

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PIRACICABA, MINAS GERAIS, BRASIL

WATER QUALITY ANALYSIS OF THE PIRACICABA RIVER, MINAS GERAIS, BRAZIL

Marluce Teixeira Andrade Queiroz; Estefane Vieira Dias

RESUMO :A Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) abrange importantes atividades econômicas, tal como, mineração, siderurgia, reflorestamento de eucaliptos, dentre outras. Pontua-se que em sua área de abrangência encontra-se a Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA) responsável por favorecer o incremento da densidade demográfica e geração de águas residuais, sendo assim, contribuindo com a deposição de agentes poluidores em corpos hídricos. Desse modo, nessa pesquisa foram exploradas as condições da qualidade da água e as prováveis causas em locais distintos ao longo da BHRP que integra a Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD), Minas Gerais, Brasil. As estimativas da qualidade da água foram realizadas utilizando como base de dados os relatórios do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para o período compreendido entre janeiro/2018 até dezembro/2022. Desse modo, foram analisados os parâmetros físico-químicos de treze pontos de coletas localizados nos municípios de Rio Piracicaba, João Monlevade, São Gonçalo do Rio Abaixo, Nova Era, Timóteo, Antônio Dias, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Mariana, Alvinópolis e Catas Altas. Os achados indicaram a deterioração da qualidade da água evidenciando relação com as condições de uso e ocupação do solo, tal como, o lançamento do esgoto in natura, sendo proveniente principalmente da rede domiciliar, tendo como agravante a ausência da mata ciliar em diversos locais da região de estudo. Verificou-se aí, a necessidade de aperfeiçoamento do manejo da BHRP viabilizando condições mais restritivas à introdução de contaminantes demandando a aplicação de programas mais eficazes para viabilizar a sua recuperação e em consequência a proteção dos fatores bióticos e abióticos.

Palavras-chave: Qualidade da água; Uso e ocupação do solo; Medidas Mitigadoras.

ABSTRACT: The Piracicaba River Hydrographic Basin (BHRP) encompasses important economic activities, such as mining, steelmaking, eucalyptus reforestation, among others. It is noted that in its area of coverage is the Metropolitan Region of Vale do Aço (RMVA) responsible for favoring the increase in demographic density and generation of wastewater, thus contributing to the deposition of polluting agents in water bodies. Thus, in this research, water quality conditions and probable causes were explored in different locations along the BHRP that integrates the Rio Doce Hydrographic Basin (BHRD), Minas Gerais, Brazil. Water quality estimates were carried out using reports from the Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) for the period from January/2018 to

December/2022 as a database. In this way, the physical-chemical parameters of thirteen collection points located in the municipalities of Rio Piracicaba, João Monlevade, São Gonçalo do Rio Baixo, Nova Era, Timóteo, Antônio Dias,

Coronel Fabriciano, Ipatinga, Mariana, Alvinópolis and Catas Altas were analyzed. The findings indicated the deterioration of water quality, showing a relationship with the conditions of use and occupation of the land, such as the release of raw sewage, mainly coming from the household network, with the aggravating factor being the absence of riparian forest in several locations in the area. study region. There was a need to improve the management of BHRP, enabling more restrictive conditions for the introduction of contaminants, demanding the application of more effective programs to enable their recovery and, consequently, the protection of biotic and abiotic factors.

Keywords: Water quality; Land use and occupation; Mitigating Measures.

INTRODUÇÃO

O incremento da demanda hídrica global mostra relação com o crescimento populacional, com o manejo e ocupação do solo consoante com as políticas públicas de urbanização, produção alimentar e energética, contribuindo para a deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, podendo, desse modo, gerar uma crise de abastecimento de água potável afetando negativamente a população, principalmente, a parcela mais vulnerável que inclui crianças, idosos e os portadores de patologias crônicas (SOUZA et al., 2018).

Outro aspecto, a estimativa nacional mostra que a indústria de transformação representa o terceiro maior uso da água, atrás do abastecimento humano e da agricultura irrigada (ANA, 2014). Reforça-se que não existe nenhuma forma de produção que dispense o uso da água doce em seu ciclo operacional em pelo menos uma de suas etapas (CHAVES et al., 2020). Em função desse panorama houve a necessidade quanto à elaboração de medidas para assegurar a proteção desse recurso ambiental vulnerável e imprescindível para a manutenção da vida e sistemas manufaturados (QUEIROZ et al., 2015).

Dentre os possíveis fatores relacionados com a deterioração da qualidade da água destaca-se a descarga de material orgânico no curso d'água que contribui para exacerbar a sua fragilidade ambiental (FRANCO, 2010). Esse fenômeno pode ocorrer de forma natural pela presença de plantas e animais na bacia de captação, ou, pela ação humana, através dos efluentes de

empreendimentos econômicos, tal como, a siderurgia e o cultivo agrícola (HOWE et al., 2016).

