAN ASPEREN, I. A. *et al.* Risk of otitis externa after swimming in recreational fresh water lakes containing *Pseudomonas aeruginosa*. *BMJ*, v. 311, p. 1407-1410, 1995.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

VIEIRA, Tiago Guelssi Armoa. *Ecoturismo nos Lençóis Maranhenses: representações sociais por alunos e professores do ensino profissional*. Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Diana B. de S. e C. Ortiz Monteiro. 2021. 231 f. Dissertação (Mestrado em Educação e Desenvolvimento Humano) – Programa de Pós-graduação em Educação e Desenvolvimento Humano: Formação, Políticas e Práticas Sociais, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: World Health Organization, 2017. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>>. Acesso em: 10 out. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Water, sanitation, hygiene and health: A primer for health professionals*. Geneva: World Health Organization, 2020. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789240003170>>. Acesso em: 10 out. 2024.