



MIRENE LOPES MORAIS

**QUALIDADE DE ÁGUA E CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO
RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DO FUNIL EM
IJACI -MG**

**LAVRAS - MG
2023**

MIRENE LOPES MORAIS

**QUALIDADE DA ÁGUA E CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO RESERVATÓRIO DA
USINA HIDRELÉTRICA DO FUNIL EM IJACI -MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Profissional em Tecnologia e Inovações Ambientais, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. *DSc.* Fátima Resende Luiz Fia
Orientadora

**LAVRAS – MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Morais, Mirene Lopes.

Qualidade da água e classificação trófica do reservatório da Usina Hidrelétrica do Funil em Ijaci -MG / Mirene Lopes Moraes. – 2023.

67 p. : il.

Orientadora: Fátima Resende Luiz Fia.

Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Águas superficiais. 2. Balneabilidade. 3. Índices de monitoramento. I. Fia, Fátima Resende Luiz. II. Título.

MIRENE LOPES MORAIS

**QUALIDADE DA ÁGUA E CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO RESERVATÓRIO DA
USINA HIDRELÉTRICA DO FUNIL EM IJACI -MG**

**WATER QUALITY AND TROPHIC CLASSIFICATION OF THE RESERVOIR AT
THE FUNIL HYDROELECTRIC PLANT IN IJACI – MG, BRAZIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Profissional em Tecnologia e Inovações Ambientais, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 13 de março de 2023.

DSc. Jacineumo Falcão de Oliveira
DSc. Lucas Henrique Pedrozo Abreu

UFERSA
UFLA

Profa. *DSc.* Fátima Resende Luiz Fia
Orientadora

**LAVRAS - MG
2023**

À minha mãe que abdicou de muito para criar os filhos com dignidade e retidão. Nunca poderei retribuir à altura seus esforços, em todas as minhas conquistas esteve presente.
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha amada mãe, Maria Helena, que abdicou de muito, em sua vida, para possibilitar e incentivar o desenvolvimento moral e profissional dos filhos. Foi, para mim, referência de força, determinação, afeto e caridade com todos ao seu redor.

Aos meus irmãos, Flávio e Valéria, pelo apoio nos momentos de esmorecimento e pelo incentivo ao crescimento, transmitido por meio dos seus próprios atos e conquistas.

Aos meus sobrinhos Davi e Eliseu, por tornarem minha vida mais leve com a inocência e sinceridade inerente às crianças. Aos meus cunhados Claudiane e Leandro (*In memoriam*) por somarem alegria à nossa família e sempre se congratularem com minhas conquistas pessoais e profissionais.

Ao meu namorado Luciano, que me acompanhou, durante esta trajetória, sendo paciente e compreensivo e compartilhando comigo suas vivências e conhecimentos adquiridos ao longo de sua jornada acadêmica.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia Ambiental (DAM) pela oportunidade de realizar o mestrado.

A minha orientadora, Profa.Dra. Fátima, por ter acreditado na importância do projeto, possibilitando a abertura de novos caminhos por uma área de conhecimento distinta da minha graduação e pela qual tenho grande interesse. Meus sinceros agradecimentos à sua atenção e disponibilidade durante esse período.

Ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais que possibilita a continuidade da formação acadêmica dos profissionais que procuram desenvolver suas atividades em consonância com a conservação e recuperação do meio ambiente.

Ao Prof. Lucas Abreu, que desde os tempos de graduação me incentiva, no desenvolvimento profissional e acadêmico, tenho muita admiração pelo seu profissionalismo e tratamento humano dispensado aos alunos.

Aos meus colegas de trabalho, que sempre demonstraram interesse no desenvolvimento da pesquisa, em especial, à Wanilla que compartilhou comigo informações de vital importância para o desenvolvimento do projeto e ao Sadi que, tendo sido meu professor na graduação, continuou transmitindo seus conhecimentos, ao longo dos anos, orientando minha jornada profissional.

Aos meus gestores, Secretário de Desenvolvimento Urbano Antonio Maria, Secretário de Planejamento e Gestão, Arnaldo Campos e Prefeito Fabiano da Silva, que, entendendo a importância da pesquisa para o município, possibilitaram a adequação de horários ao seu

desenvolvimento, além da divulgação do andamento dos trabalhos por meio de publicações em revistas de circulação municipal.

Aos técnicos dos laboratórios, Juliana e Marcio, que foram tão importantes para que eu pudesse realizar as análises laboratoriais e que não entrasse em desespero quando algo não saía como o planejado.

Muito obrigada!

RESUMO GERAL

Os reservatórios artificiais, destinados à produção de energia hidrelétrica, alteram de forma significativa as paisagens dos municípios em que há a inundação. Áreas anteriormente utilizadas, para pastagem ou culturas, tornam-se atrativos turísticos à prática de diversas atividades, como passeios de embarcações e esportes aquáticos, além de uma valorização imobiliária dos parcelamentos de solo urbano que se desenvolve nas áreas de entorno, a exemplo do município de Ijaci-MG. Dessa forma, o monitoramento da qualidade das águas do reservatório é essencial, para a manutenção das boas condições das águas e embasamento de políticas públicas, que visem à fiscalização do uso sustentável das águas e áreas de entorno do reservatório, bem como a proteção da vida aquática. Diante do exposto, os objetivos deste estudo foram verificar o enquadramento do trecho monitorado, conforme a classe que lhe foi atribuída, segundo parâmetros estabelecidos na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005, analisar a qualidade, por meio do Índice de Qualidade de Água de CETESB e Índice de Estado Trófico (IET), bem como identificar os usos para os quais as águas são indicadas. As amostras de água foram coletadas, em três pontos em trecho de 5 km, dentro do município de Ijaci-MG, sendo PI ponto no qual há prática de banho, PII local de possível captação futura de água para o abastecimento humano; e PIII local coincidente com o fim área urbanizada. O monitoramento foi realizado, em quatro campanhas, nos meses de novembro de 2021, fevereiro, maio e agosto de 2022 e, após análise dos dados, foi observado que, em nenhum dos pontos, as águas se enquadram como próprias para banho, conforme Resolução CONAMA 274/2000, não estando também dentro dos parâmetros estabelecidos para águas de Classe 2 conforme Resolução CONAMA 357/2005. Quanto aos índices, o IET médio, em todos os pontos, foi classificado como Eutrófico, segundo a metodologia para rios e Mesotrófico; para a metodologia aplicada aos reservatórios, foram observadas maiores concentrações de *Clorofila-a*, nos meses mais quentes, por maior incidência solar no espelho d'água, além de aporte mais elevado de nitrogênio, nos meses com maiores índices pluviométricos, que pode levar à maior floração de cianobactérias não catalizadoras de nitrogênio atmosférico. O Índice de Qualidade de Água (IQA) médio, em todos os pontos, foi Bom, sendo a variável Coliformes Termotolerantes a principal responsável pelo decaimento do índice. Foi observada, ainda, elevação significativa de Coliformes Termotolerantes, nos meses de novembro de 2021 e fevereiro de 2022, em que apresentaram maiores índices pluviométricos que pode ser associado ao aumento de transporte de dejetos animais na área de entorno e maior vazão de efluentes domésticos pela possibilidade de elevação na população flutuante em tal período. Portanto, apesar do IQA médio das águas ser classificado como Bom, não atende aos parâmetros estabelecidos, de acordo com os usos requeridos, sendo necessária a divulgação de informações complementares à população, como atendimento a padrões de balneabilidade e estado de eutrofização, além da adoção de políticas públicas que visem ao monitoramento e controle de fontes poluidoras, a fim de garantir o atendimento aos padrões estabelecidos, conforme finalidade de uso do recurso e enquadramento do trecho.

Palavras-chave: Águas superficiais. Balneabilidade. Índices de monitoramento. Poluição hídrica. Antropização.

GENERAL ABSTRACT

The artificial reservoirs, intended to produce hydroelectric energy, significantly alter the landscapes of the municipalities in which an area is flooded. Areas previously used for pasture or crops become tourist attractions for the practice of various activities, such as boat trips and water sports. The real estate of urban land subdivisions that develop in the surrounding areas also increases in value, as in Ijaci-MG. Thus, monitoring the water quality in the reservoir is essential to maintain good water conditions and support public policies aimed at overseeing the sustainable use of water and areas surrounding the reservoir, as well as protecting aquatic life. Thus, this study aimed to verify the framework of the monitored section according to the class assigned to it and the parameters established in the National Council for the Environment (CONAMA) Resolution nº 357/2005 to analyze the quality through the CETESB Water Quality Index and Trophic State Index (TSI). The study also aimed to identify the uses for which water is indicated. Water samples were collected at three points in a 5 km stretch in Ijaci. PI is the point where bathing is practiced; PII is the location of possible future water capture for human supply; and PIII is the end of the urbanized area. Monitoring was done in four campaigns in November 2021 and February, May, and August 2022. Data analyses showed that all points presented water unsuited for bathing, according to Resolution CONAMA 274/2000, outside the parameters for Class 2 waters according to CONAMA Resolution 357/2005. As for the indices, the average TSI was classified as Eutrophic at all points, according to the methodology for rivers and Mesotrophic. Higher concentrations of Chlorophyll-a were observed for the reservoir's methodology in the warmer months due to greater solar incidence in the water mirror and a higher supply of nitrogen in the months with higher rainfall, which can lead to a greater bloom of cyanobacteria not catalyzing atmospheric nitrogen. The average Water Quality Index (WQI) was good at all points, with the variable Thermotolerant Coliforms being the primary factor responsible for the decline in the index. A significant increase in Thermotolerant Coliforms was also observed in November 2021 and February 2022, with higher rainfall rates, which can be associated with the increased transport of animal waste in the surrounding area and greater flow of domestic effluents due to the possibility of an increase in the floating population during this period. Therefore, despite the average water WQI being classified as good, it does not meet the established parameters according to the required uses, demanding the disclosure of complementary information to the population, such as compliance with bathing standards and eutrophication status, and the adoption of public policies aimed at monitoring and controlling polluting sources to ensure compliance with established standards, according to the purpose of using the resource and framing the section.

Keywords: Surface water. Suited for bathing. Monitoring indexes. Water pollution. Anthropization.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

Figura 1 - Localização do Reservatório UHE Funil	37
Figura 2 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo no entorno do Reservatório UHE Funil.....	39
Figura 3 - Uso e ocupação do solo no entorno do reservatório município de Ijaci	40
Figura 4 - Percentual de uso do solo no entorno do reservatório do município de Ijaci	41
Figura 5 - Pontos de amostragem	42
Figura 6 - Variação de IQA com relação à pluviometria	54

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 - Classe de Águas Doces e finalidade de uso	19
Tabela 2 - Índice de Estado Trófico (IET)	23
Tabela 3 - Peso das variáveis estabelecidos entre IQA-NSF e CETESB	25

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

Tabela 1 - Pontos de amostragens e suas respectivas coordenadas	41
Tabela 2 - Data de coleta e precipitação acumulada em sete dias	43
Tabela 3 - Peso das variáveis estabelecidas entre IQA-NSF e CETESB	45
Tabela 4 - Classificação de Índice de Estado Trófico	46
Tabela 5 - Parâmetros estabelecidos para as águas doces de Classe 2	46
Tabela 6- Médias e desvios-padrão para as variáveis da qualidade de água avaliados nos períodos chuvoso e seco	48
Tabela 7 - Matriz dos coeficientes de correlação de Spearman para as variáveis de qualidade avaliadas no regime chuvoso	50
Tabela 8 - Matriz dos coeficientes de correlação de Spearman para as variáveis de qualidade avaliadas no regime de estiagem.....	51
Tabela 9 - IQA em função do período de coleta.....	54
Tabela 10 - IET em função do período de coleta para rios e reservatórios	56
Tabela 11 - Resultados das variáveis de qualidade de água e comparação com os valores máximos permitidos para Classe 2 da DN CONAMA 357	59
Tabela 12 - Resultados dos Coliformes Termotolerantes no ponto PI em relação à precipitação.....	61

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	12
1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo geral	13
1.2	Objetivos específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Reservatórios artificiais e sua importância.....	14
2.2	Uso e ocupação do solo e poluição hídrica	15
2.2.1	Eutrofização.....	17
2.3	Padrões de qualidade e balneabilidade das águas.....	19
2.4	Importância do monitoramento da qualidade das águas	21
2.4.1	Índice de Estado Trófico (IET).....	22
2.4.2	Índices de Qualidade de Água (IQA)	23
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
	REFERÊNCIAS	27
	SEGUNDA PARTE – ARTIGO	33
	ARTIGO 1 - QUALIDADE DE ÁGUA E CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DO FUNIL EM IJACI -MG..	33
1	INTRODUÇÃO	35
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
2.1	Caracterização do local de estudo	37
2.2	Identificação e caracterização de pontos de amostragem	41
2.3	Coleta, acondicionamento e análises de amostras.....	43
2.4	Índice de Qualidade de Água (IQA).....	44
2.5	Índice de Estado Trófico (IET).....	45
2.6	Classe das águas e balneabilidade	46
2.7	Análise estatística	47
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.1	Matrizes de correlação.....	48
3.2	Índice de Qualidade de Água (IQA).....	53
3.3	Índice de Estado Trófico.....	55
3.4	Classe das águas e balneabilidade	57
4	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	64

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

No Brasil o represamento de cursos d'água, para a instalação de usinas hidrelétricas, resulta na inundação de grandes extensões de áreas e na formação de reservatórios artificiais com espelhos d'água de grande beleza cênica. A presença desses reservatórios leva a uma valorização do entorno pela elevação na disponibilidade das águas, para práticas diversas, como captação para abastecimento humano, irrigação de lavouras, dessedentação de animais, parcelamento de solo para a edificação de casas de veraneio, banho, pesca, navegação e irrigação de lavouras.

A existência de um corpo d'água em uma região propicia o desenvolvimento de atividades humanas nas áreas próximas. Entretanto essas atividades podem contribuir com a degradação do recurso a ponto de inviabilizar o seu uso.

Com a intensificação da antropização das áreas, ocorre o aumento da produção de poluentes que são lançados nos cursos d'água como efluentes domésticos e industriais ou carregados pelas águas das chuvas de defensivos agrícolas, fertilizantes e dejetos de animais, levando a alterações das características do recurso.

A cidade de Ijaci, localizada ao Sul do estado de Minas Gerais, apresenta área de 105,2 km² e população estimada de 6.667 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2021), além de ter parte de seu território às margens do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Funil que, após a inundação, passou a atrair investidores à procura de casas de veraneio localizadas em condomínios e turismo aquático. Além disso, nas áreas próximas ao reservatório, em locais mais urbanizados, é possível observar a presença de casas e comércios e a formação de “praias” em que é observada a prática de banho nos meses mais quentes. Outras atividades comuns no reservatório são pesca artesanal e passeio com embarcações. Em áreas mais rurais, é observada a presença de gado que utiliza a área para pastagem.

Considerando a importância do recurso, para o desenvolvimento do município e a fim de garantir o direito de uso de forma sustentável, faz-se necessária a adoção de ações que garantam a preservação da boa qualidade das águas e a proteção da vida aquática.

Assim, o monitoramento das variáveis relacionadas à qualidade e à classificação das águas, conforme a finalidade de uso e balneabilidade, constitui-se necessário, para que se tenha

um diagnóstico da situação, possibilitando avaliação, quanto à segurança do uso das águas para as atividades as quais são atualmente requeridas.

Como forma de expandir o alcance da divulgação das informações obtivas, índices como Índices de Qualidade de Água e o Índice de Estado Trófico (IET) são importantes ferramentas em virtude da maior facilidade de compreensão do público não técnico.

1.1 Objetivo geral

Realizar o monitoramento de qualidade e classificar as águas do reservatório da UHE Funil que margeiam o município de Ijaci-MG, por meio do Índice de Estado Trófico (IET) e Índice de Qualidade das Águas (IQA), assim como verificar se as águas atendem aos parâmetros estabelecidos, para as águas doces de Classe 2 e padrões de balneabilidade, a fim de verificar se as águas são seguras aos usos atualmente requeridos bem como diagnosticar o grau de trofia e de qualidade em que o trecho se encontra.