Em relação aos despejos da lavoura constata-se a prevalência dos efeitos deletérios pertinentes à qualidade da água e do solo associados aos ingredientes ativos presentes na formulação dos agroquímicos, às impurezas do processo de fabricação e aos aditivos (diluente ou solventes, conservantes, emulsificantes, dentre outros) (HEMOND E FECHENER-LEVY, 2000). Em outro ângulo, as condições ambientais, temperatura, pluviosidade, intensidade de luz solar, ventos, cobertura vegetal e topografia da região também contribuem para dissipação, biodisponibilidade e transporte dos agrotóxicos no solo (GOMES et al., 2002).

Braga et al. (2005) reforçam que existem produtos resultantes da degradação química, microbiológica ou fotoquímica dos ingredientes ativos, que possuem atividade eco toxicológica muitas vezes mais intensa que a molécula original implicando em efeitos nocivos imediatos e de longo prazo. Além disso, outros efluentes industriais e sanitários podem conter elevada carga de material orgânico, compostos recalcitrantes, metais tóxicos e agentes surfactantes. Dentre esses, podem ser citados as águas residuais provenientes dos processos manufatureiros, tal como, a exploração da celulose que muitas vezes demanda o reflorestamento com eucaliptos (ARAÚJO et al., 2016).

Especificamente nessa pesquisa, objetivou realizar um diagnóstico quanto as condições da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) localizada na porção sudeste do estado de Minas Gerais, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD), Brasil. Trata-se de um corpo hídrico com grande relevância para a região abarcando diversas funções, tal como, o guarnecimento industrial, a geração de energia, bem como o abastecimento humano, segundo maior uso, devido à elevada densidade populacional ao redor da sua área de captação (QUEIROZ, 2017). Nesse contexto, foram realizadas análises em relação aos agentes degradativos existentes na BHRP e sua relação com a qualidade da água superficial. Pondera-se quanto à relevância dessa investigação científica para subsidiar a definição de políticas públicas e a gestão dos recursos hídricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) está localizada na porção leste do Estado de Minas Gerais (MG) e apresenta uma área correspondente a 5.465,38 quilômetros quadrados de área, representando cerca de 1% do território mineiro. O rio Piracicaba possui 241 quilômetros de extensão e sendo o seu nascedouro no município de Ouro Preto e seguindo até a divisa das cidades de Ipatinga e Timóteo, onde se encontra com o rio Doce. Entre os seus afluentes podem ser citados os rios Turvo, Conceição, Una, Machado, Santa Bárbara, Peixe e Prata. Além desses considerados os mais significativos, ao longo do seu curso, recebe a descarga de quase uma centena de córregos e ribeirões, os quais compõem sua rede de drenagem, desse modo, abrangendo, de forma total ou parcial, 21 municípios (IGAM, 2010; IBGE, 2010).

Especificamente, o uso e ocupação do território abrangido pela BHRP (Figura 1) também contempla a mineração e diversas outras atividades, tal como, a agrícola (pastagem e cultivo), o plantio de eucalipto, dentre outras, apresentando extensas áreas degradadas. Nesse contexto, as distorções ambientais decorrentes do modelo de exploração econômica na área de estudo são extremamente relevantes do ponto vista econômico, social e ambiental, exercendo um forte impacto sobre os recursos hídricos (QUEIROZ, 2017).

Em toda a extensão da BHRP são identificados diversos empreendimentos econômicos e conglomerados urbanos implicando no despejo de efluentes contendo substâncias recalcitrantes e metais tóxicos. Nesse quesito, merece atenção a Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA) formada por quatro municípios principais sendo Coronel Fabriciano, Ipatinga, Santana do Paraíso e Timóteo (IGAM, 2010).

O monitoramento da qualidade da água da BHRP é realizado através do IGAM que dispõe de diversas estações para amostragens periódicas que atendem os padrões técnicos pertinentes à coleta e analíticos. Essa região é identificada como Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – DO2 (UPGRH-DO2), sendo esta detentora do maior número de estações de coleta na BHRD.

Quadro 1 - Localização das estações de monitoramento do IGAM na BHRP.

