Avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil

Evaluation of water quality in the Piracicaba river basin, Minas Gerais, Brazil

***Marluce Teixeira Andrade Queiroz, Tania Gonçalves dos Santos**

Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Química
**marluce.queiroz@bol.com.br*

Submetido em 10/07/2019; Versão revisada em 23/09/2019; Aceito em 26/09/2019

Resumo

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é importante para auxiliar o planejamento ambiental sendo base para proposição de medidas mitigadoras. O estudo de caso referiu-se ao impacto na qualidade da água associado à Usina Hidrelétrica de Sá Carvalho (UHE- Sá Carvalho), na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP), pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD), Minas Gerais, Brasil. Os dados da BHRP foram provenientes das análises realizadas de amostras de água entre junho/2007 até novembro/2012 com pontos de coleta à montante e jusante da hidrelétrica, enquanto os resultados para o reservatório da UHE - Sá Carvalho foram extraídos dos relatórios da CEMIG em diferentes níveis de profundidade. Para o tratamento estatístico dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis. Constatou-se a degradação da qualidade da água da BHRP e a relevância da hidrelétrica para a regularização do corpo aquático.

Palavras-chave: Qualidade da Água; Rio Piracicaba; Análise Estatística

Abstract

The Water Quality Index (WQI) is important to assist in environmental planning and is the basis for proposing mitigating measures. The case study was related to the impact on the water quality associated to the Sá Carvalho Hydraulic Power Plant (HPP - Sá Carvalho), in the Piracicaba River Basin, belonging to the River Doce Hydrographic Basin, Minas Gerais , Brazil. The data from the Piracicaba River came from analyzes of water samples between June / 2007 and November / 2012 with collection points upstream and downstream of the hydroelectric plant, while the results for the HPP - Sá Carvalho reservoir were extracted from the reports of CEMIG in different levels of depth. For the statistical treatment of the physical, chemical and bacteriological parameters of the water the Kruskal-Wallis test was applied. It was verified the degradation of the water quality of the BHRP and the relevance of the hydropower to the regulation of the aquatic body.

Keywords: Water Quality; Rio Piracicaba; Statistical Analysis

INTRODUÇÃO

A proposta desse estudo se direciona para a geração de energia a partir das hidrelétricas que utilizam como matéria-prima principal um recurso renovável que é a água, se qualificando como alternativa limpa. Outros aspectos importantes são relacionados com a construção de grandes obras civis incluindo reservatórios que promovem a regularização do rio, eliminando riscos de enchentes, favorecendo a implantação de corredores hidroviários e de projetos de irrigação. Além disso, identifica-se a diversificação no uso dos recursos hídricos direcionadas para atividades, tais como, esporte e turismo, possibilitando lazer para a comunidade em seu entorno (ALBUQUERQUE FILHO *et al.* 2010).

Todavia, ao mesmo tempo implicam em intervenções que alteram o equilíbrio de todos os componentes ambientais, exigindo que sejam adotadas medidas mitigadoras (ALVES *et al*., 2013). As hidrelétricas nas fases de instalação, funcionamento e fechamento promovem remoção da mata ciliar, inundação de áreas verdes, prejuízos a fauna e flora, degradação do patrimônio histórico e cultural. Os efeitos cumulativos destas atividades resultam em mudanças significativas, não somente nos corredores dos rios, mas também nos ecossistemas que dele são dependentes. Nestas mudanças estão incluídas: alteração nos parâmetros físico-químicos das águas superficiais e subterrâneas; perda do habitat para peixes e animais selvagens; e valores recreativos e estéticos do meio ambiente diminuídos. Sendo assim, os ecossistemas são afetados por uma grande diversidade de riscos agravado pelos reflexos negativos a jusante e montante do seu entorno que se perenizam ao longo do tempo (ALBUQUERQUE FILHO *et al.*, 2010).

Trata-se de uma questão com temática desafiadora principalmente em face da crescente demanda energética e necessidade de proteção dos mananciais. Zimmerman *et al* (2008) alertam quanto à relevância do diagnóstico dos fatores que afetam a qualidade da água, bem como prever os impactos futuros decorrentes de determinados eventos ou condições específicas, para melhor auxiliar a administração dos recursos hídricos com medidas concretas e eficientes.

Nesse contexto, a mensuração do Índice de Qualidade da Água (IQA) assume especial importância na descrição das condições aquáticas e possibilitando a proposição de medidas mitigadoras auxiliando o planejamento ambiental no uso sustentável em bacias hidrográficas (RODRIGUES *et al*., 2012). O estudo de caso adotado referiu-se à Usina Hidrelétrica de Sá Carvalho (UHE- Sá Carvalho) localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP), pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD), Minas Gerais, Brasil. Os pontos de coleta foram selecionados à montante e à jusante do empreendimento hidrelétrico, sendo o monitoramento de parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos de qualidade da água realizado entre julho/2007 até julho/2012. O estudo de caso, conduzido em escala real, tem como objetivo testar a hipótese de que a existência do barramento afeta diretamente a qualidade da água repercutindo frente aos seus múltiplos usos. Além disso, a análise dos resultados possibilitou o entendimento da dinâmica ambiental viabilizando a proposição de medidas mitigadoras.

REVISÃO DA LITERATURA

Classes de qualidade da água

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 357/2005 estabelece que as águas doces sejam aquelas com salinidade ≤ a 0,5% condição na qual se enquadra a BHRP – MG. Além disso, a referida legislação estabelece classes de qualidade para água fluvial. Trata-se do conjunto das condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros. Em observância a essas diretrizes são encontradas as seguintes classes que são apresentadas no Quadro 1.

Índice de qualidade da água

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi elaborado nos Estados Unidos da América (EUA) em 1970. No Brasil passou a ser utilizado a partir de 1975 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Nas décadas seguintes, outros Estados brasileiros adotaram o IQA, que hoje é o principal índice de qualidade da água bruta utilizado no país, tendo em vista o seu emprego para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos, portanto apresenta limitações relacionadas com o diagnóstico de vários indicadores importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (ex: metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água (ANA, 2019).

Quadro 1 – Classe da Água Fluvial e Destinação.

Classe	Destinação
Especial	a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, c) a preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
1	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) a proteção das comunidades aquáticas; c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme CONAMA nº 274/2000; d) a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) e a proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
2	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) a proteção das comunidades aquáticas; c) a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274/2000; d) a irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) e a aquicultura e a atividade de pesca.
3	a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) a pesca amadora; d) a recreação de contato secundário; e) e a dessedentação de animais.
4	a) a navegação; b) e a harmonia paisagística

Fonte: MMA, 2019. Disponível:<// http://www.mma.gov.br />, Acesso: 04/01/2019.

O IQA é composto por nove parâmetros sendo: turbidez, temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido – OD, demanda bioquímica de oxigênio – $DBO_{5,20}$, fósforo total (P_{Total}), nitrogênio total (N_{Total}), coliformes fecais (CF) e resíduo total (R_{total}) ponderados através dos seus respectivos pesos (w) fixados em função da sua importância (Tabela 1) para conformação global do IQA de acordo com as diretrizes da Agência Nacional das Águas (ANA, 2019).

Em sequência deve ser calculado o produtório ponderado (Figura 1) dos nove indicadores.

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

Figura 1 - Expressão matemática do cálculo do IQA.
Fonte: ANA, 2019, Disponível: http:<//pnqa.ana.gov.br />, Acesso: 04/01/2019.

sendo:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

qi = qualidade do i-ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

wi = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água, isto é, um número entre 0 e 1, conforme representado na Figura 2.