1.2 Objetivos específicos

- a) Verificar o enquadramento do trecho monitorado, conforme a classe que lhe foi atribuída, segundo parâmetros estabelecidos na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005;
- b) Classificar a qualidade das águas por meio do Índice de Qualidade de Água proposto pela CETESB;
- c) Classificar o grau de trofia por meio do Índice de Estado Trófico proposto por Lamparelli;
- d) Identificar as atividades para as quais as águas são adequadas segundo parâmetros estabelecidos nas Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 274/2000 e nº 357/2005 e Deliberação Normativa conjunta COPAM-CERH/MG nº 8/2022.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, o estado da arte é apresentado, no que tange às interações entre atividades antrópicas e qualidade de um curso d'água, assim como a adoção de índices para o monitoramento da qualidade e eutrofização das águas.

2.1 Reservatórios artificiais e sua importância

A construção de reservatórios artificiais tem como finalidade o armazenamento de água para usos diversos, conforme a demanda da população humana, como exemplo, a geração de energia por hidrelétricas, captação para irrigação de lavouras, abastecimento humano e recreação (TUNDISI, 2018).

Reservatórios edificadas, para a instalação de Usinas Hidrelétricas (UHE), trazem impactos significativos à paisagem local e vida dos moradores das cidades que têm parte de seu território coberto pela inundação, favorecendo o desenvolvimento econômico, ocupação das margens e turismo de natureza (OLIVEIRA; TOMMASELLI; ROMERO, 2021), consequentemente, aumentando a demanda pelo recurso para usos múltiplos (GODOY; ARAUJO SOBRINHO, 2017).

No ano de 2021, a geração de energia por hidrelétricas, no Brasil, correspondeu a 55,3% da produção nacional, o que corresponde a 362.818 Gigawatt-hora (GWh), enquanto a média mundial foi de 16,6% (BRASIL, 2007), além disso, em razão do crescente aumento na demanda pelo recurso, já se estuda a ampliação na capacidade produtiva das usinas já instaladas no território nacional (BRASIL, 2022).

A implantação de reservatórios de hidrelétricas requer a inundação de grandes áreas, gerando, assim, paisagens atrativas para turistas à procura de práticas de recreação.

No estado de Minas Gerais, foi instalada a UHE Furnas, em 1963, que, a princípio, trouxe grandes descontentamentos dos moradores da região pela desapropriação de terras localizadas na área de inundação, no entanto, com o passar dos anos, o reservatório, prioritariamente construído para a geração de energia elétrica, passou a ser utilizado pelos municípios lindeiros para atividades turísticas proporcionando assim maior incremento na economia local (GODOY; ARAUJO SOBRINHO, 2017).

Ao analisar o desenvolvimento turístico, em Presidente Epitácio, município do estado de São Paulo, Oliveira, Tommaselli e Romero (2021) observaram que a principal forma de

desenvolvimento econômico do município está ligada às atividades praticadas no reservatório da UHE Engenheiro Sérgio Motta.

Após instalação de UHE's, na Amazônia e em Rondônia, Araujo e Moret (2016) observaram aumento nos valores arrecadados pelos municípios afetados pela inundação, por meio de repasse de *royalts*, tarifas e compensações ambientais. Entretanto, ainda, segundo os autores, tais valores não são equivalentes aos impactos negativos relacionados ao aumento abrupto de migrantes na região, que levaram à sobrecarga nos sistemas de saneamento, saúde, infraestrutura geral e degradação na qualidade da água, impactando diretamente a vida dos moradores locais, em especial, daqueles que apresentam alguma vulnerabilidade social.

O reservatório Guarapiranga, localizado no Estado de São Paulo, projetado inicialmente para o controle da vazão do Rio Tietê, é utilizado para o abastecimento de 3,8 milhões de pessoas, no entanto o parcelamento de solo irregular, nas áreas de entorno, sem a infraestrutura necessária à captação, tratamento de efluentes domésticos e industriais levou a um crescente aporte de poluentes, ao longo das últimas quatro décadas, resultando em maiores investimentos em tecnologias para o tratamento das águas destinadas ao abastecimento humano (SEMENSATTO *et al.*, 2021).

Como impacto ambiental da prática de represamento, está o favorecimento à deposição de sólidos, no fundo do reservatório, pela redução da velocidade de escoamento das águas, além da remoção da vegetação ripária, durante a inundação, o que gera aumento do carreamento de sedimentos da bacia hidrográfica até o corpo d'água (SERRA; OLIVEIRA, 2020).

A construção de reservatórios artificiais é de grande importância para atender às demandas da sociedade para diversos usos. Entretanto, durante a concepção do projeto, devem ser levados em consideração os impactos ambientais atrelados à prática de represamento das águas, como alteração no fluxo natural das águas de lótico para lântico, em função do aumento do tempo de retenção hidráulica, alterações na flora e fauna local, aumento da deposição de sedimentos e retenção de nutrientes (TUNDISI, 2018).

2.2 Uso e ocupação do solo e poluição hídrica

Reservatórios que têm trechos situados em áreas urbanizadas também se tornam receptores de efluentes domésticos e industriais, elevando o aporte de matéria orgânica e inorgânica, que pode levar ao desequilíbrio da biota e alteração nas variáveis físicas, químicas e biológicas do meio (REGO; RANGEL-JUNIOR; COSTA, 2020), contribuindo com o

decaimento da qualidade das águas e restrição da finalidade de uso (BATISTA; CABRAL, 2017).

Entre as alterações, pode-se destacar a elevação na quantidade de indicadores de contaminantes fecais, como coliformes termotolerantes (CF), alteração de pH, aumento na população de cianobactérias (WANG *et al.*, 2018), elevação na concentração de matéria orgânica e nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio (SEMENSATTO *et al.*, 2021), redução de oxigênio dissolvido e elevação da turbidez (DUARTE *et al.*, 2021), acelerando, assim, a degradação na qualidade das águas (GRANITTO; DIONATO; RODRÍGUEZ, 2021).

Cursos d'água que cortam áreas mais urbanizadas apresentam maiores valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes (CF), condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e nitrato. Tal fato pode ser associado ao aumento de aporte de poluentes, oriundos de esgotamento doméstico e descarte de resíduos sólidos urbanos, nas margens, que associados à inexistência de vegetação ripária e impermeabilização do solo pela edificação de imóveis às margens, levam à degradação da qualidade desses cursos (SANT'ANA; VITAL; SILVA, 2019).

Estudos feitos por Guimarães e Santos (2015), na cidade de Boa Esperança – MG, corroboram com o acima exposto, ao monitorarem o córrego Maricota que é utilizado pela população local, como fonte de lazer. Observaram a substituição da mata ciliar por moradias às margens do curso, descarte inadequado de resíduos sólidos urbanos no local e desenvolvimento de pastagem, em áreas próximas, resultando no surgimento de vegetação aquática, assoreamento do curso pela deposição de sedimentos oriundos da erosão laminar e contaminação das águas.

No Brasil são produzidos por dia 9,1 toneladas de esgoto, visto que 45% da população não é assistida pelos sistemas de captação e tratamento de efluentes (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA, 2017). Assentamentos humanos desordenados, sem a devida infraestrutura, podem levar ao lançamento de esgoto doméstico a céu aberto de até 90% das residências e tal fato apresenta correlação forte positiva com a degradação na qualidade das águas, sendo observada a elevação das variáveis turbidez, sólidos totais dissolvidos, fósforo total e redução dos valores de oxigênio, nos cursos d'água das bacias com maior urbanização, em relação àquelas em que há maior cobertura do solo por mata (ARAÚJO *et al.*, 2018).

Em áreas menos urbanizadas, nas quais há prática de atividades agropecuárias, o aporte de contaminantes está associado à drenagem da bacia hidrográfica, durante períodos chuvosos, em que ocorre o carreamento dos dejetos animais até os cursos d'água, contribuindo com a

elevação de matéria orgânica, nutrientes e CF (AMÂNCIO *et al.*, 2018; HUANG *et al.*, 2017; MENEZES *et al.*, 2016).

Outras possíveis fontes de poluição difusa, na área de drenagem da bacia, são as práticas agrícolas de manejo do solo que fazem uso de defensivos agrícolas, fertilizantes e dejetos animais na forma de adubo (MATTHIENSEN, 2017), que, por não serem completamente adsorvidos pelas plantas, acumulam-se nos solos, sendo posteriormente lixiviados ou transportados por erosão e escoamento superficial (SCHINDLER *et al.*, 2016).

O uso do solo, nas Áreas de Proteção Permanente (APP) de rios, contribui significativamente com a qualidade das águas, sendo observado que a prática de cultivo agrícola, nessas faixas de proteção, ainda que em pequenas frações, impacta de forma mais significativa a qualidade das águas, em especial, nos períodos chuvosos, em que há intensificação das práticas de manejo do solo, sendo necessário o planejamento de uso e a proteção das áreas de APP (GONÇALVES; ROCHA, 2016).

2.2.1 Eutrofização

O enriquecimento das águas por nutrientes, como nitrogênio e fósforo, também, está associado ao lançamento de esgoto sanitário e drenagem da bacia em que são desenvolvidas atividades agropecuárias (AMÂNCIO *et al.*, 2018), levando à criação de ambientes aquáticos eutrofizados e favoráveis ao desenvolvimento de organismos como cianobactérias (REGO; RANGEL-JÚNIOR; COSTA, 2020).

O termo eutrofização é utilizado, para descrever o envelhecimento de um ambiente aquático, etimologicamente, eutrófico designa bem nutrido ou rico em nutrientes (BARRETO *et al.*, 2013). O fósforo e nitrogênio são elementos limitantes à existência dos microorganismos denominados cianobactérias, capazes de alterar a cor dos corpos hídricos, durante os eventos de floração, em que há também aumento da turbidez, depleção de oxigênio pela degradação das células senescenscentes, além de risco de contaminação pela ingestão de água com a presença de cianotoxinas (HUISMAN *et al.*, 2018). O aumento na comunidade de cianobactérias também pode levar à variação no sabor e odor das águas pela presença de compostos, como 2-metilisoborneol (2-MIB), produzidos por espécies bentônicas: *Oscillatoria sp.*, *Phormidium sp.*, *Pseudanabaena sp.* and *Planktothrix sp.*, que se reproduzem mesmo em ambientes pouco eutrofizados por se acumularem no fundo dos reservatórios onde há deposição de nutrientes ao longo do tempo (SU *et al.*, 2017).

Algumas espécies produzem hepatotoxinas e neurotoxinas, a partir da lise celular, sendo tóxicas à saúde humana e animal (GOBLER *et al.*, 2016). Além do risco de ingestão de águas com a presença das toxinas, o contato, durante atividades aquáticas, pode causar irritações cutâneas (CHRISTOPHORIDIS *et al.*, 2018), em especial, quando há o contato com biofilmes formados no fundo de reservatórios onde se alojam cianobactérias bentônicas que podem ser produtoras de toxinas (GAGET *et al.*, 2017).

O consumo de água, com a presença de tais toxinas, pode gerar danos severos à saúde, podendo inclusive levar à morte de pessoas que apresentem deficiências hepáticas, no caso do uso de água com hepatotoxina em procedimentos de hemodiálise (MOURA; ARAGÃO-TAVARES; AMORIM, 2018). Além disso, em razão dos riscos do consumo de águas contaminadas, o Ministério da Saúde estabeleceu as concentrações máximas aceitáveis em água destinada ao abastecimento humano por meio da Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021).

A intensificação de secas associada ao lançamento de efluente doméstico e descarte de resíduos sólidos urbanos em rios são fatores que intensificam a alteração da qualidade das águas, a exemplo do ocorrido no rio Elk, em Charleston, capital da Virginia Ocidental, nos Estados Unidos, que levou a uma crise de abastecimento hídrico sem precedentes pelo intenso sabor e odor amadeirado e de mofo das águas, associado ao crescimento de algas azuis que culminaram na adoção de métodos extenuantes de purificação das águas (TISDALE, 1931).

No ano de 2020, 9 milhões de habitantes do estado do Rio de Janeiro, abastecidos pelas águas do Sistema Guandu, foram impactados por uma crise de abastecimento hídrico e, após observarem alterações de cor e odor nas águas, apresentaram denúncia ao Ministério Público que autorizou a coleta e análise de água, no ponto de captação da Estação de Tratamento, tendo sido observada coloração azul nas membranas de filtração, caracterizando altas concentrações do pigmento ficocianina características de floração de cianobactérias. No entanto, ainda que as águas apresentem altas concentrações de células de cianobactérias, a depender da metodologia utilizada, para a análise da concentração de cianotoxina, os valores podem se apresentar dentro dos padrões estabelecidos pelos órgãos reguladores, uma vez que o composto se apresenta bastante diluído nas águas (SOTERO-MARTINS *et al.*, 2021).

Por meio da análise de dados coletados, durante um período de 15 anos, Beghelli *et al.* (2016) observaram o comportamento da eutrofização, em um reservatório, ao longo do tempo, extrapolando os dados para o ano de 2025. Os pesquisadores inferiram que as águas tendem a não atender aos limites de *Clorofila-a* estabelecidos para as atividades comumente desenvolvidas no reservatório, como banho e captação para a irrigação de hortaliças,

relacionando tal fato ao crescimento desordenado da população, sem o planejamento do uso do solo e inexistência de políticas públicas adequadas para se evitar a degradação das águas ao longo dos anos.

Para monitoramento da qualidade e aferição do estado de eutrofização dos corpos d'água, foram desenvolvidos índices que, por meio da associação de variáveis, enquadram um corpo d'água conforme a faixa de qualidade ou seu grau de eutrofização em que se encontra.

2.3 Padrões de qualidade e balneabilidade das águas

O constante lançamento de diferentes poluentes no curso d'água leva a alterações que podem restringir o uso do recurso para as finalidades requeridas (REGO; RANGEL-JÚNIOR; COSTA, 2020). Dessa forma, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução do nº 357/2005 e do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), em conjunto com o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH/MG), pela deliberação normativa conjunta nº 8/2022, estabelecem parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos aos quais as águas devem atender, conforme o uso preponderante no trecho, classificando as águas doces, salobras e salinas em classes distintas (TABELA 1).

Tabela 1 - Classe de Águas Doces e finalidade de uso

Uso	Classes				
	Especiais	I	II	III	IV
Abastecimento humano	x ^(a)	x ^(b)	x ^(c)		
Preservação de Comunidades Aquáticas	x				
Recreação de contato primário		x	x		
Proteção de Comunidades Aquáticas		x	x		
Irrigação de hortaliças		x	x		
Recreação de contato secundário					x
Irrigação de árvores					x
Aquicultura e pesca			x		
Pesca amadora					x
Dessedentação de animais					x
Navegação					x
Harmonia paisagística					x

Fonte: Adaptado Ministério do Meio Ambiente (2005) e Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM); Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH). (2022).

Nota: (a) após desinfecção, (b) após tratamento simples, (c) após tratamento convencional.

A Resolução CONAMA 357/2005 apresenta os parâmetros aos quais as águas doces, salinas e salobras devem atender, de acordo com as classes em que se enquadram, usos possíveis e tratamento adequado no caso de finalidade de abastecimento para consumo humano. Os limites estabelecidos não se baseiam no estado atual do corpo d'água, mas, sim, naqueles aos quais deveria atender tendo em vista as necessidades da comunidade.

A proposta de enquadramento das águas é de competência da Agência de Bacia Hidrográfica e na sua impossibilidade pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) sendo feita de acordo com aquela requerida para os usos preponderantes.

Águas destinadas ao abastecimento humano devem ser inodoras, incolores, insípidas e livre de microorganismos com algum potencial patogênico ou materiais que possam apresentar riscos à saúde humana (OLIVEIRA; TOMMASELLI; ROMERO, 2021). O Ministério da Saúde estabelece pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, que as águas devem apresentar ausência de CF (BRASIL, 2021), comumente presente em cursos d'água receptores de efluentes domésticos e drenagem pluvial de áreas destinadas a atividades agropecuárias (AMANCIO *et al.*, 2018; MENEZES *et al.*, 2016).