Estação	Classe	Município	Curso d'água	Principais atividades antrópicas
RD025	Classe 2	Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	Mineração, atividade agrossilvipastoril, UHE e ausência de ETE
RD026	Classe 2	João Monlevade	Rio Piracicaba	Indústria química e metalúrgica, PCH, ETE* e aterro sanitário
RD027	Classe 2	São Gonçalo do Rio Abaixo	Rio Santa Bárbara	Mineração, aterro sanitário de pequeno porte e ausência de ETE
RD029	Classe 2	Nova Era	Rio Piracicaba	Ausência de ETE
RD030	Classe 2	Nova Era	Rio do Peixe	Mineração, suinocultura, abatedouro, UHE, PCH e ausência de ETE
RD031	Classe 2	Timóteo	Rio Piracicaba	Mineração, indústria química e metalúrgica, ETE**
RD032	Classe 2	Antônio Dias	Rio Piracicaba	Mineração, UHE, PCH, indústria química, ausência de ETE
RD034	Classe 2	Coronel Fabriciano	Rio Piracicaba	PCH, indústria química e matadouro, ETE**
RD035	Classe 2	Ipatinga	Rio Doce	Mineração, indústria metalúrgica, alimentícia e química, ETE
RD074	Classe 2	Mariana	Rio Piracicaba	Mineração
RD075	Classe 2	Alvinópolis	Rio Piracicaba	Ausência de ETE
RD076	Classe 1	Nova Era	Rio da Prata	Ausência de ETE
RD099	Classe 1	Catas Altas	Rio Maquiné	Mineração

* Funcionamento não iniciado; ** Início do funcionamento: 09/2019. Fonte: IGAM, 2023; IDE-SISEMA, 2023.

TRATAMENTO DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os dados provenientes dos relatórios do IGAM para o período compreendido janeiro/2018 até dezembro/2022 para as estações de monitoramento (Quadro 1) selecionadas para esse estudo foram inseridos em um banco digital e organizados em gráficos e tabelas. Reforça-se que foi abrangida uma extensa área (Figura 2) possibilitando uma análise robusta da qualidade da água da Em relação ao conjunto de dados para cada ponto amostral foram verificadas as médias aritméticas e desvios padrão para os

parâmetros físico-químicos. Além disto, foram obtidos os valores máximos e mínimos para o período monitorado.

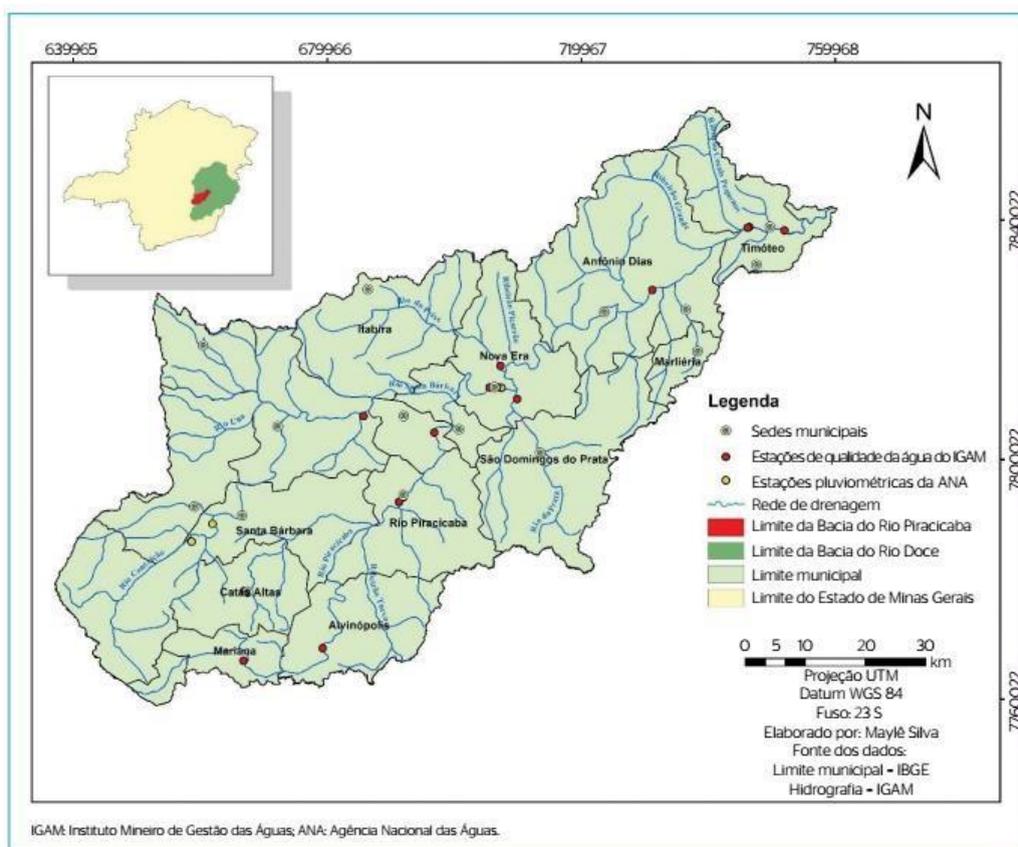


Figura 2 - Mapa com a localização das estações de qualidade da água do IGAM na BHRP.

Fonte: Silva *et al.*, 2017.