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

Figura 2 - Expressão matemática do somatório do peso atribuído aos parâmetros do IQA.

Fonte: ANA, 2019, Disponível: http:<//pnqa.ana.gov.br />, Acesso: 04/01/2019.

Tabela 1 – Parâmetros de qualidade da água e respectivo peso

Parâmetro	Peso (w)
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,17
Coliformes Fecais (CF)	0,15
pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$)	0,10
Temperatura da Água (T)	0,10
Nitrogênio Total (N_{Total})	0,10
Fósforo Total (P_{Total})	0,10
Turbidez (NTU)	0.08
Resíduo Total (R_{total})	0,08

Fonte: ANA, 2019.
Disponível: http:<//pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx//>, Acesso: 04/01/2019.

O IQA obtido viabiliza a classificação da qualidade da água em ótima, boa, regular, ruim ou péssima em decorrência do valor final obtido e consequente posicionamento na faixa de avaliação (Tabela 2).

Tabela 2 – Faixa de IQA, Minas Gerais, Brasil.

IQA	Qualidade da Água
90 ≤ IQA ≤ 100	Excelente
70 ≤ IQA≤ 90	Bom
50 ≤ IQA≤ 70	Médio
25 ≤ IQA≤50	Ruim
0 ≤IQA≤ 25	Muito ruim

Fonte: IGAM, 2019, Disponível: <http://igam.mg.gov.br//>. Acesso: 04/01/2019

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O rio Piracicaba é considerado o principal formador do rio Doce sendo integrante da bacia do médio rio Doce, abrangendo em sua área de influência o Parque Estadual do Rio Doce (PERD). Trata-se de um corpo aquático submetido à intensa degradação antrópica decorrente do conjunto expressivo de atividades econômicas (siderurgia, celulose e mineração), concentração urbana e os massivos reflorestamentos por monocultura de eucaliptos (carvão vegetal e celulose). As principais classificações geológicas do solo e sedimento identificadas são o Latossolo Vermelho Amarelo; Podizólico Vermelho Amarelo e Latosolo Vermelho Amarelo que são acentuadamente drenados ocorrendo principalmente nos planaltos dissecados. Este agrupamento apresenta, na região, solos com baixa saturação de bases (distróficos) e alta saturação com alumínio (álicos), sendo que os últimos são predominantes em função da sua formação a partir de rochas gnáissicas, leuco e mesocráticas, sobretudo de caráter ácido, magmáticos charnoquitos, xistos e de depósitos argilo-arenosos. As características litológicas e hidrológicas assim como a distribuição e incidência de processos supérgenos podem causar a remoção e/ou concentração dos metais pesados repercutindo na qualidade da água (ROESER E ROESER, 2010).

Encontra-se na região do Rio Piracicaba a UHE – Sá Carvalho com duas barragens, sendo uma delas em Antônio Dias e outra em Severo com altura máxima respectivamente de 14,8m e 14m. O município de Antônio Dias apresenta cidades limítrofes que são Ferros, a norte; Santa Maria de Itabira, a noroeste; Nova Era, a oeste; São Domingos do Prata, a sul; Jaraguçu, a sudeste; Timóteo, a leste; e Coronel Fabriciano, a nordeste. A hidrelétrica começou a operar em 1951 com quatro unidades geradoras, volume útil do reservatório correspondente à $0,05x10^6$ m^3 sendo um dos quatro maiores em potência instalada correspondente à 78,00 MW na região do Rio Doce. Nessa perspectiva, se delimitou como área de estudo localidades relacionadas com a barragem de Antônio Dias, sendoobservados os seguintes critérios: incidência de lançamentos de efluentes ao longo da drenagem, tributários na rede, possíveis fontes de poluição identificadas pela avaliação do uso e ocupação do solo e acessibilidade. Foram selecionadas as localidades de Fonseca (P_1), Rio Piracicaba (P_2), Nova Era (P_3), Coronel Fabriciano (P_4) e Ipatinga (P_5) (Figura 3), percorrendo o corpo hídrico

desde as proximidades da nascente (P_1) até o seu deságüe no Rio Doce (P_5) identificados com base em suas coordenadas e características pertinentes à ocupação do solo à montante (Tabela 3).

Figura 3 - Imagem de satélite com a localização dos pontos de monitoramento no Rio Piracicaba, MG, Brasil.
Fonte (Adaptado): IGAM, 2019

Tabela 3 – Ponto de Coleta, Coordenadas, Distância da UHE- Sá Carvalho (MG) e Ocupação do Solo à Montante.

Ponto de Coleta	Coordenadas	Distância*	Ocupação do Solo à Montante
P_1 (Fonseca)	S 20º 09'26,4 WO 43º 17'47,3	157	Agropecuária e mineração.
P_2 (Rio Piracicaba)	S 19º 55'54,2" WO 43º 10'26,2"	48	Agricultura de subsistência, pecuária e mineração.
P_3 (Nova Era)	S 19º 43'50,0" WO 43º 00'51,0"	23	Agropecuária, indústrias extrativas e silvicultura,
P_4 (Coronel Fabriciano)	S 19° 31' 0" WO 42° 37' 0"	28	Comércio, ocupação urbana em área de risco.
P_5 (Ipatinga)	S 19º 30'42,8" WO 42º 33'22,9"	39	Indústria siderúrgica e intensa aglomeração urbana.

* Distância em Km, em linha reta da estação de amostragens e a UHE – Sá Carvalho

A UHE – Sá Carvalho faz parte do planejamento pertinente ao desenvolvimento do sistema energético integrado regional afetando portando o ciclo hidrológico da BHRP com repercussões socioeconômicas consideráveis para a região (KOENING *et al.*, 2014).

A hidrelétrica localizada no município de Antônio Dias, Minas Gerais, teve o início de sua construção em 1947 e culminando com sua operação desde 1951. O comprimento da barragem alcança 112m e 34m respectivamente em Antônio Dias e Severo, enquanto a altura máxima se mostra bastante próxima nas duas localidades, sendo 15m e 14m respectivamente, integrando a cadeia de reservatórios existente na Bacia Hidrográfica do Rio Doce - BHRD. O volume do reservatório corresponde apenas a 1,38hm³ (Antônio Dias), quatro unidades geradoras e potência instalada de 78MW tornando a UHE – Sá Carvalho um dos quatros maiores da região da BHRD - MG (CEMIG, 2019).

A profundidade do reservatório da UHE – Sá Carvalho foi afetada em função da vazão média afluente e volume de sedimento retido. Os sedimentos são provenientes da precariedade das práticas conservacionistas pertinentes ao solo. As técnicas de cultivo ainda fazem uso das queimadas principalmente entre produtores com menor poder aquisitivo. A coivara elimina nutrientes essenciais para plantas, tais como, fósforo, nitrogênio e potássio, contribuindo para o esgotamento do solo e extermínio de grandes áreas nativas. Vale destacar que atualmente a agricultura apresenta uma participação na economia nacional da ordem de 26,5%, colocando o País em posição evidenciada como exportador ao nível da realidade global (SIST *et al.*, 2014). Além disso, a eficiência energética, em torno de 95%, depende da série de vazões naturais e da vazão média de longo termo, relacionadas com os índices pluviométricos na região. As principais características do reservatório são apresentadas na Tabela 4.

Para o reservatório da UHE – Sá Carvalho a concessionária de energia também disponibilizou os dados relativos à precipitação pluviométrica no reservatório e nível do lago mostrando diferença em média em torno de 1,92 m entre a estação seca e chuvosa (Tabela 4).

Tabela 4 – Características do reservatório da UHE- Sá Carvalho, MG.