Nos trechos em que são praticadas atividades recreativas de contato primário, como natação, mergulho e passeio com esqui aquático, são satisfatórias as águas que apresentem, no mínimo, 80% das análises até 1.000 NMP.100 mL⁻¹ de CF, sendo consideradas impróprias as águas que apresentem mais de 2.500 NMP.100 mL⁻¹ de CF na última análise. Além disso, para as atividades recreativas de contato secundário, em que haja risco de ingestão de pequenas quantidades de água, como pesca e navegação, as águas não poderão exceder 2.500 NMP.100 mL⁻¹ de CF em 80% das análises bimestrais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2005).

Apesar do estabelecido em legislação, corpos d'água que se encontram próximos a áreas antropizadas apresentam elevados valores de CF, em especial, nos meses com maiores índices pluviométricos, em razão do carreamento pelas águas das chuvas de partículas de poluentes depositados no solo (AMANCIO *et al.*, 2018). Tal fato coincide com os meses mais quentes do ano, em que há maior afluência de turistas nas áreas de banho e prática de esportes aquáticos (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB, 2021), sendo recomendada a pesquisa de organismos patogênicos, em caso de persistência de valores de CF acima 2.500 NMP.100 mL⁻¹, nos trechos em que há prática de atividades de recreação de contato primário (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2001).

A presença de CF nas águas pode indicar o lançamento de esgoto doméstico nas proximidades, além da possibilidade da presença da bactéria *Escherichia coli* (VON SPERLING, 2007), presente no trato intestinal humano, a qual pode ocasionar diarreias,

vômitos, gastroenterites (NORONHA *et al.*, 2019), restringindo a finalidade de uso do recurso pelo risco da veiculação de doenças hídricas (WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 2022).

2.4 Importância do monitoramento da qualidade das águas

Práticas de represamento das águas associadas às atividades desenvolvidas nas áreas de entorno levam a alterações no ambiente aquático (SEMENSATTO *et al.*, 2021; SERRA; OLIVEIRA, 2020). Como medida de controle, o monitoramento do curso d'água é primordial, para a avaliação e mensuração dos impactos ambientais, ao longo do tempo, bem como subsidiar políticas públicas para a recuperação de cursos d'água provavelmente degradados.

Tendo em vista os usos múltiplos a que se destinam as águas superficiais, bem como seu caráter limitado e dotado de valor econômico, a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei nº 9.433/1997, recomenda que a gestão das águas deve ser feita em parceria entre poder público, usuários e comunidade de modo a garantir o acesso ao recurso às gerações atuais e futuras (BRASIL, 1997).

O Estado de Minas Gerais realiza o monitoramento das águas superficiais desde o ano 1997 e subterrâneas desde 2005, com o objetivo de reduzir os conflitos pelo uso das águas dentro do território mineiro, principalmente por meio de diferentes projetos, a exemplo do projeto Água de Minas, que disponibiliza informações sobre a série histórica e construção de mapas que permitem o acompanhamento da qualidade das águas, ao longo do tempo e promova informações, para subsidiar a tomada de decisões em áreas onde há pressões ambientais pelas atividades antrópicas (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM, 2021).

Nas águas destinadas a banho, faz-se necessário o monitoramento da variável CF a cada bimestre. É recomendada a pesquisa de organismos patogênicos, nos locais que se apresentem recorrentemente impróprios, como os trechos onde se ultrapassem os limites de CF, em mais de 80% das amostras analisadas, bem como nos trechos em que haja incidência de floração de algas até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2001). Nessa perspectiva, a Resolução CONAMA 357/2005 que dispõe sobre os parâmetros, aos quais as águas doces, salobras e salinas devem atender, conforme destinação de uso, estabelece que o poder público deve realizar o monitoramento contínuo e periódico das variáveis utilizadas, para caracterizar o controle da qualidade das águas, assim como outras variáveis que se suspeitem de inconformidade (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2005).

Ao realizar o monitoramento, em 15 seções de um curso d'água no Sul de Minas Gerais, Menezes *et al.* (2016) observaram a contaminação por CF, inclusive nas nascentes do curso d'água. Ainda, segundo os autores, a jusante do trecho mais urbanizado do rio, as águas se tornam inapropriados às atividades de recreação de contato primário. Jardim *et al.* (2014), monitorando 64 pontos localizados no Rio Doce, no estado de Minas Gerais, observaram que, nos períodos de grande estiagem, intensificou-se a floração das algas, levando à maior produção de toxinas que, associadas aos ambientes com vazão reduzida, elevam o risco de contaminação da população abastecida pelas águas do rio, uma vez que os tratamentos convencionais não apresentam eficácia adequada na remoção desses contaminantes.

O monitoramento das águas de sete reservatórios localizados no Estado de São Paulo, destinados ao abastecimento humano, evidenciou a presença de elevados valores de microcistina e cianotoxinas nas águas brutas indicando um risco potencial à saúde da população (SONOBE; LAMPARELLI; CUNHA, 2019).

Ao realizarem o monitoramento das águas superficiais da sub-baía do Rio da Velhas, no estado de Minas Gerais, entre os anos de 2002 a 2011, Trindade *et al.* (2017) observaram maiores alterações nas variáveis demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes e nitrato, além da redução dos índices de qualidade das águas, intensificados com a proximidade de áreas mais urbanizadas, o que aponta, como possível fonte de poluição, o lançamento de efluentes domésticos e a necessidade de manejo dessas fontes por parte do poder público.

Para monitoramento de qualidade, foram desenvolvidos índices que, por meio da associação de variáveis, enquadram um corpo d'água, conforme a faixa de qualidade ou grau de eutrofização em que se encontra.

2.4.1 Índice de Estado Trófico (IET)

O Índice de Estado Trófico (IET), desenvolvido por Carlson (1977) e adaptado por Toledo Júnior (1990), correlaciona as variáveis clorofila-*a*, fósforo total (PT) e transparência da água, medida pelo disco de Secchi, verificando como a biomassa das algas influencia a transparência medida no disco. Já a metodologia proposta por Vollenweider (1976) considera fatores externos, como assoreamento, morfologia e hidrologia, além de características físico-químicas das águas estudadas para determinar o grau de trofia.

A relação entre a concentração de PT e a classificação trófica para lagoas tropicais foi apresentada por Salas e Martino (1991), que estabeleceram os valores de PT de 0,030 mg L⁻¹ para ambientes oligotrófico/mestrófico e 0,070 mg L⁻¹ para ambientes mesotrófico/eutrófico.

No caso de reservatórios de climas tropicais, são comumente adotados os índices descritos por Lamparelli (2004), adaptados, a partir de Carlson (1977), excluindo-se a variável transparência da água.

O IET proposto por Lamparelli (2004), para águas tropicais, correlaciona as variáveis fósforo total e clorofila-*a*, para classificar a faixa de trofia das águas, que variam entre menos eutrofizado (Ultraoligotrófico) até o mais eutrofizado (Hipereutrófico).

Após a determinação dos resultados, a definição da categoria do estado trófico de um reservatório pode ser determinada, considerando as condições estabelecidas na Tabela 2.

Tabela 2 - Índice de Estado Trófico (IET)

Categoria	Ponderação	P total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Corofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)
U	$\text{IET} \leq 47$	$P \leq 8$	$\text{CL} \leq 1,17$
O	$47 < \text{IET} \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < \text{CL} \leq 3,24$
M	$52 < \text{IET} \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < \text{CL} \leq 11,03$
E	$59 < \text{IET} \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < \text{CL} \leq 30,55$
SE	$63 < \text{IET} \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < \text{CL} \leq 69,05$
HE	$\text{IET} > 67$	$P > 233$	$\text{CL} > 69,05$

U: Ultratrófico, O: Oligotrófico, M: Mesotrófico, E: Eutrófico. SE: Supereutrófico, HE: Hipereutrófico.

Fonte: Lamparelli (2004).

2.4.2 Índices de Qualidade de Água (IQA)

O uso de índices adimensionais possibilita o acompanhamento da qualidade das águas, ao longo do tempo, por meio da conversão das variáveis monitoradas, em um valor único, facilitando a compreensão do público não técnico, possibilitando assim maior conscientização quanto às condições dos corpos hídricos de sua região (LIMA *et al.*, 2020).

O Índice de Qualidade de Água, apresentado por Horton (1965) e adaptada por Brown *et al.* (1970), foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF), nos Estados Unidos e denominada IQA-NSF, sendo, posteriormente, adaptada no Brasil, no ano de 1975, pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (PASSOS *et al.*, 2019).

O IQA-NSF foi desenvolvido, a partir da pesquisa de opinião de especialistas, que definiram os pesos de cada variável encontrado e, então, projetaram curvas representativas da qualidade das águas com base na medição de nove variáveis: fosfato total (P_T), nitrato (NO_3^-), coliformes termotolerantes (CF), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido

(OD), temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), turbidez (uT) e sólidos totais (FERREIRA *et al.*, 2015).

O IQA-NSF vem sendo aprimorado, ao longo do tempo, como a adaptação dos índices para fins específicos de uso das águas (WALSKI; PARKER, 1974) e inserção de novas variáveis, como sólidos dissolvidos, cloreto, ferro, manganês, carbono orgânico, dureza, alcalinidade cor e amônia (DINIUS, 1972; PRATI; PAVALELLO; PESARIN, 1971).

Tomando como base o Índice Universal de Qualidade da Água (UWQI), estabelecido pela comunidade europeia, as faixas de qualidade das águas superficiais destinadas ao abastecimento humano são obtidas pela soma ponderada de 13 variáveis: cádmio, cianeto, mercúrio, selênio, arsênio, fluoreto, nitrato-nitrogênio, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, pH e coliformes totais. Ao aplicar o UWQI, em uma estação de amostragem no Reservatório Tahtali, Boyacioglu (2007) classificou as águas com padrão “excelente” de qualidade, no entanto pode verificar forte influência de atividade agropecuária e lançamento de efluente urbano no decaimento dos valores medidos.

Tendo como objetivo classificar o potencial nutricional das águas destinadas ao abastecimento humano, Abtahi *et al.* (2016) desenvolveram o Índice Nutricional de Qualidade de Água Potável (DWNQI), para avaliar a contribuição que a água potável tem no suprimento dos minerais essenciais à saúde humana, como cálcio, cloreto, cobre, fluoreto, ferro, magnésio, manganês, potássio, sódio e zinco.

Entre os diferentes índices disponíveis, para o monitoramento das águas, a escolha do mais adequado deve ponderar fatores, como especificidades locais e finalidade de uso das águas monitoradas, para evitar o exacerbamento de custos com a adoção de variáveis irrelevantes para determinados fins (HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012).

A CETESB utiliza o índice IQA-SNF, no Brasil, com adequação dos pesos (w_i) das variáveis CF, DBO e pH, além de adotar o nitrogênio total (NTK) em substituição a nitrato e sólidos totais em substituição a sólidos totais dissolvidos (TABELA 3).

Tabela 3 - Peso das variáveis estabelecidos entre IQA-NSF e CETESB

Variáveis	Unidade de medida	NSF	CETESB
Coliformes termotolerantes	NMP 100 mL ⁻¹	0,16	0,15
DBO	mL ⁻¹	0,11	0,10
Fosfato total	mL ⁻¹ ,	0,10	0,10
Nitratos	mL ⁻¹ ,	0,10	Não aplica
Nitrogênio amoniacal	mL ⁻¹ , N-NH ₄ ⁺	Não aplica	Não aplica
Nitrogênio total	N	Não aplica	0,10
Oxigênio dissolvido	% saturação	0,17	0,17
pH	-	0,11	0,12
Sólidos totais dissolvidos	mgL ⁻¹	0,07	Não aplica
Sólidos totais	mL ⁻¹	Não aplica	0,08
Temperatura	C	0,10	0,10
Turbidez	uT	0,08	0,08

Fonte: Adaptado Costa *et al.* (2012).

Assim como o IET, os Índices de Qualidade de Água (IQA) retratam de forma compreensível ao público geral a qualidade, em um ponto monitorado, compilando informações de variáveis, como concentração de nutrientes, matéria orgânica, oxigênio dissolvido e outros de interesse, encontrados nas águas, convertendo a informação em faixas de classificação que podem ser divulgadas na forma de mapas com representação por cores em função da classificação.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disponibilidade de água de boa qualidade é fator determinante para o desenvolvimento da população humana, sendo primordial a existência de legislação que regule as atividades com potencial poluidor do recurso. No entanto, como é possível observar, ainda que existam parâmetros, os quais as águas devem atingir, conforme os usos preponderantes, têm sido observados valores fora do estabelecido.

O uso indiscriminado do recurso e o aporte constante de poluentes pode resultar na restrição de disponibilidade futura e elevação nos investimentos para a recuperação da qualidade das águas.

O monitoramento da qualidade das águas do reservatório UHE Funil possibilita a divulgação de informações aos usuários, quanto às condições do recurso e necessidade de preservação, identificação de possíveis contaminações ou poluições e embasamento para a tomada de medidas preventivas ou corretivas para garantir que as águas estejam adequadas para usos como consumo humano, recreação, irrigação e pesca, entre outros.

Ademais, o monitoramento regular e sistemático é essencial para a gestão e conservação dos recursos hídricos, viabilizando o acompanhamento da evolução da qualidade da água, ao longo do tempo e identificação de tendências, contribuindo para a tomada de decisões estratégicas e à adoção de medidas para a preservação do meio ambiente e da saúde pública.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S. A. **Water quality indices**. Amsterdam: Elsevier, 2012.
- ABTAHI, M. *et al.* An innovative drinking water nutritional quality index (DWNQI) for assessing drinking water contribution to intakes of dietary elements: a national and sub-national study in Iran. **Ecological Indicators**, New York, v. 60, p. 367-376, Jan. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas sistema existente**. Brasília, DF: ANA, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 2 fev. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Indicadores de qualidade-Índice de qualidade das águas (IQA)**. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- AMÂNCIO, D. V. *et al.* Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 75-86, jan./mar. 2018.
- ARAÚJO, N. C. de; MORET, A. de S. Direitos humanos e hidrelétricas: uma análise dos impactos socioambientais e econômicos gerados em Rondônia. **Veredas do Direito: direito ambiental e desenvolvimento sustentável**, Belo Horizonte, v. 13, n. 26, p. 167-194, 2016.
- ARAÚJO, P. L. de *et al.* Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo – SP. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 1-19, 2018.
- BARRETO, L. V. *et al.* Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Goiania, v. 9, n. 16, p. 2165-2179, jul. 2013.
- BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P. Modelos matemáticos para avaliação do índice de qualidade de água: uma revisão. **Acta Geográfica**, Roraima, v. 11, n. 25, p. 111-136, jan./abr. 2017.
- BEGHELLI, F. G. de S. *et al.* Trophic state evolution over 15 years in a tropical reservoir with low nitrogen concentrations and cyanobacteria predominance. **Water, Air & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 227, n. 3, p. 1-15, Mar. 2016.
- BOYACIOGLU, H. Development of a water quality index based on a European classification scheme. **Water Sa**, Pretória, v. 33, n. 1, p. 101-106, Jan. 2007.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 6, p. 470, 9 jan. 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**: seção 3, Brasília, DF, 28 set. 2017. Disponível em: http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 11 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 85, p. 127, 7 maio 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Brasília: MME/EPE, 2022.

BRITANNICA. Humid subtropical climate - climatology. **Encyclopedia Britannica**, [S.l.], 22 Nov. 2018. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/humid-subtropical-climate>. Acesso em: 14 fev. 2023.

BROWN, R. M. *et al.* A water quality index: do we dare? **Water & Sewage Works**, Chicago, v. 117, n. 10, p. 339-343. 1970.

BU, H. *et al.* Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. **Ecological Indicators**, New York, v. 41, p. 187-197, June 2014.