Para a obtenção das médias e desvios padrões bem como para os testes estatísticos, os valores abaixo do limite de detecção dos métodos (N.D.) foram considerados como igual a zero. Os achados foram comparados aos padrões permissíveis para águas superficiais classe 2, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH- MG 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008) para os parâmetros descritos na Tabela 1. Os ambientes foram considerados classe 2, uma vez que os mesmos ainda não foram enquadrados pelo órgão ambiental competente, conforme previsto no artigo nº 42 da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

Tabela 1 - Padrões CONAMA 357/2005 para águas superficiais classe 2

Parâmetro	Padrão
Clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	30
Cor (mg Pt.L^{-1})	75
N-amoniaco (mg.L^{-1})	3,7 ($\text{pH} \leq 7,5$); 2,0 ($7,5 < \text{pH} < 8,0$); 1,0 ($8,0 < \text{pH} < 8,5$); 0,5 ($\text{pH} \geq 8,5$)
NO_2^- (mg.L^{-1})	1
NO_3^- (mg.L^{-1})	10
Oxigênio dissolvido (mg.L^{-1})	5
P total (mg.L^{-1})	0,1 (lótico) ou 0,03 (lêntico)
pH	6 a 9
Sólidos Totais Dissolvidos (mg.L^{-1})	500
Turbidez (NTU)	100

Fonte: IGAM, 2023.

Para avaliar a qualidade da água foi estimado o Índice de Qualidade da Água (IQA) pelo produto ponderado das variáveis que integrem o índice como se observa na equação 1:

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

Equação 1: Expressão para cálculo do IQA

Fonte: IGAM, 2023.

O IQA corresponde ao produto ponderado dos parâmetros físico-químicos da água correspondente às variáveis que integram o índice como se observa na equação 1 e apresentados na Tabela 2 e na Tabela 3.

Tabela 2 - Pesos dos parâmetros físico-químicos para o índice de qualidade

Parâmetro	Peso (wi)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes fecais	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10
Nitrato	0,10
Fosfato	0,10
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Resíduos Totais	0,08
TOTAL	1

Referência: IGAM, 2023.

Tabela 3 - Classificação do Índice de Qualidade da água

Categoria (IQA)	Ponderação	Cor Indicadora
Excelente	$90 < IQA \leq 100$	Azul Escuro
Bom	$70 < IQA \leq 90$	Verde Claro
Médio	$50 < IQA \leq 70$	Amarelo
Ruim	$25 < IQA \leq 50$	Laranja
Muito Ruim	$0 \leq IQA \leq 25$	Vermelho

Referência: IGAM, 2023.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O IQA refletiu as alterações provenientes da urbanização (densidade demográfica, dinâmica da produção, o consumo de água e produção de esgoto). Destaca-se a interferência da industrialização relacionada com a exploração de minério de ferro, que apresenta impactos potenciais importantes sobre a qualidade de água, seja pela possibilidade de aumento de sólidos suspensos,

seja pela alteração química da água nas lagoas de decantação utilizadas no beneficiamento do minério (ZIMMERMANN et al., 2008).

Com base nos resultados analíticos se apurou preponderância do IQA médio (Tabela 3) na BHRP em todos os pontos de coleta (Quadro 1), sendo os piores resultados identificados em RD034 (Coronel Fabriciano). Além disso, na área rural à jusante e montante de RD034 foram detectadas fossas sépticas indicando exacerbação da degradação antrópica da BHRP e mananciais freáticos. Outro problema se relacionou com o risco potencial da erosão devido à supressão de vegetação e empobrecimento do solo após sua utilização como pasto e outros fins (PERESIN et al., 2014; QUEIROZ et al., 2015).

Em relação aos fatores ambientais naturais identificou-se que a precipitação pluviométrica pode alterar significativamente a qualidade da água repercutindo em suas características físico-químicas e biológicas, em função do transporte de material alóctone para a BHRP, promovendo modificações pertinentes aos teores dos compostos químicos na coluna d'água. Nos meses que compreendem o verão, nota-se uma preponderância de instabilidade atmosférica, sendo observadas chuvas que causam em diversas oportunidades transtornos à população. A análise estatística dos dados pertinentes à precipitação pluviométrica acumulada demonstrou que as diferenças não foram significativas ($p > 0,05$) entre as estações amostrais. Todavia, em todas as estações de amostragens prevaleceram às condições pertinentes ao aumento da pluviometria em janeiro (estação chuvosa) e redução em julho (estação seca). Além disso, se verificou que houve um incremento na vazão e nas cargas de nutrientes e sólidos suspensos no período de enchente/cheia em relação a vazante/seca, caracterizando uma considerável entrada de material alóctone para os corpos d'água na BHRP (QUEIROZ, 2017).