Parâmetros Técnicos	Antônio Dias	Severo
Nível máximo topo da comporta	373,03m	370,5m
Nível máximo normal	372,93m	369,50m
Nível mínimo operativo	371,43m	366,00m
Cota da soleira da comporta	375m	371,35m
Volume de reservação no nível máximo	1,80hm³	0,098 hm³
Volume de reservação no nível normal	1,73hm³	0,0793 hm³
Volume mínimo operativo	0,77hm³	0,0326 hm³
Volume útil	0,96hm³	0,0467 hm³
Volume morto	0,7hm³	0,0326hm³

Fonte: CEMIG, 2019.

Os pontos de monitoramento físico-químico no reservatório foram selecionados representando os diferentes usos nas margens do reservatório. Além disso, as estações de amostragem no reservatório foram posicionadas à superfície (S), metade da zona trófica (ZF) e fundo (F). O estudo abrangeu treze pontos distintos (Tabela 5), sendo ambiente lótico e dez deles localizados no Rio Piracicaba, MG. Os pontos do monitoramento foram posicionados à montante do reservatório Antônio Dias em seu início (SC-LI01), em três pontos no reservatório Antônio Dias a cerca de 500 m do barramento em área urbana, no reservatório de Severo a cerca de 300 m do barramento (SC-LI 03-S, SC-LI 03-ZF, SC-LI03-F), no trecho de vazão reduzida à montante da casa de força (SC-LI 04-S, SC-LI 04-ZF, SC-LI 04-F) e também à jusante da casa de força (SC-LI05-S, SC-LI05-ZF, SC-LI05-F).

Tabela 5 – Características das Estações de monitoramento da qualidade da água no reservatório da UHE – Sá Carvalho.

Estação	Descrição	Curso d'água*	Coordenadas
SC-LI 01	Montante do reservatório Antônio Dias, no início do mesmo. Localizado em área urbana, próximo a ponte central da cidade.	Rio Piracicaba**	19º39'48.60"S 42º52'46.00"O
SC-LI 02-S SC-LI 02-ZF SC-LI 02-F	Reservatório Antônio Dias a cerca de 500m do barramento localizado em área urbana	Rio Piracicaba**	19º38'39.70"S 42º50'59.30"O
SC-LI 03-S SC-LI 03-ZF SC-LI03-F	Reservatório Severo a cerca de 300m do barramento	Ribeirão Severo**	19º38'15.40"S 49º22'60"O
SC-LI 04-S SC-LI 04-ZF SC-LI 04-F	Trecho de vazão reduzida à montante da casa de força	Rio Piracicaba**	19º38'11.30"S 48º18'60"O
SC-LI 05 –S SC-LI 05-ZF SC-LI 05-F	Jusante da casa de força	Rio Piracicaba**	19º38'2.20"S 42º48'19.80"O

*Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP), Minas Gerais, Brasil.

**Curso d'água lótico.

Fonte: CEMIG, 2019.

Procedimentos de coleta e análise de dados

As amostras de água da BHRP foram coletadas em quadruplicata sendo utilizados recipientes de vidro de cor âmbar esterilizados. Imediatamente antes da coleta os recipientes foram ambientados três vezes com as águas em estudo. Em seguida, os frascos foram mergulhados no rio e virados lentamente, no sentido contra a corrente, até serem completamente preenchidos. Os procedimentos de coleta ocorreram com luvas para reduzir o risco de contaminação. As amostras foram acondicionadas em caixa de isopor, contendo blocos de gelo durante todo o período da campanha. As sub-amostras para cada análise ou conjunto destas foram separadas em frascos de polietileno, que, por sua vez, foram identificados e mantidos refrigerados à 4ºC (APHA, 2005).

Os parâmetros mensurados são mostrados na Tabela 6. As análises realizadas seguiram os procedimentos propostos pela *American Public Health Association* (APHA, 2005) e permitiram avaliar a qualidade de água da BHRP no período de estudos.

Os indicadores temperatura ambiente, temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, potencial redox e pH foram mensurados *in loco*, utilizando-se sonda multiparâmetros. Para avaliação dos demais indicadores (fósforo total, nitrogênio total, etc.) as amostras foram acondicionadas em vidrarias adequadas e armazenadas em caixas de isopor contendo gelo a fim de garantir sua integridade durante o tempo de acondicionamento até a realização das análises em laboratório credenciado, sendo respeitada a condição de temperatura média de transporte correspondente à 4ºC (APHA, 2005).

Para os parâmetros físico-químicos, as técnicas de amostragem, preservação e análises das amostras de água do reservatório da UHE – Sá Carvalho foram realizadas de acordo com o Manual de Procedimentos de Coleta e Metodologias de Análise de Água da CEMIG (2009) e o *Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater* (2012). As amostragens marginais foram realizadas na superfície do corpo hídrico, coletadas a 20 cm da lâmina d'água. Por outro lado, as amostragens realizadas no interior do reservatório foram realizadas em perfil transversal em três pontos de profundidade distintos: superfície, metade da zona trófica e fundo, sendo realizadas por equipe técnica especializada que disponibilizou os

resultados da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG, 2019).

Análises estatísticas

Com base nas variâncias das médias de cada variável foi possível constatar que os resultados não foram homogêneos, a normalidade ou homocedasticidade não foi alcançada. Sendo assim, utilizou-se o teste não paramétrico Kruskal–Wallis com os dados das medianas de cada variável sendo testados entre os pontos amostrais, conforme proposto por Manly (2008).

Tabela 6 – Métodos de Análise dos Parâmetros Ambientais Monitorados na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - MG.

Parâmetro	Método	APHA
Coliformes fecais (CF)	Tubos múltiplos	9221 E
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5)	Incubação por 5 dias	5210 B
Fósforo total (P_{total})	Vanadomobilídico	AT100
Nitrogênio total (N_{total})	Kjeldhall	4500 N-org B
Oxigênio dissolvido (OD)	Eletrométrico	4500 H^+B
pH	Eletrométrico	4500 O-G
Sólidos totais dissolvidos (STD)	Gravimétrico	2540
Temperatura (T)	Termômetro de mercúrio	2550 B
Turbidez (T_{NTU})	Nefelometria	2130 B

Resultados e discussão

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 (Figura 4).

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) conforme apresentado na Figura 5.

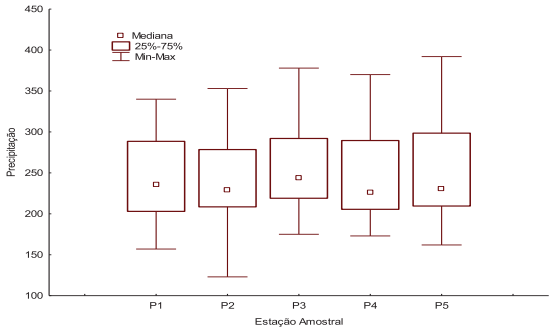
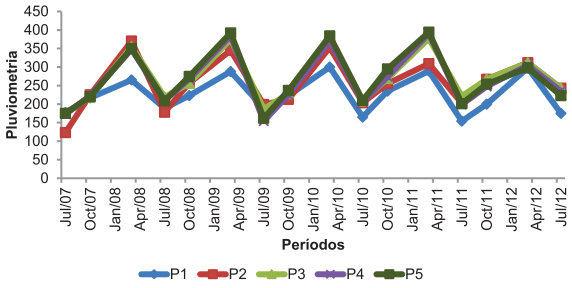


Figura 4 – Resultados do teste de Kruskal- Waalis para precipitação acumulada (em mm) em cada estação amostral da BHRP no período de amostragens