CHRISTOPHORIDIS, C. *et al.* Occurrence and diversity of cyanotoxins in Greek lakes. **Scientific Reports**, London, v. 8, n. 1, p. 1-22, Dec. 2018.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, [Waco], v. 22, n. 2, p. 361-380, Mar. 1977.

CHRISTOPHORIDIS, C. *et al.* Occurrence and diversity of cyanotoxins in Greek lakes. **Scientific Reports**, London, v. 8, n. 1, p. 1-22, Dec. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Balneabilidade e saúde**. São Paulo: CETESB, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/praias/balneabilidadeesaude/>. Acesso em: 19 nov. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Manual de cianobactérias planctônicas**: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais. São Paulo: CETESB, 2013.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM); CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS (CERH). Deliberação Normativa Conjunta Copam-CERH/MG nº 8, de 21 de novembro de 2022. 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. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG, 2 dez. 2022.

COSTA, A. B. da *et al.* Desenvolvimento e aplicação de índices de qualidade da água. **Caderno de Pesquisa**, Santa Cruz do Sul, v. 24, n. 1, p. 69-77, 2012.

DINIUS, S. H. Social accounting system for evaluating water resources. **Water Resources Research**, Washington, v. 8, n. 5, p. 1159-1177, Oct. 1972.

DUARTE, M. R. N. *et al.* Limnological dynamics in an artificial reservoir and intermittent river in the semi-arid region as a function of land use and occupation. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 52, n. 1, p. 1-10, 2021.

FERREIRA, K. C. D. *et al.* Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 2, p. 277-286, abr./jun. 2015.

GAGET, V. *et al.* Benthic cyanobacteria: a source of cylindrospermopsin and microcystin in Australian drinking water reservoirs. **Water Research**, New York, v. 124, p. 454-464, Nov. 2017.

GOBLER, C. J. *et al.* The dual role of nitrogen supply in controlling the growth and toxicity of cyanobacterial blooms. **Harmful Algae**, Amsterdam, v. 54, p. 87-97, Apr. 2016.

GODOY, M. J.; ARAUJO SOBRINHO, F. L. Os usos múltiplos das águas do lago reservatório de Furnas, Minas Gerais: turismo, geração de energia elétrica e conflitos. **Cenário**, Brasília, v. 5, n. 8, p. 128-147, ago. 2017.

GONÇALVES, D. R. P.; ROCHA, C. H. Indicadores de qualidade da água e padrões de uso da terra em bacias hidrográficas no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1172-1183, set. 2016.

GRANITTO, M.; DIODATO, S.; RODRÍGUEZ, P. Water quality index including periphyton chlorophyll-a in forested urban watersheds from Tierra del Fuego (Argentina). **Ecological Indicators**, New York, v. 126, p. 107614, July 2021.

GUIMARÃES, L. G.; SANTOS, C. A. dos. Análise ambiental como subsídio ao planejamento urbano: o caso de Boa Esperança (MG). **Paisagem e Ambiente: ensaios**, São Paulo, n. 36, p. 69-90, 2015.

HORTON, R. K. An index number system for rating water quality. **Journal of the Water Pollution Control Federation**, Washington, DC, v. 37, n. 3, p. 300-306, 1965.

HUANG, J. *et al.* Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 159, p. 171-179, Aug. 2017.

HUISMAN, J. *et al.* Cyanobacterial blooms. **Nature Reviews. Microbiology**, London, v. 16, n. 8, p. 471-483, Aug. 2018.

HURLEY, T.; SADIQ, R.; MAZUMDER, A. Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an

effective tool to characterize drinking source water quality. **Water Research**, New York, v. 46, n. 11, p. 3544-3552, July 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Ijaci**. Belo Horizonte: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ijaci/panorama>. Acesso em: 20 out. 2021.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Monitoramento da qualidade das águas**. Belo Horizonte: IGAM, 2021.

JARDIM, F. A. *et al.* Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 207-218, jul./set. 2014.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese (Doutorado em Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

LIMA, G. R. R. *et al.* O que comunicam os índices de qualidade de água e de estado trófico em um reservatório do semiárido brasileiro? **Geociências**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 181-190, 2020.

MATTHIENSEN, A. Poluição e eutrofização de águas interiores-rios, lagos e represas. *In*: SIQUEIRA, G.; SILVA, J. D. da. (Org.). **12 feridas ambientais do planeta**. Florianópolis: HD Editora, 2017. p. 50-51.

MEDEIROS, R. B.; PINTO, A. L.; SÃO MIGUEL, A. E. Uso, cobertura e manejo da terra e sua influencia na velocidade, vazão e transporte de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do córrego Moeda, Três Lagoas/MS. **Revista Geográfica Acadêmica**, Roraima, v. 12, n. 2, p. 37-54, 2018.

MENEZES, J. P. C. *et al.* Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 519-534, jul./set. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Conama nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 18, p. 70-71, 25 jan. 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

MOURA, A. do N.; ARAGÃO-TAVARES, N. K. C.; AMORIM, C. A. Cyanobacterial blooms in freshwater bodies from a semiarid region, Northeast Brazil: a review. **Journal Limnology**, Pallanza, v. 77, n. 2, p. 179-188, 2018.

- NORONHA, T. H. *et al.* Indicador de contaminação fecal alimentar e prevenção de doenças. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, Brasília, v. 2, n. 4, p. 150-157, jan./jun. 2019.
- OLIVEIRA, S. D. de; TOMMASELLI, J. T. G.; ROMERO, D. C. G. Análise das potencialidades e desafios do desenvolvimento do turismo em Presidente Epitácio-SP e suas implicações na exploração dos recursos hídricos. **Revista Formação**, São Paulo, v. 28, n. 53, p. 295-320, 2021.
- PASSOS, A. L. T. *et al.* Selection of variables in the definition of a water quality index for the Brazilian Federal District. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 14, n. 4, p. 1-16, jul. 2019.
- PRATI, L.; PAVALELLO, R.; PESARIN, F. Assessment of surface water quality by a single index of pollution. **Water Research**, New York, v. 5, n. 8, p. 741-751, Sept. 1971.
- REGO, A. H. G.; RANGEL-JUNIOR, A.; COSTA, I. A. S. Phytoplankton scenario and microcystin in water during extreme drought in semiarid tropical water supplies, Northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 80, n. 1, p. 1-11, jan./fev. 2020.
- SALAS, H. J.; MARTINO, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Water Research**, New York, v. 25, n. 3, p. 341-350, Mar. 1991.
- SANT'ANA, A. C.; VITAL, M. J. C.; SILVA, H. E. B. da. Influência da urbanização na qualidade da água superficial de Boa Vista, Roraima, Amazônia Brasileira. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 16, n. 6, p. 1-9, 2019.
- SCHINDLER, D. W. *et al.* Reducing phosphorus to curb lake eutrophication is a success. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 50, n. 17, p. 8923-8929, Sept. 2016.
- SEMENSATTO, D. *et al.* Spatio-temporal changes in water quality in the Guarapiranga reservoir (São Paulo, Brazil): insights from a long-term monitoring data series. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 193, n. 380, June 2021.
- SERRA, J. P.; OLIVEIRA, T. A. de. Impactos ambientais decorrentes da construção de barragens de usinas hidrelétricas: reflexões e desdobramentos físico-naturais. *In*: HAYASH, C.; SARDINHA, D. de S.; PAMPLIN, P. A. Z. (Org.). **Ciências ambientais diagnósticos ambientais**. Ribeirão Preto: Ed. Carmino Hayash, 2020. p. 64-83.
- SONOBE, H. G.; LAMPARELLI, M. C.; CUNHA, D. G. F. Avaliação espacial e temporal de aspectos sanitários de reservatórios com captação de água para abastecimento em SP com ênfase em cianobactérias e cianotoxinas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 5, p. 909-918, set./out. 2019.
- SOTERO-MARTINS, A. *et al.* Events linked to Geosmin and 2-methylisoborneol (2-MIB) in a Water Supply Source in the State of Rio de Janeiro, Brazil: a case study. **SciELO Preprints**, New York, p. 1-20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.2091>. Acesso em: 15 mar. 2022.
- SU, M. *et al.* Reducing production of taste and odor by deep-living cyanobacteria in drinking water reservoirs by regulation of water level. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 574, p. 1477-1483, Jan. 2017.

TISDALE, E. S. Epidemic of intestinal disorders in Charleston, W. VA., occurring simultaneously with unprecedented water supply conditions. **American Journal of Public Health and the Nation's Health**, New York, v. 21, n. 2, p. 198-200, Feb. 1931.

TOLEDO JÚNIOR, A. P. **Informe preliminar sobre os estudos para obtenção de um índice para avaliação simplificada do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais**. São Paulo: CETESB, 1990. Relatório interno.

TRINDADE, A. L. C. et al. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 13-24, jan./fev. 2017.

TUNDISI, J. G. Reservoirs: new challenges for ecosystem studies and environmental management. **Water Security**, Amsterdam, v. 4/5, p. 1-7, Aug./Dec. 2018.

VOLLENWEIDER, R. A. Advances in defining critical load levels for phosphorus in lake eutrophication. **Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia**, Milano, v. 33, p. 53-83, 1976.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005. v. 1.

WALSKI, T. M.; PARKER, F. L. Consumers water quality index. **Journal of the Environmental Engineering Division**, [New York], v. 100, n. 3, p. 593-611, 1974.

WANG, L. *et al.* Shift in the microbial community composition of surface water and sediment along an urban river. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 627, p. 600-612, June 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Drinking-water. **World Health Organization**, Geneva, 21 Mar. 2022. Disponível em:
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/en/>. Acesso em: 19 dez. 2022.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

**ARTIGO 1 - QUALIDADE DE ÁGUA E CLASSIFICAÇÃO TRÓFICA DO
RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DO FUNIL EM IJACI -MG**

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2018) e formatado de acordo com o Manual da
UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

RESUMO

Os reservatórios artificiais alteram de forma significativa as paisagens dos municípios onde há a inundação. Áreas anteriormente utilizadas para pastagem ou culturas tornam-se atrativos turísticos levando a uma valorização imobiliária na região. Com o aumento da antropização, o monitoramento da qualidade das águas é essencial, para a manutenção das boas condições das águas e embasamento de política públicas, que visem à fiscalização do uso sustentável. Sendo assim, os objetivos deste estudo foram verificar o enquadramento do trecho monitorado, conforme a classe que lhe foi atribuída, analisar a qualidade por meio do IQA e IET, identificar os usos para os quais as águas são indicadas. As amostras foram coletadas, em três pontos dentro do município de Ijaci-MG, em quatro campanhas e, após análise dos dados, foi observado que em nenhum dos pontos as águas se enquadram como próprias para banho, não estando também dentro dos parâmetros estabelecidos para as águas de Classe 2. Quanto aos índices, o IET médio foi classificado como Eutrófico para rios e Mesotrófico para reservatórios, o IQA médio em todos os pontos foi Bom. Foi observada, ainda, elevação significativa de Coliformes Termotolerantes, nos meses de maior pluviometria, que pode ser associada ao aumento de transporte de dejetos animais na área de entorno e maior vazão de efluentes domésticos pela possibilidade de elevação na população flutuante em tal período.

Palavras-chave: Águas superficiais. Balneabilidade. Índices de monitoramento. Poluição hídrica. Antropização.

ABSTRACT

Artificial reservoirs significantly alter the landscapes of the municipalities where flooding occurs. Areas previously used for grazing or crops become tourist attractions, leading to real estate appreciation in the region. With increased anthropization, monitoring water quality is essential to maintain good water conditions and support public policies aimed at promoting sustainable use. Therefore, the objectives of this study were to verify the classification of the monitored section according to its assigned class, analyze quality through the IQA and IET, and identify uses for which the waters are suitable. Samples were collected at three points within the municipality of Ijaci-MG in four campaigns, and after analyzing the data, it was observed that at none of the points were the waters suitable for bathing, nor were they within the parameters established for Class 02 waters. Regarding the indices, the average IET was classified as Eutrophic for rivers and Mesotrophic for reservoirs, and the average IQA was Good at all points. A significant increase in Thermotolerant Coliforms was also observed in the months with higher rainfall, which can be associated with the increased transportation of animal waste in the surrounding area and greater flow of domestic effluent due to the possibility of an increase in the floating population during such period.

Keywords: Surface water. Bathability. Index monitoring. Water pollution. Anthropization.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade das águas superficiais está sujeita a alterações, ao longo do tempo e do trecho monitorado, em função das características naturais de sua bacia hidrográfica e da interação com as atividades humanas desenvolvidas na área. O desenvolvimento de atividades agrícolas, em que há remoção da cobertura do solo, leva ao aumento do carreamento de solo e detritos pelas águas de chuva até o corpo receptor (MEDEIROS; PINTO; SÃO MIGUEL, 2018). Em regiões em que se observam períodos chuvosos e de estiagem bem delimitados, conforme observado por Naves *et al.* (2021), a variação da qualidade das águas torna-se mais evidente pelo maior aporte de poluentes transportados da área de drenagem, no período chuvoso e menor capacidade de diluição de poluentes, no período de seca.

Nesse sentido, as condições ambientais da área da bacia hidrográfica, como cobertura do solo, variações de temperatura e índices pluviométricos associadas às atividades antrópicas geradoras de poluição pontual e difusa podem levar à degradação na qualidade das águas, restringindo seu uso para atividades mais exigentes (CHRISTOPHORIDIS *et al.*, 2018), sendo observada a variação da classificação de qualidade, em diferentes cursos d'água, que cortam a mesma cidade entre “muito ruins” para áreas mais urbanizadas a “muito boas” para aquelas menos urbanizadas (GRANITTO; DIODATO; RODRIGUÉZ, 2021).

O município de Ijaci está localizado, na região Sul do estado de Minas Gerais, com extensão territorial de 105,246 km² e estimativa populacional para o ano de 2021 de 6.667 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2021). Parte do município confronta com as margens do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Funil, tendo sua bacia hidrográfica a extensão de 15.153 km².

A partir da criação do Reservatório UHE Funil, o município passou a atrair investidores à procura de casas de veraneio com maior ocupação, durante os fins de semana e férias, em especial, localizadas em condomínios de maior padrão aquisitivo (ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S. A., 2016). No entorno do reservatório, é observada a existência de bares, restaurantes e orla pavimentada, atraindo visitantes, para a prática de atividades de recreação de contato primário, como natação, mergulho, passeio com esqui aquático e secundário como pesca artesanal e navegação.

Além disso, por se tratar de um importante recurso natural, em ambiente com agregado valor imobiliário, o monitoramento da qualidade das águas do reservatório é essencial, para a manutenção das boas condições de seu uso preponderantemente requerido, proteção da diversidade dos ecossistemas aquáticos, além da proposição de políticas públicas que visem à

fiscalização do uso sustentável das águas e áreas de entorno do reservatório, conforme preconiza a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Mais do que isso, os conhecimentos da dinâmica das diferentes variáveis de qualidade de água, obtidos pelo monitoramento, contribuem para o compartilhamento de informações que promovam a conscientização da população e fiscalização, quanto ao tratamento adequado dos efluentes lançados no reservatório, assim como conciliar as atividades desenvolvidas, no entorno do reservatório, com a proteção da vida aquática sem que haja a restrição das finalidades de uso (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2005). Complementar ao atendimento à legislação, à adoção de campanhas de divulgação e conscientização da população, quanto às condições dos corpos d'água, pode ser feita por meio da conversão de concentração de poluentes em índices de fácil compreensão como o Índice de Qualidade de Água (IQA) e Índice de Estado Trófico (IET).

Diante do exposto e considerando o potencial de uso das águas superficiais de reservatórios, os objetivos do presente trabalho foram: (i) analisar a qualidade das águas por meio do Índice de Qualidade de Água proposto pela CETESB; (ii) verificar o enquadramento do trecho monitorado, conforme a classe que lhe foi atribuída, segundo parâmetros estabelecidos na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 e Deliberação Normativa conjunta COPAM-CERH/MG nº 8/2022.; (iii) identificar as atividades aquáticas, para as quais as águas são adequadas, segundo parâmetros estabelecidos na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 274/2000; (iv) avaliação do grau de trofia por meio do Índice de Estado Trófico proposto por Lamparelli.