De modo geral, o comprometimento do IQA na região de estudo se relacionou, também, com a carga de coliformes fecais sendo preocupante. É sabido que a presença em valor elevado dessa variável biológica sugere a possibilidade da existência de microrganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (ex: disenteria bacilar, febre tifóide, cólera) conforme informações do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2023). Os resultados desse estudo extrapolaram o Valor

Máximo Permitido (VMP) estabelecido nas Resoluções do CONAMA nº. 274/2000 e 357/2005 em 780%, 757%, 829%, 924% e 973% perante os valores obtidos nas amostragens, respectivamente em RD 075, RD 029, RD 030 e RD 035, tornando-a imprópria para a recreação humana e dessedentação de animais.

Vale destacar, que as atividades agropecuárias são importantes para a economia regional. Segundo os dados censurados entre 2000 a 2012 ocorreu o crescimento no rebanho de bubalinos (226,17%) e bovinos (24,13%) na região. Dentre todas as atividades econômicas identificadas na região da BHRP, trata-se das principais responsáveis pela introdução de toneladas de excremento, piorando a qualidade da água superficial e repercutindo negativamente na saúde do bioma (MACHADO et al., 2014).

Em adição, pondera-se que esses resultados foram provenientes dos relatórios IGAM. Os achados evidenciam que na região da BHRP localizada entre João Monlevade e Nova Era, à jusante da região das minas de ferro e entrada em área siderúrgica, a presença dos coliformes termotolerantes até 9.208% maior que o tolerável conforme CONAMA 357/2005. Tal situação mostrou a necessidade quanto à adoção de medidas mitigadoras, tais como, evitar o lançamento de esgotos diretamente nos rios e a exposição de resíduos em lixões que são causas para o crescimento contínuo da poluição das águas (STENGER-KOVÁCS et al., 2013).

Pondera-se, de modo geral, a BHRP mostrou boas condições de oxigenação não sendo encontrada diferença estatística significativa ($p > 0,05$) nos valores de oxigênio dissolvido entre as estações amostrais. Em nenhuma amostragem a concentração de OD esteve abaixo do valor mínimo determinado pelo CONAMA 357/2005, sendo que os valores médios estiveram próximos de 8 mg.L⁻¹, concentração satisfatória para manutenção da vida subaquática presente na BHRP conforme observado por Queiroz (2017).

Destacam-se, as concentrações de OD também podem ser usadas na determinação da poluição trófica de um corpo d'água, pois, a variação na concentração dos nutrientes (fósforo e/ou nitrogênio total) pode causar uma redução do OD favorecendo, assim, o processo de eutrofização. No entanto, é importante reforçar, sua concentração no meio aquático é inconstante, sendo

influenciada também por variações da temperatura da água, das atividades metabólicas da flora e fauna, e por fatores físicos do rio, como a turbulência da água e vazão (GERTEL; TAUKE-TORNISIELO; MALAGUTTI, 2003).

Queiroz et al. (2019) também relatam a ocorrência de elevados teores de OD na BHRP favorecendo a degradação da matéria orgânica. Entretanto, pontuam quanto à existência de contaminação nesse corpo hídrico contribuindo para o incremento dos teores de coliformes termotolerantes. Nesse estudo, também foi possível identificar a necessidade quanto à priorização de investimentos relacionados com a implantação de estações de tratamentos de efluentes sanitários, ou a melhoria das existentes conforme observado também por Cunha e Ferreira (2006).

Outro quesito favorável, apesar dos contribuintes poluidores discutidos anteriormente, cerca de 90% dos dados amostrais esteve dentro limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Os padrões extrapolados de formas pontuais dizem respeito aos valores médios anuais de nitrogênio total e fósforo total.

Em relação ao nitrogênio total, constatou-se que a produção primária de fitoplâncton na BHRP foi limitada pelo nitrogênio em apenas 1,5% de 267 amostras. Esta condição provocou o aumento dos valores médios anuais e a única extrapolação do limite máximo de 2,18 mg.L⁻¹ N conforme a referida legislação ambiental. Essa condição favoreceu a única desconformidade observada obtida no ponto RD031 (Timóteo) no período seco de 2016 que pode ser justificada pela hipsometria e fontes difusas.

Quanto ao fósforo total, o limite máximo de 0,1 mg.L⁻¹ para águas de Classe 1 e 2, foi extrapolado em 13% das amostras analisadas. Os valores médios máximos observados nos pontos RD026 (João Monlevade), RD029 (Antônio Dias), RD031 (Timóteo), RD034 (Coronel Fabriciano) e RD076 (Nova Era) podem ser relacionados às atividades de suinocultura (RD076) e abatedouro (RD034), e a ausência de tratamento do esgotamento sanitário, característica comum aos municípios relacionados.

A prevalência dos teores mais elevados de fósforo total foi observada durante a estação chuvosa, o que também denota relação com o carregamento de águas residuais provenientes de indústrias e atividades agrícolas. Esses

resultados mostraram consonância com diversos estudos, dentre esses, podem ser citados Bu et al. (2014), Assis e Lopes (2017), Afed Ullah et al. (2018) e Piazi et al. (2018). Excepcionalmente em 2019, os valores mais elevados relativos a este parâmetro foram observados no período seco apontando relação com a maior estabilidade dos processos de carregamento pela baixa variabilidade pluviométrica.