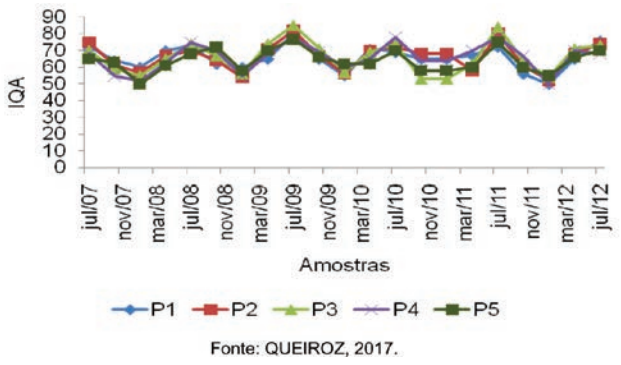


Fonte: QUEIROZ, 2017

Figura 5 - Precipitação acumulada (mm) em cada ponto de coletas na BHRP no período de amostragens. Fonte: QUEIROZ, 2017

O IQA (Figura 6) refletiu ainda 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). Além disso, se verificou agravamento em função da redução pluviométrica na estação seca. Com base nos resultados analíticos se apurou preponderância do IQA regular (Figura 6) no rio Piracicaba, Minas Gerais, em todos os pontos de coleta, sendo os piores resultados identificados em P_4 (Coronel Fabriciano) que se encontra a 28 km da UHE - Sá Carvalho, perdendo em proximidade somente para P_3 (Nova Era). Vale destacar que se observou

em áreas rurais, à jusante e montante de P_4, a existência de fossas sépticas indicando exacerbação da degradação antrópica de rios e mananciais freáticos. Os resultados do IQA mostraram relação 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).



Fonte: QUEIROZ, 2017.

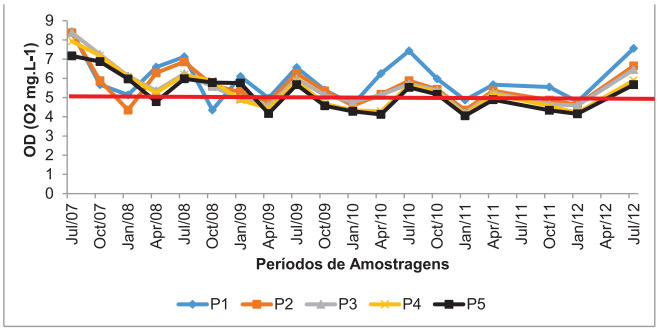
Figura 6 – Valores médios mensais do Índice de Qualidade de Água – IQA em cada ponto de amostragens na BHRP no período de estudo. Fonte: QUEIROZ, 2017

O comprometimento do IQA (Figura 6) na região de estudo se relacionou, principalmente, à elevação do teor de coliformes fecais, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio total, resíduo total e turbidez. A carga de coliformes fecais preocupa, pois a sua presença em valor elevado indica 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, 2019).

Os resultados desse estudo extrapolaram o Valor Máximo Permitido (VMP) correspondente a 4.000 CF.100 mL estabelecido nas Resoluções do CONAMA n. 274/2000 e 357/2005 em 780%, 757%, 829%, 924% e 973% perante os valores obtidos nas amostragens, respectivamente em P_1, P_2, P_3 e P_4, 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 potável e repercutindo negativamente na saúde do bioma (MACHADO *et al.,* 2014).

Os resultados foram compatíveis com os encontrados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) que identificou na localidade compreendida entre João Monlevade e Nova Era, à jusante da região das minas de ferro e entrada em área siderúrgica, 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 nesse quesito, tais como, se 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).

Observou-se que em P_1 a concentração média de OD (Figura 7) apresentou os resultados mais elevados em julho/2010 e julho/2012 explicitando relação com as condições ambientais mais propícias para a dissolução do oxigênio no corpo hídrido. Destaca-se que foram identificados teores inferiores a 5mg.L$^{-}O_2$ estabelecido no CONAMA 357/05 como o valor mínimo aceitável para águas Classe 2 em todas as estações de amostragens (Figura 7), possivelmente devido à introdução dos esgotos sanitários e devido à lavagem das ruas, lixo e sedimentos (TUCCI E MENDES, 2006).



Fonte: QUEIROZ, 2017.

Figura 7 – Valores médios mensais de OD em cada ponto de amostragens na BHRP no período de estudo. Fonte: QUEIROZ, 2017

A BHRP mostrou boas condições de oxigenação não sendo encontrada diferença estatística ($p > 0,05$) nos valores de O_2 dissolvido entre as estações amostrais (Figura 8).

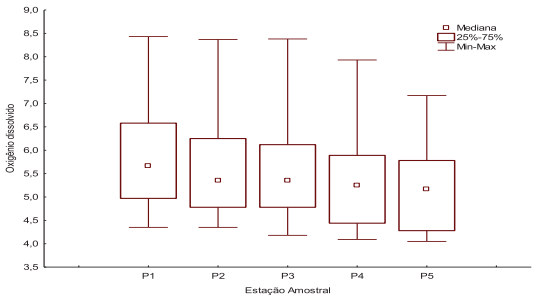
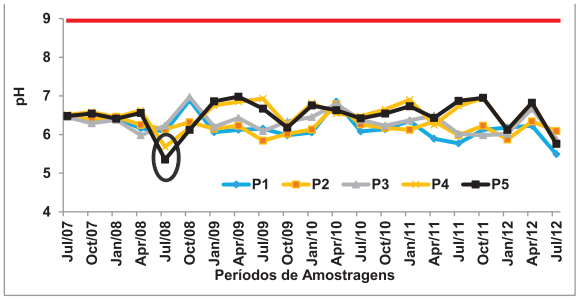


Figura 8 – Resultados do teste de Kruskal- Waalis para oxigênio dissolvido em cada estação amostral da BHRP no período de amostragens.

No reservatório da UHE – Sá Carvalho o oxigênio dissolvido (OD) apresentou variações sazonais bem marcadas entre os períodos de estiagem e chuvoso. Na estação chuvosa, as concentrações de OD foram mais elevadas, com valores médios na superfície correspondentes a 7,58 mg/L em SCLI04S e 7,53 mg/L em SCLI05S (Tabela 5). No período seco, mesmo na superfície, o OD chegou a cair atingindo 5,13 mg/L em SCLI05S e até 4,37mg/L em SCLI01 (Tabela 6). Entretanto, destaca-se que o aumento da pluviometria não implicou em teores de oxigênio dissolvido abaixo do valor mínimo aceitável conforme CONAMA 357/2005 para o fundo do reservatório. Os achados mostraram condições mais homogêneas quanto ao teor de oxigênio dissolvido. Os piores resultados na estação seca podem ser atribuídos ao crescente consumo na mineralização de detritos da biomassa algal morta decantante (KOENING *et al.*, 2014).

O pH da BHRP oscilou entre 5,58 e 5,97 (Figura 9) com distribuição praticamente homogênea indicando águas levemente ácidas. Os achados mostraram-se aumentados na estação das chuvas possivelmente relacionados com a intensa fotossíntese implementada pelas algas no reservatório da UHE- Sá Carvalho, dentre outras fontes antrópicas, em concordância com os achados de Silva *et al* (2009) para UHE-Peti (QUEIROZ, 2017)



Fonte: QUEIROZ, 2017.

Figura 9 – Valores médios de pH em cada ponto de amostragens na BHRP no período de estudo. Fonte: QUEIROZ, 2017

Tabela 5 - Valores médios mensais de Oxigênio Dissolvido-OD (O_2 mg.L^{-1}), por estações de amostragem, no reservatório da UHE – Sá Carvalho, no período de estudo.