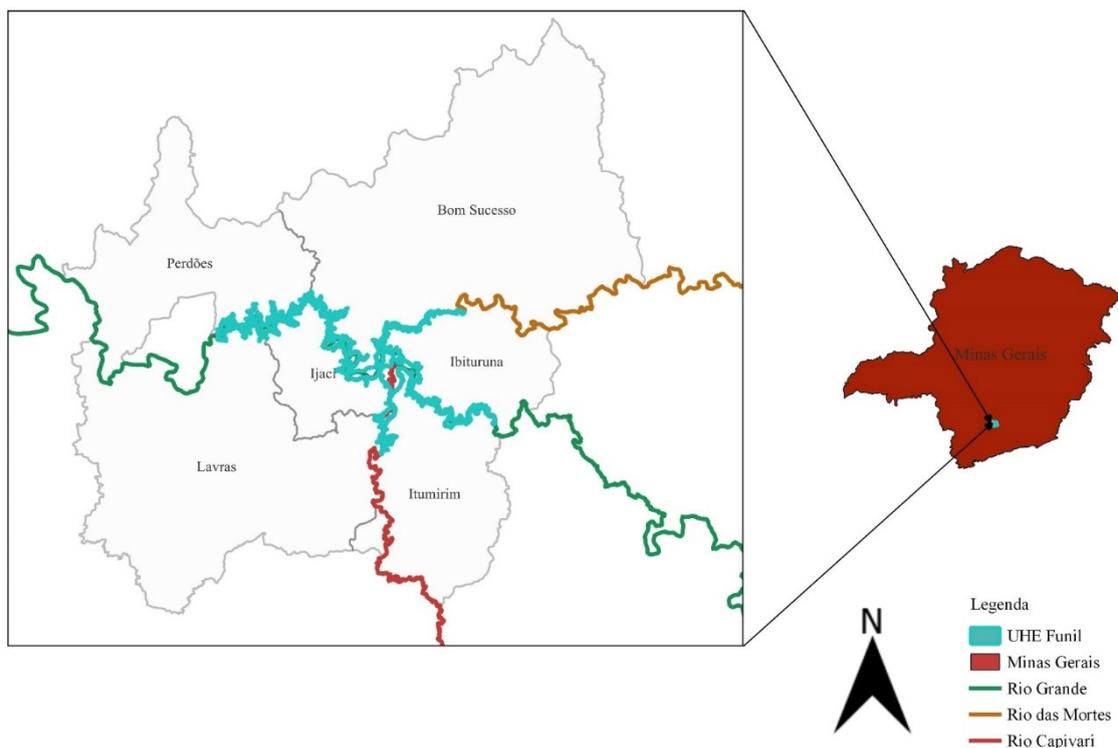
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do local de estudo

O estudo foi realizado em um trecho do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Funil, localizado no Município de Ijaci-MG. O reservatório possui área de inundação de 34,71 km², além de atingir outras cidades do Estado de Minas Gerais, como Lavras, Bom Sucesso, Itumirim, Ibituruna e Perdões. A usina foi inaugurada, em 30 de dezembro de 2002, possui potência instalada de 180 Megawatt (ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S. A., 2016).

O principal rio que compõe o Reservatório é rio Grande e seus afluentes, os rios Capivari e das Mortes, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Localização do Reservatório UHE Funil



Fonte: Da autora (2023).

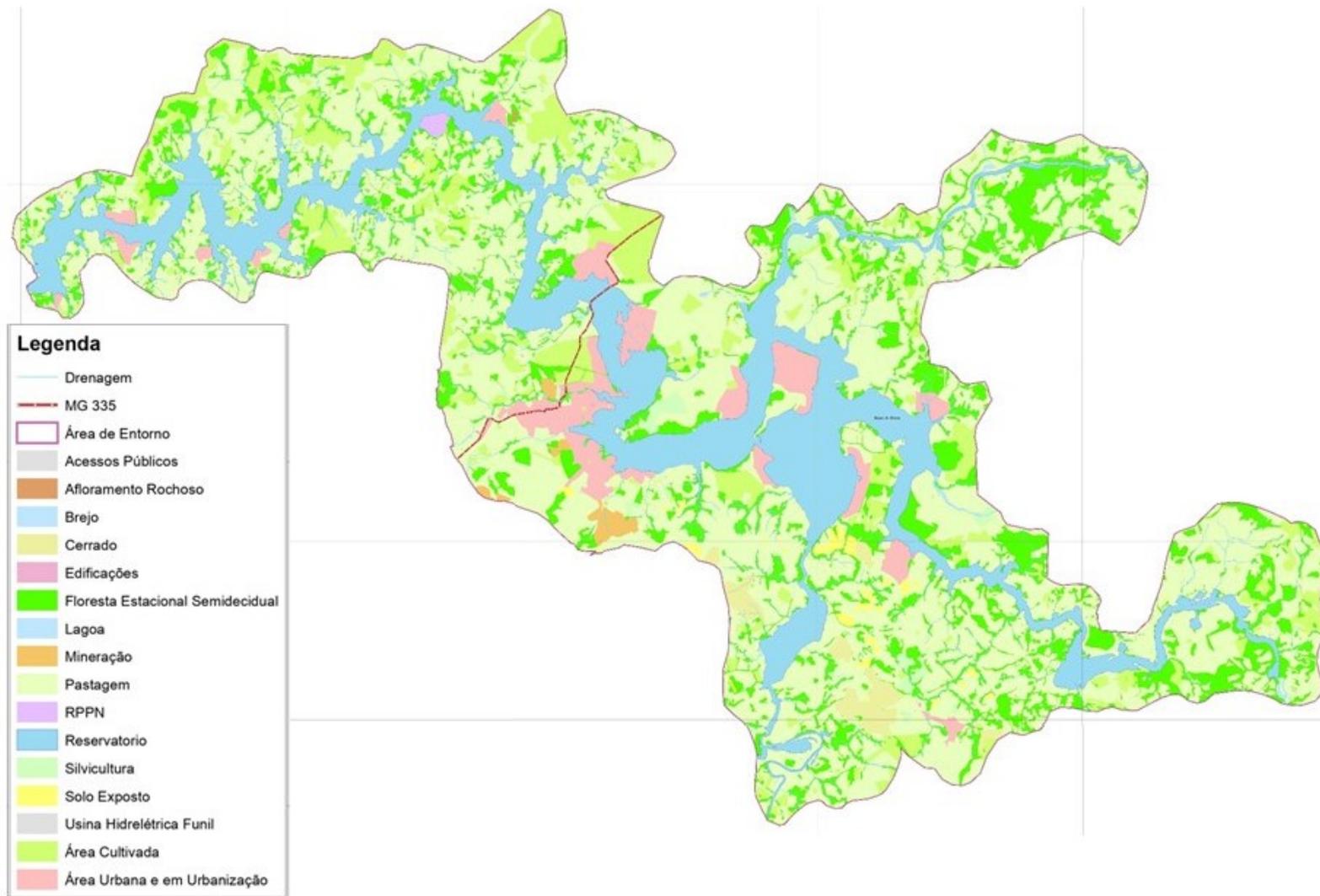
O reservatório é formado por lâmina d'água com nível constante de operação normal de 808,0 m, mínimo normal a 807,80 m e cota máxima *maximorum* de 810,70 m com relação ao nível do mar (ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S. A., 2016).

A extensão da bacia hidrográfica da UHE Funil é de 15.153 km² sendo a vazão média em longo período (Q_{mlt}) de 324 m³ s⁻¹ e a mínima média mensal (Q_{min}) de 103 m³ s⁻¹. Quanto

ao tempo de residência para Q_{mlt} é de 10 dias e Q_{min} de 30 dias, sendo, então, classificado como ambiente intermediário com tempo de residência entre 2 e 40 dias conforme a Resolução CONAMA 357/2005 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2005).

O mapa de uso e ocupação do solo do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial (PACUERA) (ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S. A, 2016) foi utilizado como referência para a caracterização do entorno do reservatório dentro dos limites do município de Ijaci (FIGURA 2).

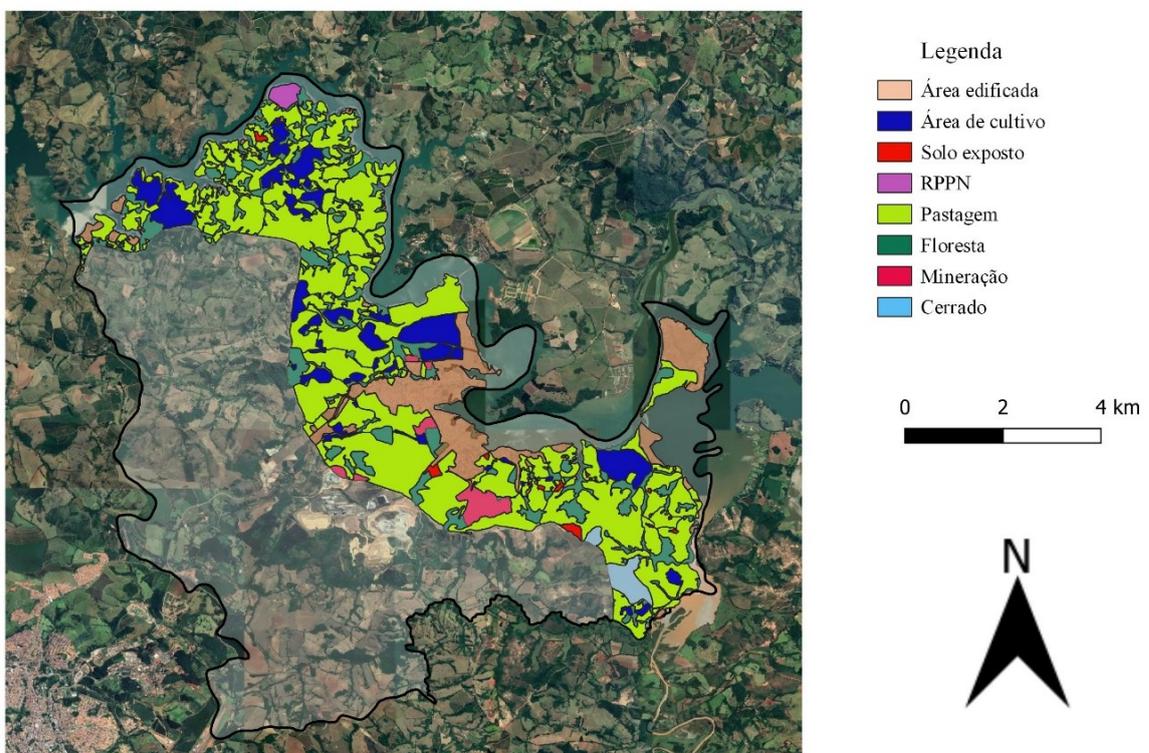
Figura 2 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo no entorno do Reservatório UHE Funil



Fonte: Aliança Geração de Energia S. A. (2016).

A partir da projeção do Mapa de Uso e Conservação do Solo, no entorno do Reservatório UHE Funil (FIGURA 2), no programa Google Earth®, foram feitos polígonos sobre as áreas de acordo com o uso. Posteriormente, os arquivos foram exportados, para o software QGis® (versão 3.22.15), em que se realizou a classificação das áreas, em função do uso do solo, conforme pode ser observado na Figura 3. Os polígonos correspondentes às áreas edificadas foram expandidos acompanhando as novas edificações identificadas nas imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth®.

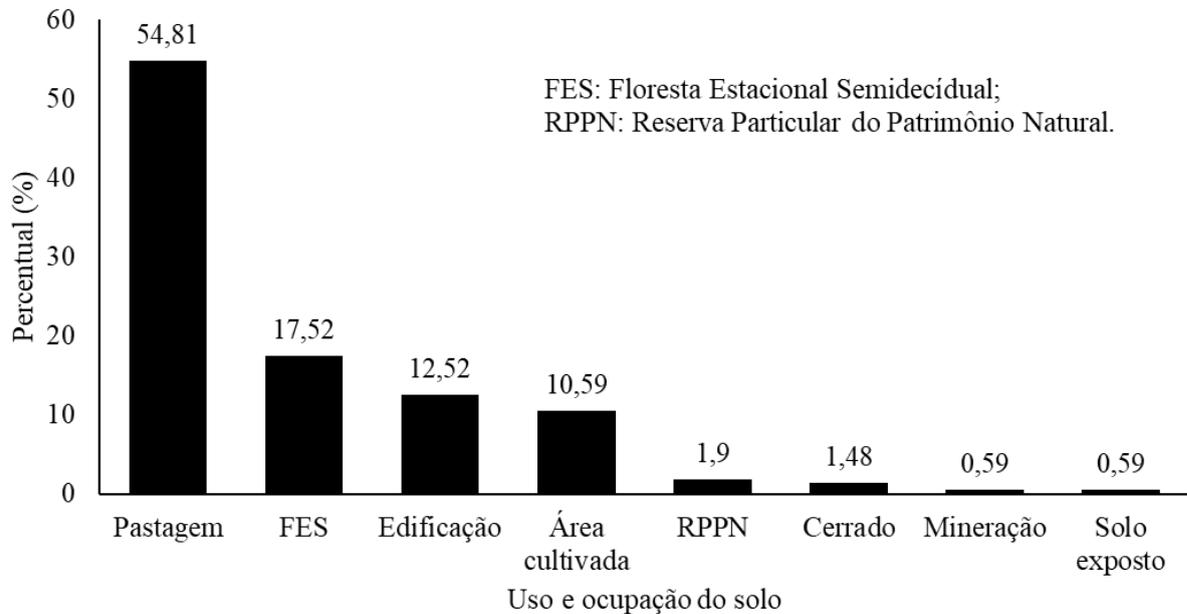
Figura 3 - Uso e ocupação do solo no entorno do reservatório município de Ijaci



Fonte: Da autora (2023).

Com base nas informações levantadas, foi possível calcular o percentual de área utilizada. Constatou-se que o uso preponderante da área compreende à atividade de pastagem, seguido de cobertura do solo por floresta estacional semidecidual e áreas edificadas (FIGURA 4).

Figura 4 - Percentual de uso do solo no entorno do reservatório do município de Ijaci



Fonte: Da autora (2023).

O município de Ijaci possui clima Cwa (clima tropical de altitude), de acordo com a classificação Köppen, caracterizado por invernos secos e verões chuvosos (BRITANNICA, 2018).

2.2 Identificação e caracterização de pontos de amostragem

Foram determinados três pontos de amostragem, abrangendo uma extensão de 5 km pela área mais urbanizada do município de Ijaci (TABELA 1).