Por outro lado, os menores teores observados, correspondem às amostras recolhidas em Alvinópolis (RD075) e Catas Altas (RD099). O município de Alvinópolis não conta com ETE, mas retém baixa densidade demográfica, assim como Catas Altas, que por outro lado possui 100% de seu efluente sanitário tratado (ANA, 2013). Ademais, o ponto RD099 é localizado em águas de Classe 1, caracterizadas por baixos níveis de poluição por serem destinadas a recreação de contato primário, consumo humano após tratamento simplificado, entre outros (CONAMA, 2005). Estas cidades apresentaram também, por consequência, menores potenciais de eutrofização (ultraoligotrófico e oligotrófico), uma vez que o fósforo é nutriente essencial ao processo de floração de algas (SILVA, 2019).

Em adição, para os valores médios anuais obtidos para o parâmetro de clorofila-a não foram detectadas condições pertinentes à extrapolação do limite de 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$, para águas de Classe 1, e 30 $\mu\text{g.L}^{-1}$, para Classe 2 conforme o CONAMA nº 357/2005.

Destaca-se que conforme a Portaria nº 2914/2011, a clorofila-a deve ser considerada como indicador do potencial aumento da densidade de cianobactérias, embora, ela possa ocorrer também em outros grupos do fitoplâncton. Especificamente nesse estudo, os valores detectados indicaram pouca presença da biomassa fitoplanctônica. A baixa disponibilidade de luz ou baixas concentrações de fósforo podem ser relacionadas a este achado, visto que essas condições são determinantes para a produtividade primária (SILVA, 2019). Ainda que tenham produção de rejeitos da população no entorno das áreas analisadas, a influência antrópica no rio, em relação a esse parâmetro, foi baixa.

Considerando esses resultados foi possível identificar a urgência quanto à aplicação de estratégias mitigadoras visando a manutenção da vida aquática

na BRRP. Segundo Costa et al. (2008) a recuperação de rios degradados depende da implantação de sistemas de tratamento de esgoto doméstico, fiscalização quanto ao atendimentos dos padrões de lançamentos dos efluentes industriais, aplicação de multas e penalidades em relação ao descumprimento da legislação ambiental, instalação de aterros sanitários, manutenção de mata ciliar, reflorestamento e formação continuada em educação ambiental abrangendo todos os atores sociais, dentre outras ações. Reforça-se, a análise dos dados obtidos permitiu inferir-se que há necessidade do aperfeiçoamento e aplicação do Programa de Gerenciamento e Recuperação da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (PGR-BHRP). Certamente não se trata de tarefa simples e demanda recursos técnicos e investimentos financeiros. No entanto, o PGR-BHRP se apresenta como condição essencial para a sustentabilidade da região e preservação da saúde pública.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das análises realizadas nesse estudo foi possível observar que os tipos de uso e ocupação do solo no entorno da bacia, destacando-se as atividades agrícolas e o despejo de efluentes sanitários, contribuíram diretamente para a degradação da qualidade da água desse ambiente. Dentre os aspectos favoráveis, o IET da bacia foi observado em sua maioria dentro das categorias tróficas que representam menores acúmulos de nutrientes e, os valores de oxigênio dissolvido foram elevados durante todo o período de estudo considerado.

Pondera-se quanto à necessidade do melhor planejamento em relação aos mecanismos de exploração do recurso hídrico atendendo a legislação ambiental e aplicando ações para minimizar os impactos ambientais detectados e recuperar a qualidade da água da BHRP. Para tanto, exige-se o monitoramento sistemático com intervenções imediatas visando sua recuperação e preservação dos seus componentes bióticos e abióticos. Dentre esses, destaca-se a urgência quanto ao tratamento de esgoto sanitário em toda a região abrangida pelo rio Piracicaba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional das Águas (ANA). 2013. Atlas Esgotos. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>>. Acesso em: 01 junho. 2023.
- Agência Nacional das Águas (ANA). 2014. Apoio à gestão de recursos hídricos. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 junho. 2023.
- ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A. G. do; ALMEIDA, F. T. de; BONGIOVANI, M. C.; SCHNEIDER, R. M. 2016. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. Revista Ambiente e Água, v. 11(1):162-175. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/168333>>. Acesso em: 15 agosto. 2023.
- ARAÚJO, L. A. O.; FOSCHINI, C. R.; JASINEVÍCIUS, R. G.; FORTULAN, C. A. 2016. Precision dicing of hard materials with abrasive blade. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 86:9-12.
- BARROS, C. F. A.; SANTOS, A. M. M.; BARBOSA, F. A. R. Phytoplankton diversity in the middle Rio Doce lake system, Minas Gerais, Southeast Brazil. 2013. Acta Botanica Brasílica, 27(2): 327-346.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L. 2005. Introdução À Engenharia Ambiental: O Desafio Do Desenvolvimento Sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 318p.
- BRAGA, G. G.; BECKER, V. Influence of water volume reduction on the phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake: A comparison of two morphofunctional approaches. 2020. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 92(1):1-17.
- BU, H.; MENG, W.; ZHANG, Y.; WAN, J. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. 2014. Ecological Indicators, v. 41, págs./s 187-197. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.003>>. Acesso: 02 nov. 2023.
- CARLSON, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography. 22 (2): 361- 369.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2007. Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 02 set. 2023.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2014. Indicadores de qualidade das águas. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 12 set. 2023.
- CHAVES, V. DE S.; MARCON, J. L.; DUNCAN, W. P.; ALVES-GOMES, J. A. 2020. Acute toxicity of a deltamethrin based pesticide (DBP) to the Neotropical