Data	OD (O_2 mg.L^{-1}) - Estações de amostragem no Reservatório da UHE-Sá Carvalho							
	SCLI 01	SCLI 02S	SCLI02$^{1/2}$ ZF	SCI02 F	SCLI 03S	SCLI03 F	SCLI 04S	SCLI 05S
2007								
Junho	4,37	-	5,55	5,43	5,79	-	5,81	5,13
Novembro	6,61	-	7,09	5,83	7,32	-	7,58	7,53
2008								
Junho	5,43	-	5,73	5,69	5,88	-	7,21	7,28
Novembro	6,81	-	6,43	6,68	6,52	-	7,49	7,30
2009								
Junho	5,10	-	5,38	5,64	5,75	-	5,74	5,18
Novembro	6,66	-	7,07	5,43	7,32	-	7,52	7,56
2010								
Junho	5,50	-	5,7	5,65	5,85	-	7,08	7,15
Novembro	6,77	-	6,39	6,59	6,57	-	7,47	7,38
2011								
Junho	5,40	-	5,58	5,46	5,38	-	5,70	5,22
Novembro	6,79	-	7,15	5,22	7,17	-	7,42	7,46
2012								
Junho	5,60	-	5,6	5,54	5,75	-	7,05	7,11
Novembro	6,63	-	6,47	6,34	6,56	-	7,42	7,33

Fonte: Companhia Energética do estado de Minas Gerais (CEMIG), 2019.

O pH nas águas do reservatório (Tabela 6) se situou predominantemente acima de sete. Raras exceções foram detectadas em SC-LI03 F e SC-LI04S, sendo respectivamente 6,54 (seca) e 6,69 (seca). De modo geral, nesse estudo, ocorreu uma tendência de elevação do pH nos períodos chuvosos. A variação do pH associada às diferenças quanto ao nível das profundidades das estações amostrais não foram tão nítidas em função da sazonalidade. Entretanto, destaca-se o pH 7,54 mensurado em SCLI02$^{1/2}$ZF na estação chuvosa época em que o reservatório estava mais cheio. Durante todo o monitoramento, maiores valores de pH foram observados quando também foram registradas ocorrências de florações, em uma ou mais estações de amostragens.

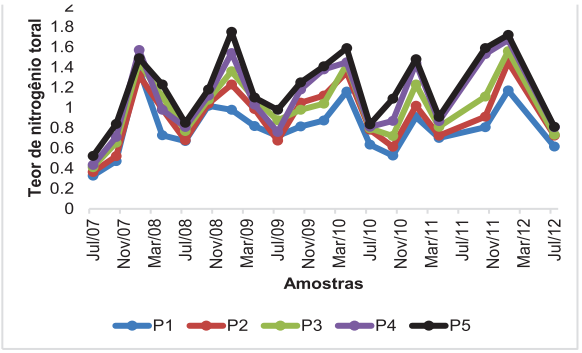
Tabela 6. Valores médios mensais do pH, por estações de amostragem, no reservatório da UHE – Sá Carvalho, no período de estudo

Data	pH - Estações de amostragem no Reservatório da UHE-Sá Carvalho							
	SCLI 01	SCLI 02S	SCLI02[1/2] ZF	SCI0 2F	SCLI 03S	SCLI03 F	SCLI 04S	SCLI 05S
2007								
Junho	7,31	7,43	7,22	6,84	6,87	6,54	6,69	6,75
Novembro	7,12	8,00	7,02	7,25	7,54	6,89	7,01	6,97
2008								
Junho	7,42	7,65	7,17	7,08	7,48	7,54	7,38	7,27
Novembro	7,49	7,75	7,54	7,36	7,47	7,59	7,43	7,52
2009								
Junho	7,66	6,87	6,85	6,78	6,75	6,94	7,11	6,99
Novembro	7,29	6,95	7,15	7,54	7,34	7,37	7,46	7,24
2010								
Junho	6,79	6,87	6,85	6,94	6,92	6,94	7,05	6,99
Novembro	6,95	7,15	7.40	7,32	7,37	7,53	7,33	7,35
2011								
Junho	7,66	8,03	7,4	6,72	6,75	-	7,2	7.05
Novembro	7,29	6,95	7,15	7,53	7,32	-	7,46	7,33
2012								
Junho	6,79	6,87	6,85	6,78	6,94	-	6,99	7,04
Novembro	7,37	7,33	7,42	7,32	6,75	-	7,03	7,11

Fonte: Companhia Energética do estado de Minas Gerais (CEMIG), 2019.

Outro risco se refere aos nutrientes, nitrogênio e fósforo fundamentais à cadeia alimentar por limitarem a produção de fitoplâncton. Todavia, a descarga de teores muito elevados nas águas superficiais e quando associados às boas condições de luminosidade entram em ciclo de enriquecimento, redundando no fenômeno conhecido como eutrofização. A disfunção ambiental pode implicar na alteração do sabor, odor, turbidez, cor da água e redução do OD, provocando crescimento excessivo de plantas aquáticas, mortandade de espécimes aquáticos (inclusive as maiores, tais como, peixes) e comprometimento das condições mínimas para o lazer no corpo hídrico (SMITH & SCHINDLER, 2009).

A precipitação pluviométrica, material alóctone (orgânico e inorgânico) e a fixação de nitrogênio pelo corpo hídrico são as principais fontes naturais de nitrogênio total. Na área de amostragem os teores de N_{Total} (Figura 10) oscilaram entre o mínimo correspondente a 0,329mg.L^{-} em P_1 (julho/2007) ao teor máximo de 1,72mg.L^{-} em P_5 (janeiro/20012), indicando que a estações amostrais recebem contribuições diretas decorrentes das atividades antrópicas advindas da urbanização à jusante das localidades de coleta. Frankling *et al.* (2014) destacam que a agropecuária e o desmatamento aumentam a carga de nutrientes nos reservatórios que se distribuem ao longo do corpo aquático quando ocorre o transbordamento na estação chuvosa. Outro aspecto que ocorre se relaciona com o aumento exponencial da população de macrófitas aquáticas em função da oferta dos nutrientes (TUNDISI, 2006). Sendo assim, entende-se a contribuição da UHE- Sá Carvalho em relação ao incremento da carga N_{Total} na região de estudo.



Fonte: QUEIROZ, 2017.

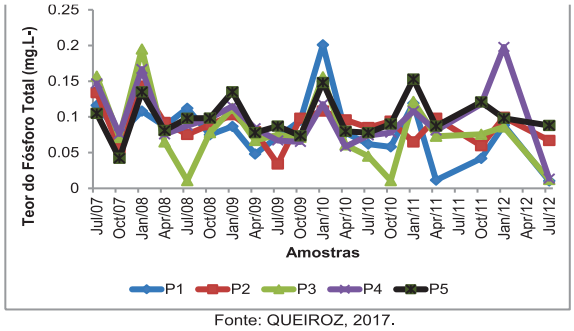
Figura 10 – Teor de nitrogênio total média mensal em cada ponto de amostragens na BHRP no período de estudo.
Fonte: QUEIROZ, 2017

Identificou-se ainda que a hipsometria e o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento diretamente no rio Piracicaba por fontes difusas também oportunizavam a elevação dos teores do nitrogênio total nas águas do reservatório. Von Sperling e Von Sperling (2013) afirmam que, em geral, a contribuição através dos esgotos é bem superior à originada pela drenagem urbana.