Tabela 1 - Pontos de amostragens e suas respectivas coordenadas

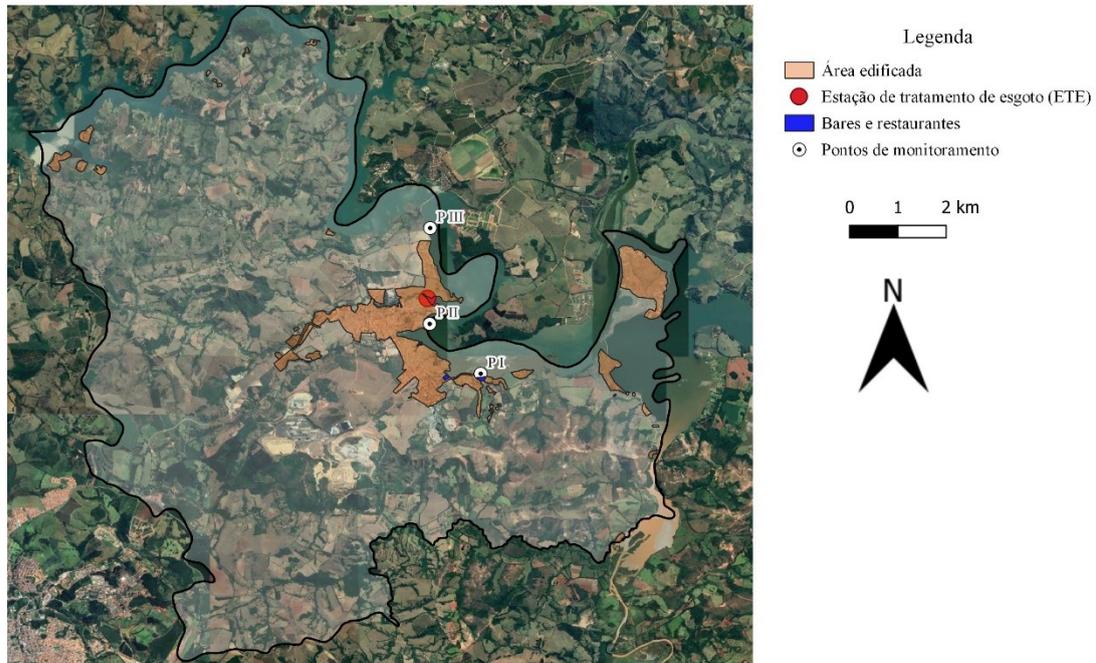
Pontos	Coordenadas		Referência
	Latitude	Longitude	
P – I	21° 10.981'S	44° 54.163'O	Local de recreação
P – II	21° 10.356'S	44° 54.786'O	Captação de água
P – III	21° 10.103'S	44° 54.315'O	Fim da área urbanizada

Fonte: Da autora (2023).

O ponto PI se encontra próximo aos bares e restaurantes, sendo local de recreação e prática de banho; o ponto PII fica a jusante de PI e a montante da estação de tratamento de

esgotos (ETE), sendo o local indicado à captação futura de água para tratamento e abastecimento humano; o ponto PII fica a jusante dos pontos PI, PII e ETE, além de coincidir com o fim da área edificada no município.

Figura 5 - Pontos de amostragem



Fonte: Da autora (2023).

Foram feitas quatro campanhas de coleta entre os meses de novembro de 2021 a agosto de 2022, acompanhando a variação pluviométrica do período amostrado (TABELA 2). As coletas, para as análises de Coliformes Termotolerantes (CF) e avaliação de Índice de Balneabilidade, conforme Resolução CONAMA 274 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2001), foram realizadas, após a segunda campanha, por quatro amostragens, intercaladas de 24h cada, no ponto PI.

Tabela 2 - Data de coleta e precipitação acumulada em sete dias

Campanha	Data da coleta	Precipitação acumulada em 07 dias (mm)
1	23 de novembro de 2021	49,8
2	7 de fevereiro de 2022	103,3
3	30 de maio de 2022	0,0
4	15 de outubro de 2022	12,2

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INPE, 2022).

O abastecimento de água do município é, atualmente, realizado por captação de água subterrânea, sendo proposto pela concessionária responsável pelo abastecimento em audiência pública a captação de água superficial no reservatório. O ponto PII encontra-se nas proximidades do local indicado, para a implantação do sistema de captação de água, para abastecimento e a montante do lançamento de efluentes tratados na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) municipal.

O ponto PIII localiza-se a jusante do ponto de lançamento dos efluentes tratados na ETE, sendo também coincidente com os limites da ocupação urbana do município, anterior ao ponto PIII, localizam-se dois parcelamentos de solo denominados Amigrande e Quintas do Lago ainda pouco ocupados.

2.3 Coleta, acondicionamento e análises de amostras

Foram coletadas, em profundidade de 30cm, 1,5 L de águas superficiais dos pontos PI, PII e PIII do reservatório, com auxílio de barco náutico e seguindo a metodologia de coleta e preservação de amostras estabelecida pela NBR 9898 'Preservação e de amostragem de efluentes e corpos receptores' (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987).

Na primeira campanha de coletas, foram registradas as coordenadas pelo sistema de gerenciamento global (GPS) dos pontos, sendo então utilizadas como referência para as campanhas seguintes.

Os frascos de coleta foram esterilizados com solução ácido clorídrico com concentração de 10% e identificados com placas com referência ao ponto amostral e, posteriormente, acondicionados em caixa térmica

As medições de Oxigênio Dissolvido (OD) e Temperatura foram feitas *in situ*, após a coleta de cada amostra, por meio da introdução de sonda oxímetro da marca Hanna e modelo

HI9146-04 (Hanna[®], Brasil), disponibilizada pelo Laboratório de Qualidade de Água da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

As análises laboratoriais foram realizadas de acordo com as metodologias descritas no *Standard Methods* (BAIRD, 2005). No Laboratório de Análise de Qualidade de Água do Departamento de Engenharia Ambiental (DAM) foram feitas as análises de Nitrogênio Notal pelo método Macro Kjeldahl (4500-N-org); para clorofila-*a*, foi utilizada a metodologia de espectrofotometria (10200), método potenciométrico para a determinação de pH (4500H+), molibdico para fósforo total (4500-P), medição de turbidez por meio de aparelho turbidímetro (2130B), gravimetria para sólidos totais (2540) e método Winkler (5210B) para DBO₅. As análises de coliformes termotolerantes (CF) foram realizadas pelo Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia Ambiental (LAADAM), utilizando o método de tubos múltiplos (9221B). Ambos os laboratórios encontram-se na Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2.4 Índice de Qualidade de Água (IQA)

Diversos índices de qualidade são adotados para a classificação de águas conforme características do local e finalidade do uso da água que se objetivam monitorar. Dessa forma, a pesquisa pode atender aos objetivos propostos sem a extrapolação de custos adicionais com análises de variáveis que não são relevantes para o estudo.

A análise de IQA foi realizada, segundo metodologia da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), baseando-se no índice desenvolvido pela National Sanitation Foundation (IQA-SNF) e considerando a adequação dos pesos das variáveis coliformes termotolerantes (CF), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e potencial hidrogeniônico (pH), além de adotar o nitrogênio total em substituição a nitrato e sólidos totais em substituição a sólidos totais dissolvidos (TABELA 3), sendo calculado conforme Equação 1 descrita, a seguir:

$$IQA = \sum_{i=1}^9 (q_i \times W_i) \quad (1)$$

Em que:

IQA = Índice de Qualidade de Água, variável entre 0 e 100;

q_i = qualidade do parâmetro dado pela curva média de qualidade;

W_i = peso atribuído à variável entre 0 e 1.

Tabela 3 - Peso das variáveis estabelecidas entre IQA-NSF e CETESB

Variáveis	Unidade de medida	NSF	CETESB
Coliformes termotolerantes	NMP 100 mL ⁻¹	0,16	0,15
DBO	mL ⁻¹ , ·	0,11	0,10
Fosfato total	mL ⁻¹ , ·	0,10	0,10
Nitratos	mL ⁻¹ , ·	0,10	Não aplica
Nitrogênio amoniacal	mL ⁻¹ , ·-N	Não aplica	Não aplica
Nitrogênio total	mL ⁻¹ , N	Não aplica	0,10
Oxigênio dissolvido	% saturação	0,17	0,17
pH	-	0,11	0,12
Sólidos totais dissolvidos	mL ⁻¹	0,07	Não aplica
Sólidos totais	mL ⁻¹	Não aplica	0,08
Temperatura	°C	0,10	0,10
Turbidez	uT	0,08	0,08

Fonte: Adaptado Costa *et al.* (2012).

2.5 Índice de Estado Trófico (IET)

Por se tratar de ambiente com regime de escoamento intermediário, para o cálculo do índice de estado trófico, foram aplicadas as metodologias propostas para rios e a metodologia proposta por reservatórios, conforme proposto por Lamparelli (2004). Essa metodologia utiliza as variáveis fósforo e clorofila-*a* para a determinação de grau de trofia do corpo d'água.

Os valores de IET são dados pelas médias aritméticas simples dos índices calculados para fósforo e clorofila-*a*, sendo os cálculos, para rios, dados pelas Equações 2 e 3 e para reservatórios pelas Equações 4 e 5, respectivamente:

$$IET_{Cl} = 10 \cdot \left[6 - \frac{0,7 - 0,6 \cdot \ln(Cl)}{\ln 2} \right] - 20 \quad (2)$$

$$IET_{Pt} = 10 \cdot \left[6 - \frac{0,42 - 0,36 \cdot \ln(Pt)}{\ln 2} \right] - 20 \quad (3)$$

$$IET_{Cl} = 10 \cdot \left[6 - \frac{0,92 - 0,34 \cdot \ln(Cl)}{\ln 2} \right] \quad (4)$$

$$IET_{Pt} = 10 \cdot \left[6 - \frac{1,77 - 0,42 \cdot \ln(Pt)}{\ln 2} \right] \quad (5)$$

Em que:

Pt = Fósforo Total ($\mu\text{g L}^{-1}$);

Cl= Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$).

A partir da média simples dos valores obtidos para clorofila-a e fósforo, o estado de trofia do corpo d'água é dado pela faixa em que se encontra, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação de Índice de Estado Trófico

Faixa	Valor
Ultraoligotrófico	≤ 47
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$
Hipereutrófico	> 67

Fonte: Lamparelli (2004).

2.6 Classe das águas e balneabilidade

O trecho do local de estudo se encontra dentro dos limites do Comitê de Bacia Hidrográfica GD-01 tendo sido enquadrado como água doce Classe 2. Entre as variáveis descritas na resolução, foram analisadas oito, as quais estão descritas da Tabela 5, bem como os limites dos seus parâmetros.

Tabela 5 - Parâmetros estabelecidos para as águas doces de Classe 2

Variáveis	Unidade de medida	Parâmetro
Coliformes termotolerantes	NMP 100 mL ⁻¹	≤ 1.000 em 80% das amostras
DBO	mg L ⁻¹ O ₂	≤ 5
Fosforo total	mg L ⁻¹	$\leq 0,050$ ambientes intermediários $\leq 0,030$ ambientes lênticos
Clorofila-a	$\mu\text{g L}^{-1}$	≤ 30
Cor verdadeira	Mg Pt L ⁻¹	75
Oxigênio dissolvido	mL ⁻¹ , O ₂	≥ 5
pH	-	$6,0 \geq \text{pH} \leq 9,0$
Turbidez	uT	≤ 100

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2005).

Foram comparados os valores encontrados nas análises realizadas com os parâmetros estabelecidos para águas de Classe 2, destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário,

irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques em que o público possa ter contato direto com a água, aquicultura e atividade de pesca.

Complementar à resolução CONAMA 357/2005, quando o uso das águas se destina a práticas de recreação, a Resolução CONAMA 274/2000 estabelece os padrões de balneabilidade, considerando satisfatórios os trechos, em que, no mínimo, 80% das amostras apresentem até $1.000 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ de CF e impróprios aqueles em que foram encontrados, na última amostragem, valores de CF superiores a $2.500 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$, recomendando a pesquisa de organismos patogênicos nos locais que se apresentarem sistematicamente impróprios.

A resolução CONAMA 274/2000 estabelece que as coletas deverão ser feitas, preferencialmente em períodos, em que há maior afluência de banhistas nas áreas, podendo ser realizadas, no mínimo, cinco campanhas com intervalo mínimo de 24 horas entre cada amostragem. Dessa forma, no ponto PI, foram coletadas cinco amostras consecutivas sempre às 7horas entre os dias 7 e 11 de fevereiro de 2022 para a avaliação dos padrões de balneabilidade.

2.7 Análise estatística

As variáveis de qualidade de água foram submetidas ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk, $\alpha=5\%$) e, com base nos resultados, tiveram suas médias comparadas, por meio do teste de médias (teste t ou Wilcoxon, ambos com $\alpha=5\%$), sendo o teste t aplicado para as variáveis que apresentaram distribuição normal e o teste Wilcoxon aplicado para as variáveis que não apresentaram normalidade, a fim de verificar influência dos regimes de estiagem e chuva sobre as variáveis. Também se realizou a análise de correlação entre as variáveis coletadas. Todas as análises foram realizadas com o auxílio da linguagem de programação R[®] versão 4.1 (R CORE TEAM, 2021).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados os resultados encontrados, durante a pesquisa, bem como sua discussão à vista de pesquisas similares.

3.1 Matrizes de correlação

A Tabela 6 lista os resultados para os testes de médias realizados nos períodos seco e chuvoso. Observa-se que os coliformes termotolerantes, cor verdadeira e turbidez não apresentaram distribuição normal ($p < 0,05$, teste Shapiro-Wilk). Dessa forma, as variáveis supracitadas tiveram suas médias submetidas ao teste de Wilcoxon, de modo que todas obtiveram resultado significativo ($p < 0,05$, teste Wilcoxon). Assim, é possível inferir que houve influência da chuva sobre tais variáveis. Por sua vez, as variáveis DBO, clorofila-*a*, sólidos totais, pH, OD, fósforo e NTK seguiram distribuição normal ($p > 0,05$, teste Shapiro-Wilk), e o teste de média indicou que as chuvas influenciaram significativamente ($p < 0,05$, teste t) as variáveis, DBO, clorofila-*a*, sólidos totais, OD e NTK.

Tabela 6 - Médias e desvios-padrão para as variáveis da qualidade de água avaliados nos períodos chuvoso e seco

Parâmetros	Regime		Teste de médias aplicado
	Chuvoso	Seco	
Coliformes termotolerantes (NMP.100mL ⁻¹)	305.166,67 ± 428.157,64	4.833,33 ± 2.041,24	Wilcoxon*
DBO (mg L ⁻¹)	1,92 ± 0,50	1,96 ± 0,59	Teste t
Cor Verdadeira (mg Pt L ⁻¹)	35,35 ± 11,81	124,40 ± 31,51	Wilcoxon*
Clorofila- <i>a</i> (µg L ⁻¹)	12,56 ± 1,76	4,49 ± 1,51	Teste t*
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	80 ± 8,69	39,72 ± 5,10	Teste t*
pH	7,1 ± 0,9	6,8 ± 0,3	Teste t
Turbidez (uT)	27,68 ± 19,22	4,97 ± 0,76	Wilcoxon*
OD (mg L ⁻¹)	6,93 ± 0,19	7,15 ± 0,09	Teste t*
Fósforo (mg L ⁻¹)	0,064 ± 0,001	0,064 ± 0,001	Teste t
NTK (mg L ⁻¹)	0,84 ± 0,37	0,51 ± 0,15	Teste t*

Fonte: Do autor (2023).
* indica resultado de $p < 0,05$.

Em razão da ausência de normalidade para algumas variáveis, a correlação de Spearman foi aplicada aos dados, a fim de quantificar o nível de associação entres as variáveis coletadas.

As Tabelas 7 e 8 listam os resultados, para a análise de correlação de Spearman, nos regimes chuvoso e seco, respectivamente.

Tabela 7 - Matriz dos coeficientes de correlação de Spearman para as variáveis de qualidade avaliadas no regime chuvoso

	Coliformes Termotolerantes (CF)	DBO	Cor Verdadeira (CV)	Clorofila- <i>a</i> (Cl)	Sólidos Totais (ST)	pH	Turbidez (uT)	OD	Fósforo (PT)	NTK
Coliformes termotolerantes (NMP 100mL ⁻¹)	--									
DBO (mg.L ⁻¹)	ns	--								
Cor Verdadeira (mg Pt. L ⁻¹)	ns	ns	--							
Clorofila- <i>a</i> (µg. L ⁻¹)	ns	ns	ns	--						
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	0,943*	ns	ns	ns	--					
pH	ns	ns	-0,812*	ns	ns	--				
Turbidez (UT)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	--			
OD (mg.L ⁻¹)	ns	ns	-0,841*	ns	-0,886*	ns	ns	--		
Fósforo (mg.L ⁻¹)	-0,833*	ns	ns	ns	-0,926*	ns	-0,833*	0,926*	--	
NTK (mg.L ⁻¹)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,971*	ns	ns	--

ns = não significativo ($p > 0,05$), * = significativo ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 8 - Matriz dos coeficientes de correlação de Spearman para as variáveis de qualidade avaliadas no regime de estiagem

	Coliformes Termotolerantes (CF)	DBO	Cor Verdadeira (CV)	Clorofila- <i>a</i> (Cl)	Sólidos Totais (ST)	pH	Turbidez (uT)	OD	Fósforo (PT)	NTK
Coliformes Fecais (NMP100mL ⁻¹)	--									
DBO (mgL ⁻¹)	ns	--								
Cor Verdadeira (mgPt.L ⁻¹)	ns	ns	--							
Clorofila- <i>a</i> (µg. L ⁻¹)	ns	ns	0,812*	--						
Sólidos Totais (mgL ⁻¹)	ns	ns	Ns	ns	--					
pH	ns	ns	Ns	ns	ns	--				
Turbidez (UT)	ns	ns	0,886*	ns	ns	ns	--			
OD (mg.L ⁻¹)	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	--		
Fósforo (mg.L ⁻¹)	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	--	
NTK (mg.L ⁻¹)	ns	0,820*	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	--

ns = não significativo (p>0,05). * = significativo (p<0,05).