electric fish *Microsternarchus cf. bilineatus* (Gymnotiformes). *Acta Amazônica*, v. 50, 355-362.

COOPER, R. N., WISSEL, B. Loss of trophic complexity in saline prairie lakes as indicated by stable- isotope based community-metrics. 2012. *Aquatic Biosystems*, 8: 6.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n.º 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Revoga os artigos 26 e 34 da Resolução n.º 20/86 (revogada pela Resolução n.º 357/05). *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 15 julho. 2023.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n.º 357 de 17 de março de 2005. Alterada pelas Resoluções n.º 370, de 2006, n.º 397, de 2008, n.º 410, de 2009, e n.º 430, de 2011. Complementada pela Resolução n.º 393, de 2007. Disponível em:

<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 15 julho. 2023.

COSTA, A. B. ; OLBERMANN, N. S. ; LOBO, E. A.; SCHUCH, M. . Avaliação do impacto ambiental: estudo de caso do arroio São Rafael, município de Cruzeiro do Sul, RS, Brasil. *Caderno de Pesquisa. Série Biologia (UNISC)*, v. 20, p. 18, 2008.

CUNHA, C. L. N.; FERREIRA, A. P. 2006. Modelagem matemática para avaliação dos efeitos de despejos orgânicos nas condições sanitárias de águas ambientais. *Caderno de Saúde Pública*, 22(8): 1715-1725.

ELS, R. H. V. 2014. Wetenschap over de grens. *Academic Journal of Suriname*, Vol. 5, pp. 461-463. FARAGE, J. A. P.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D; BORGES, A. C.. Determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do Rio Pomba. *Engenharia na Agricultura*, v. 18, n. 4, p. 322- 329, 2010.

FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2019. Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2018. Belo Horizonte: Feam.

FRANCO, G. B. 2010. Fragilidade ambiental e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Almada, Bahia. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, 345 p.

GERTEL, P.; TAUKE-TORNISIELO, S. M.; MALAGUTTI, E. N. 2003. Qualidade das Águas dos Córregos São Joaquim e Ribeirão Claro, Bacia do rio Corumbataí, SP, Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, 16 p.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M. C. P. Y. 2002. Avaliação da vulnerabilidade natural do solo em áreas agrícolas: subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos. *Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente*, 12 (1): 169-179.

HEMOND, H. F.; FECHNER-LEVY, E. J. 2000. *Chemical fate and transport in the environment*. 2. ed. San Diego: Academic Press, 433 p.

HOWE, K. J.; HAND, D. W.; CRITTENDEN, J. C.; TRUSSELL, R. R.; TCHOBANOGLIOUS, G. 2016. *Princípios de tratamento de água*. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 624 p.

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2010. *Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piracicaba*. Belo Horizonte.

_____. 2016. Portal dos Comitês: DO2 - CBH do Rio Piracicaba. Disponível em:

<<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais-mg/do2-cbh-piracicaba>>. Acesso: 03 jul. 2023.

_____. 2019. *Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2018: resumo executivo anual*. Belo Horizonte: IGAM, 327 p.

IDE-SISEMA, Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2020. WebGIS. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

IMASUL - Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul. Significado da cor para o tratamento sanitário da água. Disponível em: <<http://www.licenciamentoambiental.eng.br/>>. Acesso em: 13 junho 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 04 abr. 2023.

JUNIOR, L. C. C.; BRANDINI, N.; KNOPPERS, B. A.; SOUZA, W. F. de; MEDEIROS, P. R. P. 2012. *Comparação de Modelos e Índices para Avaliação do Estado Trófico do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL)*. *Geochimica Brasiliensis*, 26(1): 7-18.

KITSIOU, D.; KARYDIS, M. 2011. Coastal marine eutrophication assessment: A review on data analysis. *Environment International*, 37(1): 778-801.