Os resultados mostraram que a carga de nitrogênio total no reservatório alcançou o valor pico de 0,07mgN/L em SCLI01 na estação chuvosa, enquanto na estação seca apenas 0,03mgN/L em SCLI01 e SCLI03F.Destaca-se que foi detectado o acesso de bovinos no entorno do reservatório. O nitrogênio e fósforo são encontrados nas fezes e urina, nos restos de alimentos, nos detergentes e outros subprodutos das atividades humanas.

Em relação aos teores de P_{Total} na água (Figura 12) constatou-se que o Valor Máximo Permitido (VMP)

correspondente a 0,1mg.L^{-} estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 foi extrapolado em todas as localidades desse estudo. Destaca-se que os piores resultados foram detectados principalmente em P_5 posicionado a 39 Km da UHE - Sá Carvalho perdendo em proximidade para P_3 e P_4.



Fonte: QUEIROZ, 2017.

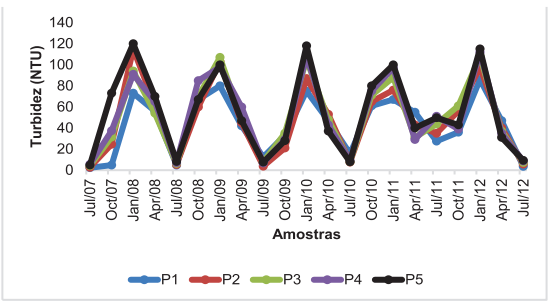
Figura 11 – Teor de fósforo total média mensal em cada ponto de amostragens na BHRP no período de estudo.
Fonte: QUEIROZ, 2017

Von Sperling e Von Sperling (2013) afirmam que o P_{Total} encontrado na água, seja na forma iônica ou complexado, se apresenta como fosfato (PO_4^{-3}), sendo que as concentrações mais elevadas são geralmente associadas ao incremento da pluviometria em áreas com mata ripária degradada, sendo esse também fator contributivo para os achados desse estudo. Além disso, os resultados encontrados na estação seca podem estar associados à dessorção do fósforo dos sedimentos, frente à redução da vazão e profundidade devido à estiagem (KÜTTER *et al.*, 2014).

Em consonância com a Resolução CONAMA nº. 357/2005, para águas Classe 2 (dois) o Valor Máximo Permitido (VMP) de fósforo total (P_{total}) corresponde a 0,03mgP.L^{-1} em ambientes lênticos; 0,06mgP.L^{-1} em ambientes intermediários com tempo de residência entre 2 e 40 dias; e 0,1mgP.L^{-} em ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários. Sendo assim, analisando este parâmetro ambiental para o reservatório, considerou-se o VMP correspondente a 0,06mgP.L^{-}. Nesse sentido, foram identificados valores extrapolando o VMP na estação chuvosa em SC-LI01, enquanto valores limitrófes foram observados em SC – LI05S.

A turbidez da água superficial se apresenta como um dos principais indicadores pertinentes às repercussões do uso e ocupaçao do solo em bacias hidrográficas, teores elevados dificultam a passagem da luz e conferem aparência turva ao corpo hídrico (NEVES *et al.*, 2009).

Na região de estudo, os valores das taxas de turbidez (Figura 14) das amostragens realizadas explicitaram a interferência da sazonalidade e vazão da BHRP. Outro aspecto importante, a BHRP à jusante da UHE-Sá Carvalho encontra dificuldade para transportar por completo a carga de sedimentos em função das condições de assoreamento (CEMIG, 2014). Entretanto, o carreamento ainda que parcial afeta o ambiente lótico. Raposo *et al.* (2012) analisando a qualidade da água em localidades próximas à UHE-Lajeado relacionaram a turbidez do Ribeirão Taquaruçu com o reservatório, notadamente nos meses com pluviometria aumentada. Curbelo *et al.* (2013) constataram que um alto nível de partículas suspensas no corpo aquático promove a difusão da solaridade e absorção do calor, o que aumenta a temperatura e disponibilidade para organismos aquáticos. As condições detectadas para a BHRP mostraram relação com a exploração econômica, já que em sua saída após as mineradoras em trecho assoreado ainda apresenta contaminação por esgoto em diversos pontos. Tal condição ocorre de forma análoga ao longo da BHRD submetida à intensa remoção da mata ciliar e implicando na extinção das corredeiras além dos fundos cavernosos que eram o habitat de grande diversidade de espécimes ameaçadas de extinção, como o surubim e outras (COELHO *et al.*, 2008).



Fonte: QUEIROZ, 2017.

Figura 12 – Valores médios mensais de turbidez em cada ponto de amostragens na BHRP no período de estudo. Fonte: QUEIROZ, 2017

A aplicação do teste Kruskal-Wallis evidenciou que em relação à turbidez da água não foi encontrada diferença estatística ($H_{(4,\ N=\ 95)}$=1,773567; p= 0,7773) entre as estações amostrais (Figura 13).

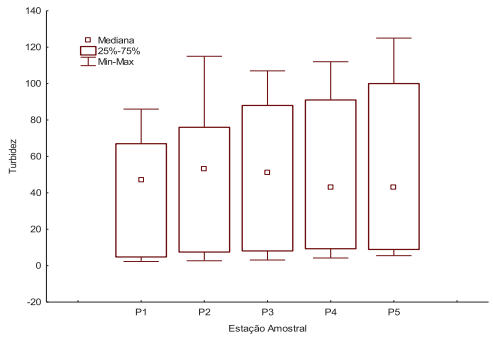


Figura 13 - Resultados do teste de Kruskal- Waalis para turbidez em cada estação amostral da BHRP no período de amostragens.

Outro aspecto importante, a BHRP à jusante da UHE-Sá Carvalho encontra dificuldade para transportar por completo a carga em função das condições de assoreamento (CEMIG, 2014). Entretanto, o carreamento ainda que parcial afeta o ambiente lótico. Raposo *et al.*(2012) analisando a qualidade da água em localidades próximas à UHE - Lajeado relacionaram a turbidez do Ribeirão Taquaruçu com o reservatório notadamente nos meses com pluviometria aumentada. Curbelo *et al*. (2013) constataram que um alto nível de partículas suspensas no corpo aquático promove a difusão da solaridade e absorção do calor, o que aumenta a temperatura e disponibilidade para organismos aquáticos.

Em relação ao reservatório da UHE – Sá Carvalho se constatou que a turbidez apresentou impactos mais relevantes na estação chuvosa. Verificou-se facilmente que as mais amplas variações e os mais elevados picos de turbidez são bem amortecidos no reservatório por efeito de sedimentação notadamente na estação seca. Entretanto, há que se ressaltar que a turbidez inclui também partículas em suspensão não sedimentáveis, inclusive algas e substâncias em solução, a exemplo do ferro. Vale destacar que no reservatório o Valor Máximo Permitido (VMP) correspondente a 100 NTU definido pelo CONAMA 357/2005 não foi violado em qualquer período do ano sendo detectado o pico correspondente a 89,6 NTU na estação chuvosa.

Para o recurso hídrico, os resíduos sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Trata-se da sedimentação no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos, ou também danificando os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Além disso, podem apresentar altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, associando-se à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas (BOISVERT *et al*., 2007). Tais condições oneram o tratamento da água visando a sua potabilidade. (CACHIONI *et al*., 2012).

No R_{Total} se encontra incluso o material em suspensão, constituído de fração mineral ou inorgânica e outra orgânica (ANDRADE *et al*., 2012). Um efeito importante se relaciona com a hidrodinâmica e a consequente redução de transporte de partículas, ocorrendo a deposição do material em suspensão, diminuindo a profundidade do corpo d'água e relacionando-se com incremento da turbidez, salinidade e dureza da água (GÜNTZEL *et al*., 2012).