Fonte: Do autor (2023).

Durante o período chuvoso, foi observada a correlação muito forte positiva entre os pares CF e ST (0,946), NTK e T (0,971), PT e OD (0,926), muito forte negativa entre os pares ST e PT (-0,926), correlação forte negativa entre os pares CF e PT (-0,833), pH e CV (-0,812) pH e OD (-0,841), ST e OD (-0,886), PT e T (-0,833), não sendo observada correlação significativa entre os demais pares.

A elevação da turbidez durante o período pode estar relacionada ao maior carreamento de partículas da área de entorno pelas práticas de manejo do solo para atividades agrícolas que contribuem para a maior susceptibilidade de erosão na bacia (HOFFMANN; OLIVEIRA, 2018); a elevação na concentração de NTK pode ser associada ao uso de fertilizantes nitrogenados, na área de drenagem, que somado à pouca existência de vegetação nativa, nas áreas do entorno do reservatório, levam à intensificação no aporte de poluentes de origem agrícola, durante o período chuvoso, como indicado por Bu *et al.* (2014).

Segundo Huisman *et al.* (2018), têm sido observados melhores resultados, no controle de fertilizantes fosfatados, em relação aos nitrogenados, levando ao aumento na proporção de nitrogênio para fósforo em rios e lagos, o que pode desencadear em maior produção de cianotoxina microcistina, rica em nitrogênio.

A elevação de ST indica maior carreamento de sólidos até o curso d'água e, em caso da área ser utilizada para pastagem, associada aos sólidos, podem estar presentes dejetos de animais que utilizem a área para pastagem elevando assim a contagem de CF (MATIAS *et al.*, 2018). Tal fato corrobora com o observado por Barroso *et al.* (2018), que observaram elevação na contagem de CF do Reservatório UHE- Nova Ponte/MG, durante os meses de maiores índices pluviométricos, relacionando o ocorrido ao carreamento de dejetos animais das áreas de entorno do reservatório, uma vez que é utilizada predominantemente para atividades agropecuárias.

Quanto aos pares PT e OD, ST e OD, a redução na concentração do nutriente ocasionado pelo aumento da vazão no período leva a um ambiente desfavorável ao desenvolvimento de organismos como cianobactérias que, durante o processo de fotossíntese, consomem gás carbônico e liberam oxigênio (DUARTE *et al.*, 2021).

A correlação forte negativa dos pares pH e CV, pH e OD podem estar associadas a duas hipóteses em conjunto, elevação do pH do solo por técnicas agrícolas de calagem com o objetivo de redução da acidez do solo (MARQUES; MORAIS; CARNEIRO, 2021) e redução na incidência de cianobactérias possibilitando a redução das variáveis CV e OD (HUISMAN *et al.*, 2018).

Verificou-se que PT apresentou correlação forte negativa com as as variáveis CF, T e ST. Em períodos que precedem a maiores incidências de chuvas, as práticas de manejo do solo são intensificadas. Por meio da aragem, tornam-se mais susceptíveis a processos erosivos e carreamento de partículas até o corpo d'água (HOFFMANN; OLIVEIRA, 2018). Dessa forma, elevando a concentração de ST e elevando assim os valores de UT, solos utilizados para o cultivo apresentam maiores concentrações de PT (NGATIA *et al.*, 2017); no entanto, com o aumento dos índices pluviométricos, o que poderia ser uma correlação positiva apresentou correlação negativa, o que pode indicar que, com o aumento da vazão, houve maior diluição do nutriente, como o observado por Barcelos *et al.* (2017).

Quanto à correlação negativa entre os pares PT e CF, ambos presentes em esgoto doméstico, também, podem apresentar maior diluição com o aumento da vazão do curso d'água, no entanto, em função do escoamento do solo de áreas utilizadas para pastagem com a presença de fezes animais ou naquelas destinadas ao cultivo, em que se faça uso de esterco animal como adubo, nos períodos chuvosos, são transportados pelas águas das chuvas elevando assim, a contagem de CF durante o período chuvoso.

Já no período de estiagem, foram observadas correlações fortes positivas entre os pares NTK e DBO; em períodos secos, nutrientes podem apresentar maiores concentrações, especialmente, se as fontes de poluição não cessarem levando assim à elevação na demanda de oxigênio para a degradação da matéria (MENEZES *et al.*, 2016). No mesmo período, a variável CV apresentou correlação forte positiva com CL e UT, tal fato pode estar relacionado a um ambiente mais propício ao desenvolvimento de cianobactérias que, em eventos de floração, elevam a cor e turbidez das águas pela produção do pigmento clorofila-a (HUISMAN *et al.*, 2018).

3.2 Índice de Qualidade de Água (IQA)

Os resultados mais baixos de IQA foram observados, na segunda campanha de coleta, com valores de 47 e 48, nos pontos PI e PII, respectivamente. Verificou-se, no mesmo período, elevação nos índices pluviométricos e contagem de CF que podem ter sido transportados pelas águas de chuva pela área de drenagem da bacia e, por compor o índice de qualidade, a elevação da variável CF contribuiu com o seu decaimento.

Por outro lado, nos mesmos pontos e período amostral, foram constatadas as maiores contagens de CF.

Encontraram-se melhores valores de IQA na última campanha no PI. O valor médio de todos os pontos, em todos os períodos amostrados, foi de 59,83, enquadrando-se de acordo com o IQA estabelecido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2020), como sendo Bom.

Na Tabela 9, estão descritos os valores de IQA calculados, bem como os níveis de classificação para os pontos avaliados durante o período de amostragem.

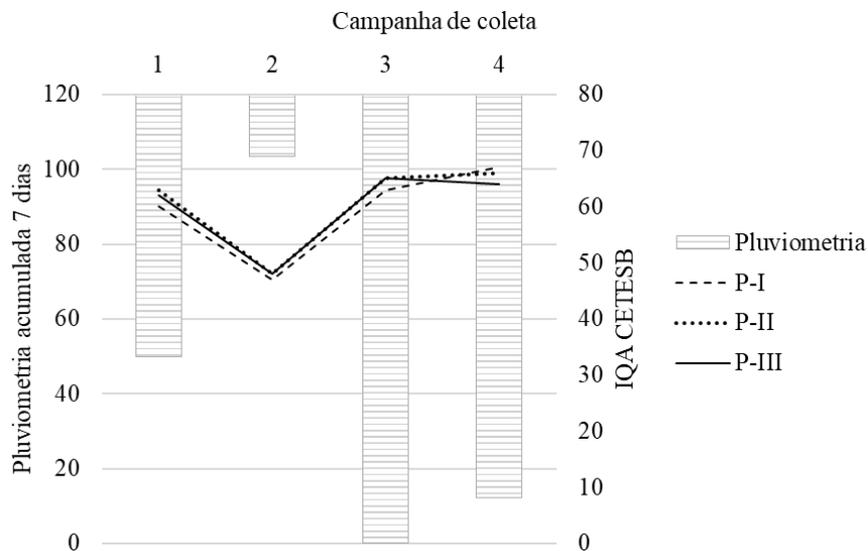
Tabela 9 - IQA em função do período de coleta

Data da campanha	Precipitação* (mm)	IQA					
		PI		PII		PIII	
		Valor	Nível	Valor	Nível	Valor	Nível
23/11/2021	49,8	60,00	Bom	63,00	Bom	62,00	Bom
07/02/2022	103,3	47,00	Aceitável	48,00	Aceitável	48,00	Aceitável
30/05/2022	0	63,00	Bom	65,00	Bom	65,00	Bom
15/08/2022	12,2	67,00	Bom	66,00	Bom	64,00	Bom
Classificação média		59,25	Bom	60,5	Bom	59,75	Bom

Fonte: Do autor (2023).

Pode ser observado que, em todos os pontos amostrados, o aumento nos índices pluviométricos contribuiu para a redução do IQA (FIGURA 6), em especial, quanto à variável CF. Tal fato pode ser associado ao uso do solo, no entorno da área para a pastagem e à lavagem dos solos e carregamento de dejetos dos animais, elevando a contagem de CF, turbidez e sólidos totais nos períodos de chuva (AMÂNCIO *et al.*, 2018).

Figura 6 - Variação de IQA com relação à pluviometria



Fonte: Do autor (2023).

Trabalhos realizados por Naves *et al.* (2021) corroboram com os resultados encontrados no presente trabalho, em que os autores constataram a influência da sazonalidade, nas variáveis monitoradas e nos valores de IQA, alertando para a necessidade de inclusão de variáveis relacionadas ao clima para a aplicação de IQA em locais com os períodos de seca e chuvosos bem definidos.

Observou-se que, em três das quatro campanhas, todos os pontos apresentaram IQA bom, havendo um decaimento no IQA para aceitável, em todos os pontos no mês de fevereiro, sendo observado, no mesmo mês, os maiores índices pluviométricos e maiores valores nos períodos de ST e uT, sendo 86,67 mg.L⁻¹, 90 mg.L⁻¹ e 85,00 mg.L⁻¹ para ST e 40,00, 46,9 e 48,2 para uT, o que contribuiu com o decaimento do IQA.

A elevação nos índices pluviométricos, associada ao uso do solo para pastagem, leva a um aumento no carregamento de detritos, como fezes de animais presentes na área da bacia, elevando os valores de uT e ST, no corpo hídrico, como descrito por Amâncio *et al.* (2018).

O menor valor de IQA (47), no mês de fevereiro/2022, assim como o maior valor (67), no mês de agosto/2022, foram obtidos em PI. Essa variação pode estar relacionada às atividades antrópicas no entorno, uma vez que, nos meses mais quentes do ano, há maior concentração de banhistas e moradores nos condomínios a montante do ponto de coleta, o que resulta em um aumento no lançamento de efluentes domésticos no reservatório (ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S. A., 2016). Quando se calculada a média das quatro campanhas dos três pontos, é possível observar que houve pouca variação nos valores obtidos, ficando todos os pontos classificados como IQA Bom.

3.3 Índice de Estado Trófico

Quanto ao IET, foram encontrados piores valores em PII, na última campanha de amostragem, e os melhores valores de IET foram encontrados em PI, durante a primeira campanha, sendo o valor médio de todos os pontos e períodos amostrados de 61,42 estando assim classificado o trecho como eutrófico (TABELA 10).

Tabela 10 - IET em função do período de coleta para rios e reservatórios

Data da campanha	Precipitação* (mm)	IET (Reservatórios)					
		PI		PII		PIII	
		Valor	Classe	Valor	Classe	Valor	Classe
23/11/2021	49,8	59,66	Eutrófico	58,79	Mesotrófico	59,16	Eutrófico.
07/02/2022	103,3	59,61	Eutrófico	59,35	Eutrófico	59,61	Eutrófico
30/05/2022	0	58,04	Mesotrófico	57,46	Mesotrófico	56,66	Mesotrófico
15/08/2022	12,2	56,37	Mesotrófico	55,71	Mesotrófico	56,42	Mesotrófico
Classificação média		58,42	Mesotrófico	57,82	Mesotrófico	57,96	Mesotrófico

Data da campanha	Precipitação* (mm)	IET (Rios)					
		PI		PII		PIII	
		Valor	Classe	Valor	Classe	Valor	Classe
23/11/2021	49,8	64,23	Supereutrófico	58,79	Eutrófico	63,3	Supereutrófico
07/02/2022	103,3	64,19	Supereutrófico	59,35	Supereutrófico	64,19	Supereutrófico
30/05/2022	0	61,29	Eutrófico	57,46	Eutrófico	58,98	Mesotrófico
15/08/2022	12,2	58,46	Mesotrófico	55,71	Mesotrófico	58,51	Mesotrófico
Classificação média		62,04	Eutrófico	60,99	Eutrófico	61,24	Eutrófico

Fonte: Do autor (2023).

*Acumulada dos últimos 07 dias anteriores à data da coleta

Na Tabela 10 observa-se que, para o ponto PI (Local de recreação), os graus de trofia, nos meses com maiores índices pluviométricos, foram eutrófico para reservatórios e supereutróficos para rios, enquanto, nos meses que apresentaram estiagem, a classificação para rios e reservatórios se manteve em mesotrófico, exceto no mês de maio em que, para rios, o local foi classificado como eutrófico. Nos meses de novembro e fevereiro, houve um aumento da concentração de Clorofila-*a*, em relação aos meses de maio e agosto, o que pode ser relacionado à criação de ambiente mais propício à floração de cianobactérias.

Segundo Reinl *et al.* (2021), mesmo em ambientes com baixas concentrações de nutrientes, o aumento na incidência solar, temperatura e ressuspensão de sedimentos podem levar à floração de cianobactérias que se encontrem em estado de dormência no fundo do reservatório.

No ponto PII (Captação de água para abastecimento), nos meses mais chuvosos, também, foi observada elevação na quantidade de Clorofila-*a*, porém, em menor quantidade que no PI. Os graus de trofia em novembro foram mesotrófico para reservatórios e eutrófico para rios, decaindo em fevereiro para eutrófico para rios e supereutrófico para reservatórios e, nos meses de maio e agosto, sendo classificado como mesotrófico para rios e reservatórios, exceto em maio em que, para rios, o local foi classificado como eutrófico, assim como no ponto PI.

No ponto PIII, houve comportamento similar aos demais, sendo observada maior concentração de Clorofila-*a* e elevação nos graus de trofia, nos meses de novembro e fevereiro, sendo classificado em eutrófico para reservatórios e supereutróficos para rios, já nos meses de maio e agosto, mesotrófico para rios e reservatórios.

A fim de se evitar a classificação errônea de um corpo d'água pela possibilidade de coleta de amostras, durante um período de floração de cianobactérias, foi feito o cálculo da média simples dos valores encontrados no período amostrado. O Índice de Estado Trófico médio, em todos os pontos, foi classificado como eutrófico para rios e mesotrófico para reservatórios.

3.4 Classe das águas e balneabilidade

Os valores encontrados para as variáveis relacionadas à classificação das águas foram dispostos na Tabela 11. É possível observar que a variável CF, em todas as campanhas, extrapolou o valor máximo aceitável, para águas de Classe 2, tendo uma elevação expressiva

da contagem durante os períodos com maiores índices pluviométricos. Esse aumento pode estar relacionado ao carreamento de dejetos animais nas áreas de entorno do reservatório.