LAMPARELLI, M. C. 2004. *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese (Doutorado Ciência na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos). Universidade de São Paulo, 235 p.

MAGALHAES, R. C. ; ANDRADE, C. F. ; OLIVEIRA, J. N. P. ; MANJATE, E. S. 2015. *Avaliação de políticas públicas de saneamento: o caso do Programa Minas Trata Esgoto*. *Revista Monografias Ambientais*, v. 14, p. 62-75.

MARROQUIM, M. C.G.; D'ABREU, J. C. 2013. Metalurgia, Siderurgia y Soldadura : Cinética de Reducción de Ferrita de Cinc Contendida en Plovos de Aceria Electrica por Mezclas de CO y CO2. Revista ABM - Metalurgia, Materiais & Mineração, v. 69, p. 12-16.

NIXON, S. W. 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41(1): 199-219. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00785236.1995.10422044>>. Acesso em: 23 mai. 2023.

PERESIN, D.; TORGAN, L. C.; SCHULZ, U.; CROSSETTI, L. O.. Structure of potamoplankton along a gradient of preservation of riparian vegetation in subtropical streams. *Academia Brasileira de Ciências (Impresso)*, v.86, p.841-853, 2014.

QUEIROZ, M. T. A.; SABARÁ, M. G.; QUEIROZ, C. A.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. 2015. Análise espaço-temporal de parâmetros de qualidade da água no Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 6(2): 02-10.

QUEIROZ, M. T. A. 2017. Avaliação da qualidade da água da sub-bacia do Rio Piracicaba e da sua área de influência no reservatório da Usina Hidrelétrica de Sá Carvalho, Antônio Dias, MG, Brasil. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas de Gerais, 123 p.

QUEIROZ, M. T. A.; QUEIROZ, C. A.; QUEIROZ, F. A.; BENIGNO, G. F.; 2019. Avaliação Do Índice De Estado Trófico E parâmetros De Qualidade Da água No reservatório Da Usina Hidrelétrica De Sá Carvalho, Minas Gerais, Brasil. *Sistemas & Gestão* 14 (1), 1-12.

QUEIROZ, M. T. A.; LIMA, L.R. P.; HELENO, G. V. R.; ALVIM, L. B.; MENEZES, M. A. B. C.; FERNANDES, V. O. . Monitoramento da qualidade da água no rio Piracicaba, bacia do rio Doce, MG, Brasil. *IJIE - Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, v. 11, p. 39-58, 2019.

QUEIROZ, M. T. A.; LIMA, L. R. P.; SABARÁ, M. G.; QUEIROZ, C. A.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. . Avaliação do estado trófico do rio Piracicaba e sua relação com a UHE - Sá Carvalho, MG, BRASIL. *RCA. Revista de ciências ambientais (UNILASALLE)*, v. 10, p. 21-43, 2016.

REIS, D. A. dos; SANTIAGO, A. da F.; NASCIMENTO, L. P. do; OLIVEIRA, E. G. de; MARQUES, L. De S.; ROESER, H. M. P. 2017. Influência dos fatores ambientais e antrópicos nas águas superficiais no rio Matipó, afluente do rio Doce. *Revista de Gestão de Águas da América Latina*, 14(2).

SALES, M. E. S.; LACERDA, M. C. de. 2017. Análise de Coliformes Totais e Termotolerantes em Água de Poço de Residências no Município de Presidente Médici, Rondônia. *Revista Saberes UNIJIPA*, volume 6 (1):41-50.

SILVA, A. R. da. 2019. Avaliação Do Processo De Eutrofização Das Águas Superficiais, Do Cenário Nacional Ao Local: Estudo De Caso Nas Bacias Hidrográficas Costeiras Dos Rios Ratoões, Itacorubi E Tavares (Ilha De Santa Catarina, Brasil). Tese (Doutorado em Geografia)- Universidade Federal de Santa Catarina, 309 p.

SILVA, K. da. 2018. Estimativa da variação temporal da eutrofização no Baixo São Francisco, a partir da utilização de índice trix. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 74p.

SOUZA, J. L. M.de ; FEZER, K.F.; GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; PACHECHENIK, P. E.; EVANGELISTA, A. W. P. 2018. Atributos Físicos e Balanço Hídrico do Solo com Floresta Ombrófila Mista, em Latossolo Vermelho-Amarelo em Telêmaco Borba – PR. Revista Ciência Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, v. 28, p. 90-98.

VON SPERLING, M.1996. Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 1. 2 ed. Belo Horizonte: Copyright ,243p.

ZIMMERMANN, C. M.; GUIMARAES, O. M.; ZAMORA, P. P.. Avaliação da qualidade do corpo hídrico do rio Tibagi na região de Ponta Grossa utilizando análise de componentes principais (PCA). Química Nova (Online), v.1, n. 2, 2008.