O regime de chuvas se torna componente ambiental preponderante também em relação ao Resíduo Total (R_{Total}), influenciando a qualidade de suas águas, seja pelo grau de diluição ou pelo transporte de nutrientes e/ou sedimentos (MICHEL *et al*., 2014). Tal situação foi identificada também para a BHRP nas localidades desse estudo sendo os valores mais elevados em P_4 e P_5. Destaca-se que o CONAMA 357/2005 determina que os resíduos sólidos objetáveis devam assumir a condição virtualmente ausente em águas Classe 1, 2 e 3.

A região percorrida pela BHRP se apresenta como área bastante impactada. Os efluentes industriais e domésticos constituem em problema regional em função dos seus poluentes. Além disso, a geração de toneladas de resíduos e disposição inadequada tem provocado a contaminação

e poluição do solo, implicando no incremento do teor de metais afetando o padrão litológico (UMETSU *et al*., 2011). Tais condições interferem na mobilidade daquelas substâncias, favorecendo a absorção pelas plantas e consequentemente a entrada na cadeia alimentar, na dependência da forma iônica (hidróxidos, carbonatos, complexos orgânicos e outros) e atributos do solo, tais como, pH, Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Matéria Orgânica do Solo (MOS), potencial de oxi-redução e interação com outros elementos (SILVA *et al*., 2009).

Em relação aos metais detectados na água superficial da BHRP (Tabela 8) foram identificados valores que violaram o VMP para uma multiplicidade daqueles elementos e dentre esses podem ser citados o alumínio, arsênio e manganês, tóxicos à saúde humana quando acima do limite de tolerância biológico de exposição. Estes são capazes de interferir em diversas passagens metabólicas, causando os sinais e sintomas de patologias com agravamento das condições de morbidade e mortalidade (MACHADO *et al.,* 2015). Milla dos Santos *et al.* (2014) relatam que o contato com o corpo aquático pode redundar na ingestão de metais através da via oral, favorecendo a produção de radicais livres e afetando o sistema imunológico, tornando o indivíduo mais suscetível a viroses, ataque de bactérias e fungos oportunistas. Tais condições se tornam mais preocupantes quando são expostos grupos sociais mais vulneráveis como crianças, idosos e indivíduos portadores de doenças crônicas (MALTA *et al*., 2007).

Constatou-se também a elevação dos teores de Mn e Fe (Tabela 7) constituindo-se em fator que deve ser muito bem ponderado tendo em vista o uso da água para fins de abastecimento público. A tecnologia disponível para tratamento da água permite bom nível de remoção dos contaminantes e garante a distribuição de água potável com padrão de qualidade adequado. Entretanto, o tratamento inclui a oxidação daqueles metais, através da injeção de substâncias como o cloro, tornando-os insolúveis, garantindo a remoção nas etapas de decantação e filtração, contribuindo para elevação das tarifas pertinentes à sua distribuição. Em outro ângulo, existem ainda municípios com grandes dificuldades na execução dos procedimentos necessários incluindo-se esgotamento sanitário; o manejo de resíduos sólidos urbanos; e a drenagem e manejo das águas pluviais (MARENGONI *et al*., 2013).Outro aspecto, os resultados mostraram incremento também na concentração do vanádio (Tabela 7) evidenciando relação com os mecanismos de produção na região abrangida pelo Rio Piracicaba nas localidades desse estudo. No Brasil, aproximadamente 80% do vanádio produzido é empregado como ferro-vanádio ou como aditivo em aço. Trata-se de elemento essencial para diversos organismos vivos. Em relação ao homem tem importante ação inibindo a síntese de colesterol evitando a deposição de gorduras nas paredes das artérias, por tanto, prevenindo os ataques cardíacos e isquemia cerebral (MARENGONI *et al*., 2013). Entretanto, torna-se importante que os padrões de qualidade da água são estabelecidos de acordo com a sua finalidade e a periculosidade relacionada a cada poluente considerado. Nesse contexto, os resultados encontrados extrapolaram o VMP correspondente a 0,1ppm em todos os pontos de coleta, sendo o pior resultado identificado em P_3 (Tabela 9).

Tabela 9 – Teores de metais (média e variância) na água superficial na BHRP, em cada ponto de amostragens no período de estudo

Metal	P_1		P_2		P_3		P_4		P_5	
	$\bar{x}$ (ppm)	s	$\bar{x}$ (ppm)	s	$\bar{x}$ (ppm)	s	$\bar{x}$ (ppm)	s	$\bar{x}$ (ppm	s
Al	87	0,0972	140	0,0967	99	0,0972	253	0,0981	245	0,0972
As	2,8	0,0854	0,54	0,0972	0,35	0,0585	0,83	0,0994	1,25	0,775
Co	0,12	0,0985	0,78	0,0848	0,29	0,0576	0,41	0,0995	0,38	0,0943
Cr	0,77	0,0972	0,43	0,0975	0,19	0,0478	1,17	0,0942	1,68	0,0997
Fe	482	0,0565	1607	0,0975	567	0,0872	601	0,0976	694	0,0972
Mn	105	0,0967	178	0,0952	48	0,0974	44	0,0992	32,1	0,0875
Na	3105	0,0837	1975	0,0792	2765	0,0762	2153	0,0972	2425	0,0548
K	3237	0,0637	2105	0,0428	2935	0,0734	3098	0,0943	3105	0, 0975
Th	0,01	0,0944	0,01	0,0953	0,01	0,0935	23,5	0,0997	37,2	0,0972
U	≤0,02	NA	≤0,02	NA	≤0,02	NA	≤0,02	NA	≤0,02	NA
V	3,78	0,0852	4,32	0,0674	4,75	0,0824	3,89	0,0912	4,13	0,0882
Zn	23,6	0,0985	33,7	0,0977	16,8	0,0972	15,67	0,0908	14,48	0,0725

Fonte: QUEIROZ, 2017.

As águas do reservatório da UHE – Sá Carvalho apresentam relação direta com a BHRP. Nesse sentido, inferem-se as possibilidades quanto à presença de grande variedade de espécies químicas de metais traço com níveis distintos de toxicidade e biodisponibilidade. Todavia, os relatórios da CEMIG indicaram apenas teores de ferro, manganês e potássio na estação chuvosa em teores inferiores ao VMP do CONAMA 357/2005 e COPAM/CERH-MG 01/2008.

Considerações Finais

Em suma, os dados obtidos para os pontos analisados na BHRP indicaram que a exploração econômica oportunizou alteração dos parâmetros físico-químicos resultando em IQA regular. Quanto ao efeito da UHE - Sá Carvalho na qualidade da água do rio Piracicaba, observou-se que esse último em função da sedimentação e autodepuração atua positivamente fazendo com que as águas represadas cheguem mais límpidas à barragem, sendo essa informação confirmada pelos teores de turbidez mensurados nesse estudo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SAAD, A. R.; ALVARENGA, M. C. Considerações acerca dos impactos ambientais decorrentes da implantação de reservatórios hidrelétricos em aqüíferos livres e suas conseqüências. Geociênc. (São Paulo), São Paulo, v. 29, n. 3, 2010.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S., SUZUKI, L. E. A. S..Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2007, vol.31, n.4, pp. 617-625.

ALVES, R. I. S.; OLIVEIRA C., OSMAR, T., ABREU, K. A. ; JULIÃO, F. C.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I.. Water quality of the RibeirãoPreto Stream, a watercourse under anthropogenic influence in the southeast of Brazil. Environmental Monitoring and Assessment (Print), v. 185, p. 1151-1161, 2013.