Tabela 11 - Resultados das variáveis de qualidade de água e comparação com os valores máximos permitidos para Classe 2 da DN CONAMA 357

Data da amost.	C.F NMP/100 mL	DBO (mg L ⁻¹)	P (mg L ⁻¹)	pH	O.D (mg L ⁻¹)	S.T (mg L ⁻¹)	T. (°C)	Turbidez (uT)	N (mg L ⁻¹)	Cl a (µg L ⁻¹)	Cor (mg Pt L ⁻¹)
P – I											
23/11/21	1,5.10 ⁴	1,69	0,064	7,98	7,06	78,33	18,6	9,96	0,39	13,95	23,24
07/02/22	4,5. 10 ⁵	2,44	0,063	6,14	6,68	86,67	19,8	40,0	0,78	13,95	53,31
30/05/22	9. 10 ³	1,25	0,066	6,62	7,14	48,33	20,5	5,10	0,39	6,95	151,74
15/08/22	4. 10 ³	1,5	0,063	7,37	7,05	43,33	21,3	4,13	0,39	3,72	95,96
P – II											
23/11/21	7. 10 ³	1,47	0,064	7,94	7,05	71,67	19,00	10,6	0,65	9,77	30,07
07/02/22	1,1. 10 ⁶	1,54	0,063	6,27	6,76	90,00	18,5	46,9	1,29	12,56	30,00
30/05/22	4. 10 ³	1,88	0,065	6,68	7,20	38,33	19,80	5,40	0,52	5,58	154,47
15/08/22	4. 10 ³	2,22	0,064	6,97	7,23	35,00	21,80	4,03	0,65	2,79	92,96
P – III											
23/11/21	9. 10 ³	1,73	0,064	7,94	7,05	68,33	19,8	10,4	0,65	11,16	28,71
07/02/22	2,5. 10 ⁵	2,65	0,063	6,27	6,76	85,00	18,5	48,2	1,29	13,95	46,68
30/05/22	4. 10 ³	1,96	0,065	6,68	7,20	36,67	20,5	6,02	0,39	4,19	153,11
15/08/22	4. 10 ³	2,92	0,064	6,97	7,23	36,76	21,40	5,13	0,72	3,72	98,43
VMP	≤ 1.000	≤ 5	≤ 0,05	6 e 9	>5	≤ 500	-	100		≤ 30	≤ 75

Fonte: Do autor (2023).
VMP: Valor máximo permitido.

Durante períodos de férias escolares e celebrações de fim de ano, como entre os meses de novembro de 2021 e fevereiro de 2022, há maior ocupação dos condomínios à beira lago (ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S. A., 2016), podendo acentuar a geração e as fontes de lançamentos esgotos e, conseqüentemente, aumento nas concentrações de CF.

Durante o período chuvoso, os níveis de CF encontrados, em todos os pontos, ultrapassam o estabelecido na Resolução CONAMA 357/05, para águas de Classe 3, estando acima de 4000 NMP por 100 mL, o que restringe seu uso a atividades de contato secundário como pesca amadora (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2005). Mesmo nos meses de estiagem, os valores encontrados estão no limite estabelecido, para as águas de Classe 3, sendo observada, no mês de maio no ponto PI, uma elevada carga de CF, em relação aos demais pontos, que pode ser associado ao lançamento de efluentes não tratados, nas proximidades do local, uma vez que não houve chuva no período.

Ressalta-se que há um decaimento na concentração de CF, ao longo do tempo e espaço, após o seu lançamento no corpo d'água, uma vez que há decréscimo na quantidade das bactérias pela alteração das condições ambientais, como variação de temperatura, exposição à luz solar e alteração de pH (VON SPERLING, 2007).

Quanto à variável PT, em todas as amostras, os valores se encontram acima do estabelecido para águas de Classe 2, porém, dentro dos limites para Classe 3, em ambiente intermediário ($0,075 \text{ mg L}^{-1}$) e acima dos limites para ambientes lênticos ($0,05 \text{ mg. L}^{-1}$).

No mês de fevereiro, em que houve maiores índices pluviométricos, em todos os pontos, foi observada uma elevação na concentração de NTK, em relação à concentração de PT, que pode indicar a preferência no uso de fertilizantes nitrogenados nas atividades agrícolas. Tais fertilizantes, à base de nitrogênio, fósforo e potássio, são comumente utilizados no preparo do solo para os plantios que são realizados no período de chuva.

Quanto à balneabilidade, é possível observar, na Tabela 12, que, em nenhum dos trechos observados, as águas são classificadas como próprias para banho, pois apresentam valores acima de 2.500 de coliformes termotolerantes.

Na Tabela 12, onde são apresentados os valores obtidos em PI, em cinco campanhas consecutivas, com intervalo de 24 h entre as coletas, é observado que os valores encontrados estão todos acima de $2.500 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$ CF, caracterizando o trecho como sistematicamente impróprio para banhos, sendo recomendada a pesquisa de organismos patogênicos, conforme descrito na Resolução nº 274/2000 CONAMA. No período amostrado, além da precipitação de 103,30 mm acumuladas dos últimos 07 dias anteriores ao da coleta, houve uma precipitação de

59 mm, no dia 09 de fevereiro, que pode ter contribuído para o aumento expressivo na contagem de coliformes nos dias seguintes.

Tabela 12 - Resultados dos Coliformes Termotolerantes no ponto PI em relação à precipitação

Data da amostragem	Precipitação acumulada 07 dias (mm)	C.F NMP/100 mL
07/02/22	103,30	1,1. 10 ⁶
08/02/22	111,70	2,5. 10 ⁵
09/02/22	162,80	4,5. 10 ⁵
10/02/22	160,80	1,1. 10 ⁶
11/02/22	167,00	1,1. 10 ⁶

Fonte: Do autor (2023).

Fatores como topografia, clima, composição, cobertura, uso e ocupação do solo causam influências diretas nos mananciais, destacando o incremento de poluentes relacionados às áreas urbanizadas e destinadas às práticas agropecuárias e à melhoria da qualidade das águas nos trechos protegidos por fragmentos florestais (XU *et al.*, 2016).

Tendo em vista o fato de que mais de 50% da cobertura do solo, na área do entorno do reservatório, dentro dos limites de Ijaci-MG, tratar-se de pastagem, há maior carreamento de detritos, no período chuvoso, elevando assim a concentração de poluentes no período, em especial, CF presente nas fezes dos animais.

A Lei 12.651/2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa estabelece que, para áreas de proteção permanente dos reservatórios destinados ao abastecimento público ou geração de energia, o empreendedor deverá desapropriar faixas com extensão de 30 m a 100 m e que o uso do solo não poderá exceder 10% de tal área (BRASIL, 2012).

No entanto Martins *et al.* (2022), ao analisarem seis microbacias no Sul da Bahia, concluíram que zonas ripárias preservadas com faixas de até 100 m, a partir das margens, são ideais para a preservação do manancial e que atividades agropecuárias na área de entorno estão fortemente relacionadas com a elevação dos investimentos em tratamento de água para abastecimento humano.

Dessa forma, destaca-se que, para garantir o uso do recurso de forma sustentável, o monitoramento das atividades no entorno, associado à manutenção de vegetação ripária, é de vital importância, para garantir a proteção do curso d'água e disponibilidade de água em quantidade e qualidade requerida, tanto no ponto de seu uso quanto a jusante sendo necessárias políticas em conjunto com os demais municípios que compõem a bacia do curso d'água

(MELLO *et al.*, 2020), reduzindo investimento em tecnologias de tratamento das águas destinadas ao abastecimento humano e garantindo a disponibilidade para os demais fins requeridos (ANA, 2021).

4 CONCLUSÃO

O trecho, durante o período monitorado, não atende aos parâmetros de CF e PT estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, para águas enquadradas como Classe 2, que podem ser destinadas ao abastecimento humano, após tratamento convencional, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e pesca.

Durante os meses de maio e agosto, nos pontos PII e PIII e em PI, somente em agosto, as águas atenderam aos limites estabelecidos para águas enquadradas como Classe 3 que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado, recreação de contato secundário, irrigação de culturas arbóreas, pesca amadora e dessedentação de animais.

Em todas as campanhas e pontos amostrados, as águas atendem ao estabelecido para águas enquadradas como Classe 4 que podem ser destinadas à navegação e harmonia paisagística.

Apesar dos valores elevados da variável CF, em todos os pontos e campanhas, o IQA médio, nos pontos analisados, foi Bom, sendo necessária a divulgação de outras informações, como classificação das águas e padrões de balneabilidade para melhor entendimento da finalidade adequada de uso seguro.

O Índice de Estado Trófico médio, em todos os pontos, foi Eutrófico para rios e Mesotrófico para reservatórios, podendo interferir na qualidade das águas e na finalidade de seu uso.

A análise da correlação entre as variáveis indica relação com fontes de poluição oriundas de atividades agropecuárias, em especial, no período chuvoso, podendo também estar relacionadas ao lançamento de efluentes domésticos não tratados, ao longo do trecho, uma vez que houve elevação de PT mesmo em períodos de estiagem.

As águas do reservatório UHE Funil, no período e trecho monitorados, apresentaram boa qualidade, decaindo para aceitável, no mês com maiores índices pluviométricos e médio processo de eutrofização, no entanto a concentração elevada de CF restringe as finalidades de uso para as quais são predominantemente requeridas, sendo indicada a proteção das zonas ripárias, para a redução do carreamento de detritos da área de entorno, divulgação aos usuários quanto à inadequação, para os usos acima descritos, além de pesquisa de organismos patogênicos nos locais onde há recreação de contato primário e secundário.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas sistema existente. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 2 fev. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Indicadores de qualidade-Índice de qualidade das águas (IQA)**. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- ALIANÇA GERAÇÃO DE ENERGIA S. A. **Plano Ambiental de Conservação e uso do Entorno do Reservatório Artificial (Pacuera)**: UHE Funil. Belo Horizonte: Sete, 2016.
- AMÂNCIO, D. V. *et al.* Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 75-86, jan./mar. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9898**: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- BAIRD, R. B. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC: APHA, 2005.
- BARCELOS, A. A. de. *et al.* Diagnóstico da qualidade das águas do córrego Sucuri (Caçu-Goiás). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 10, n. 3, p. 750-766, 2017.
- BARROSO, G. R.; PINHEIRO, W. F.; PEREIRA, A. A. Avaliação da qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte (MG) e sua relação com o volume de água do reservatório. **Revista Geográfica Acadêmica**, Goiás, v. 12, n. 2, p. 91-109, 2018.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 6, p. 470, 9 jan. 1997.
- 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 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 102, p. 1, 28 maio 2012.
- BRITANNICA. Humid subtropical climate - climatology. **Encyclopedia Britannica**, [S.l.], 22 Nov. 2018. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/humid-subtropical-climate>. Acesso em: 14 fev. 2023.
- BU, H. *et al.* Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. **Ecological Indicators**, New York, v. 41, p. 187-197, June 2014.

CHRISTOPHORIDIS, C. *et al.* Occurrence and diversity of cyanotoxins in Greek lakes. **Scientific Reports**, London, v. 8, n. 1, p. 1-22, Dec. 2018.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, [Waco], v. 22, n. 2, p. 361-380, Mar. 1977.

CHRISTOPHORIDIS, C. *et al.* Occurrence and diversity of cyanotoxins in Greek lakes. **Scientific Reports**, London, v. 8, n. 1, p. 1-22, Dec. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Balneabilidade e saúde**. São Paulo: CETESB, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/praias/balneabilidadeesaude/>. Acesso em: 19 nov. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2020.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM); CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS (CERH). Deliberação Normativa Conjunta Copam-CERH/MG nº 8, de 21 de novembro de 2022. 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. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG, 2 dez. 2022.

COSTA, A. B. da *et al.* Desenvolvimento e aplicação de índices de qualidade da água. **Caderno de Pesquisa**, Santa Cruz do Sul, v. 24, n. 1, p. 69-77, 2012.

DUARTE, M. R. N. *et al.* Limnological dynamics in an artificial reservoir and intermittent river in the semi-arid region as a function of land use and occupation. **Revista Ciência Agrônômica**, Ceará, Fortaleza, v. 52, n. 1, p. 1-10, 2021.

GRANITTO, M.; DIODATO, S.; RODRÍGUEZ, P. Water quality index including periphyton chlorophyll-a in forested urban watersheds from Tierra del Fuego (Argentina). **Ecological Indicators**, New York, v. 126, p. 107614, July 2021.

HOFFMANN, T. C. P.; OLIVEIRA, F. A. de. Influence of land use in rural and urban areas on the production and transport of suspended sediments in the drainage basin of the Capivari River, Lapa-PR. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 821-836, 2018.

HUISMAN, J. *et al.* Cyanobacterial blooms. **Nature Reviews. Microbiology**, London, v. 16, n. 8, p. 471-483, Aug. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Ijaci**. Belo Horizonte: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ijaci/panorama>. Acesso em: 20 out. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INPE). **Caro(a) usuário(a), seja bem-vindo(a) ao Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 31 nov. 2022.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. Tese (Doutorado em Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

MAPBIOMAS. **Estatísticas.** 2021. Disponível em:

[https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura?activeBaseMap=9&layersOpacity=100&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2021&mapPosition=-15.114553%2C-51.416016%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2021&baseParams\[territoryType\]=1&baseParams\[territories\]=1%3BBrasil%3B1%3BPa%3C%ADs%3B0%3B0%3B0%3B0&baseParams\[activeClassesLevelsListItems\]=1%2C7%2C8%2C9%2C10%2C11%2C12%2C13%2C14%2C15%2C16%2C17%2C18%2C27%2C37%2C38%2C39%2C40%2C41%2C28%2C42%2C43%2C44%2C19%2C20%2C4%2C21%2C22%2C23%2C24%2C5%2C25%2C26%2C6](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura?activeBaseMap=9&layersOpacity=100&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2021&mapPosition=-15.114553%2C-51.416016%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2021&baseParams[territoryType]=1&baseParams[territories]=1%3BBrasil%3B1%3BPa%3C%ADs%3B0%3B0%3B0%3B0&baseParams[activeClassesLevelsListItems]=1%2C7%2C8%2C9%2C10%2C11%2C12%2C13%2C14%2C15%2C16%2C17%2C18%2C27%2C37%2C38%2C39%2C40%2C41%2C28%2C42%2C43%2C44%2C19%2C20%2C4%2C21%2C22%2C23%2C24%2C5%2C25%2C26%2C6). Acesso em: 31 nov. 2022.

MARQUES, A. de F.; MORAIS, M. J. P. de; CARNEIRO, V. A. Apontamentos geográficos sobre o calcário agrícola no estado de Goiás em 2017. **Revista Percurso**, Maringá, v. 13, n. 2, p. 3-22, 2021.

MARTINS, D. V. R. *et al.* Avaliando a relação entre a qualidade e os custos de tratamento de água e alterações dos usos do solo em múltiplas escalas espaciais: um estudo de bacias hidrográficas do sul da Bahia, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 4, p. 773-781, jul./ago. 2022.

MATIAS, M. I. de A. S. *et al.* Qualidade de corpos hídricos no Extremo Sul da Bahia. **Revista Verde de Agroecologia E Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 13, n. 2, p. 235-240, mar. 2018.

MEDEIROS, R. B.; PINTO, A. L.; SÃO MIGUEL, A. E. Uso, cobertura e manejo da terra e sua influencia na velocidade, vazão e transporte de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do córrego Moeda, Três Lagoas/MS. **Revista Geográfica Acadêmica**, Roraima, v. 12, n. 2, p. 37-54, 2018.

MELLO, K. de *et al.* Multiscale land use impacts on water quality: assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, London, v. 270, p. 110879, Sept. 2020.

MENEZES, J. P. C. *et al.* Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 519-534, jul./set. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Conama nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 18, p. 70-71, 25 jan. 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

NAVES, J. I. T. R. *et al.* Influência da sazonalidade e da oscilação ENOS na qualidade das águas de um rio tropical: métodos estatísticos multivariados. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Pombal, v. 12, n. 10, p. 186-195, out. 2021.

NGATIA, L. W. *et al.* Potential phosphorus eutrophication mitigation strategy: biochar carbon composition, thermal stability and pH influence phosphorus sorption. **Chemosphere**, Oxford, v. 180, p. 201-211, Aug. 2017.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS - A free and open source geographic information system**. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 1 jan. 2022.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Core Team, 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 31 nov. 2022.

REINL, K. L. *et al.* Cyanobacterial blooms in oligotrophic lakes: shifting the high-nutrient paradigm. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 66, n. 9, p. 1846-1859, Sept. 2021.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade das águas em rios**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007.

XU, H. *et al.* Relationships between river water quality and landscape factors in Haihe River Basin, China: implications for environmental management. **Chinese Geographical Science**, Beijing, v. 26, p. 197-207, Oct. 2016.