ANDRADE, E. M.; COSENZA, J. P.; PINGUELLI LACERDA, G.B.. *The Vulnerability of hydroelectric generation in the Northeast of Brazil: The environmental and business risks for CHESF*. *Renewable & Sustainable Energy Reviews,* v. 16, p. 5762, 2012.

APHA (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition.*

BOISVERT, S.; JOLY, D.; LECLERE, S.; GOVINDACHARY, S.; HARNOIS, J.; CARPENTIER, R. Inhibition of the oxygen-evolving complex of photosystem II and depletion of extrin sic polypeptides by nickel .Biometals, v. 20, n. 6, p. 879-889, 2007.

ANA (2019). Agência nacional das águas. Apoio à gestão de recursos hídricos. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br//>. Acesso em: 05/01/2019.

ANEEL (2019). Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de distribuição – versão preliminar. Módulo 4 – Procedimentos operativos. Brasília, Distrito Federal, janeiro 2004 (c). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br//>. Acesso em 05/01/2019.

CACHIONI, M. (Org.); BRESSAN, A.(Org.); AMALFI, R. A. (Org.). Piracicaba em traços e cores. 1. Ed. Piracicaba: IPPLAP, v. 1000. 64 p., 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n° 357 de 17 de março de 2005. Brasília: D.O.U., 2005.

CEMIG. Relatório Final de Monitoramento da Ictiofauna – UHE Sá Carvalho, 2010/2011. Disponível: <http://www.cemig.com.br//>. Acesso em 05/01/2019.

CURBELO, F. D. S.; GARNICA, A. I. C.; BARROS NETO, E. L. de. Salinity effect in cloud point phenomena by nonionic surfactants used in enhanced oil recovery tests. Petroleum Science and Technology, v. 31, p. 1544-1552, 2013.

FRANKLIN, E.; FRANKLIN, E. ; DE MORAES, J.; MAGNUSSON, W. E. ; DE SOUZA, J. L. P.; PEQUENO, P. A. C. L.; MAGNUSSON, W. E. ; DE MORAIS, J. W.. Corrigendum to -Geographic position of sample grid but not the removal of uncommon species affect multivariate analyses of diverse

assemblages. The case of oribatid mites (Acari: Oribatida)- [Ecol. Indicat. 34 (2013) 172-180]. Ecological Indicators, v. 36, p. 745, 2014.

GÜNTZEL, A.M.; MELO, I. K. M.; ROCHE, K. F.; SILVA, V.F.B.; POMPIANI, P.G. Cladocerans from gut contents of fishes associated to macrophytes from Taquari River Basin, MS, Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia, v. 24, p. 97-102, 2012.

KOENING, M. L.; FLORES MONTES, M. J.; LEÇA, E.E.; SILVA, A.S.X. New record of Akashiwosanguinea (Dinophyta) in the tropical estuarine waters of Northeastern Brazil (Western Atlantic).Brazilian Journal of Biology, v. 74, p. 191-198, 2014.MACHADO, K. S.; FROEHNER, S.; SÁNEZ, J.; FIGUEIRA, R; C.L ; FERREIRA, P. A. L.. Assessment of historical fecal contamination in Curitiba, Brazil, in the last 400years using fecal sterols. Science of the Total Environment, v. 493, p. 1065-1072, 2014.

MANLY, B.J.F. Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. 3ª ed. Brookman, Porto Alegre, 2008.

MARENGONI, N. G., KLOSOWSKI, E. S., OLIVEIRA, K. P. de, CHAMBO, A. P. S., GONÇALVES JUNIOR, A. C.. Bioacumulação de metais pesados e nutrientes no mexilhão dourado do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional. Química Nova, vol.36, n.3, pp. 359-363, 2013.

MATOS, M.O.; PINHEIRO, L. P. S.; MORALES, G.P.; VASCONCELOS, R. C.; MOURA, Q. L.. Influência da Maré na Dissolução de Poluentes Gerados no Depósito de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Belém-PA. Enciclopédia biosfera, v. 7, p. 1166-1176, 2011.

MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. Comparative analysis of SHALSTAB and SINMAP for landslide susceptibility mapping in the Cunha River basin, southern Brazil. Journal of Soils and Sediments, v. 14, p. 1266-1277, 2014.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de maio de 2008. 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 Executivo, Belo Horizonte, 2008.

NEVES, S. M. A. S.; CASARIN, R.; NEVES, R. J. Implicações do uso da terra na qualidade
das águas dos cursos fluviais da bacia hidrográfica do rio Paraguai-Jauquara/MT. In: 2
Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2009, Corumbá. Anais... Campinas/SP: Embrapa/INPE, p. 527-536, 2009.PERESIN, D.; TORGAN, L. C.; SCHULZ, U.; CROSSETTI, L. O. Structure of potamoplankton along a gradient of preservation of riparian vegetation in subtropical streams. Anais da Academia Brasileira de Ciências (Impresso), v. 86, p. 841-853, 2014.

QUEIROZ, M.T.A. Avaliação da qualidade da água da sub-bacia do Rio Piracicaba e da sua área de influência no reservatório da usina hidroelétrica de Sá Carvalho, Antônio Dias, MG, Brasil, Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), UFMG, Brasil, 2017.

RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T.; MENDIONDO, E. M. Hydrological benefits in the context of Brazilian environmental services program. Environment, Development and Sustainability, v. 1, p. 1, 2012.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. . O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: Aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. Geonomos, v. 18, p. 34-37, 2010.

SILVA, A.P.S.; DIAS, H.C.T.; BASTOS, R.H.X.; SILVA, E. Qualidade da Água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. Revista Árvore, v. 33, n. 6, pp.1063-1069, 2009.

SILVA, D. C. ; BELATO, M.N. ; SILVA, R. J. Comparison between current technologies for the best choice of thermoelectric plant with coal or uranium. Journal of Energy and Power Engineering, v. 7, p. 1719-1728, 2013.

SIST, P.; SABLAYROLLES, P.; BARTHELON, S.; SOUSA-OTA, L.; KIBLER, J. F.; RUSCHEL, A.; SANTOS-MELO, M.; EZZINE-DE-BLAS, D. The Contribution of

Multiple Use Forest Management to Small Farmers Annual Incomes in the Eastern Amazon. Forests, v. 5, p. 1508-1531, 2014.SMITH, V. H. & SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? Trends in Ecology and Evolution 24: 201-207. 2009.

STENGER-KOVÁCS, C.; LENGYEL, E.; CROSSETTI, L. O.; ÜVEGES, V.; PADISAK, J. Diatom ecological guilds as indicators of temporally changing stressors and disturbances in the small Torna-stream, Hungary. Ecological Indicators, v. 24, p. 138-147, 2013.TUNDISI, J. Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica para gestão integrada dos recursos hídricos. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Médio Tocantins. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, 2006, 152 pp.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A.. Avaliação Integrada de Bacia Hidrográfica, Instituto de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2006.

UMETSU, R. K; GIRARD, P.; MATOS, D. M. da S.; SILVA, C. J. Efeito da inundação lateral sobre a distribuição da vegetação ripária em um trecho do rio Cuiabá, MT. Revista Árvore, v. 35, n. 6, p. 1077-1087, 2011.

VON SPERLING, M.; VON SPERLING, E. Challenges for bathing in rivers in terms of compliance with coliform standards. Case study in a large urbanized basin (das Velhas River, Brazil). Water Science and Technology, v. 67, p. 2534-2542, 2013.

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, v. 31, n. 7, p. 1727-1732, 2008.