



## **AValiação DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO E PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SÁ CARVALHO, MINAS GERAIS, BRASIL**

**Marluce Teixeira Andrade Queiroz**

[marluce.queiroz@bol.com.br](mailto:marluce.queiroz@bol.com.br)  
Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste, Ipatinga, Minas Gerais, Brasil

**Carolina Andrade Queiroz**

[carolanq@yahoo.com.br](mailto:carolanq@yahoo.com.br)  
Instituto Nacional do Seguro Social – INSS, Ipatinga, Minas Gerais, Brasil

**Felipe Andrade Queiroz**

[felipeandradeq@yahoo.com.br](mailto:felipeandradeq@yahoo.com.br)  
Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste, Ipatinga, Minas Gerais, Brasil

**Gildayne Figueiredo Benigno**

[gildayne\\_benigno@yahoo.com.br](mailto:gildayne_benigno@yahoo.com.br)  
Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste, Ipatinga, Minas Gerais, Brasil

### **RESUMO**

O objetivo desse estudo foi avaliar a influência do uso do solo na qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Sá Carvalho (UHE–Sá Carvalho), município de Antônio Dias, Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP), Minas Gerais, Brasil. Foram utilizados dados secundários provenientes dos relatórios do Laboratório de Pesquisa Ambiental da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), de período seco (agosto) e chuvoso (novembro). Nesse contexto, foram selecionados pontos para as coletas das amostras de água do reservatório que representavam diferentes condições em relação à profundidade, sendo mensurados parâmetros físico-químicos: temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais dissolvidos. Os resultados mostraram variação sazonal, sendo detectada a relevância da bacia de contribuição. Além disso, evidenciaram diferenças significativas em pontos de coleta mais próximos ao topo do reservatório em comparação aos localizados no fundo do reservatório. As variáveis ambientais apresentaram significativas oscilações, com destaque para a turbidez que variou entre 88,6 NTU e 3,6 NTU nas estações chuvosa e seca, respectivamente. O reservatório exibiu boas condições quanto aos teores de oxigênio dissolvido durante todo o período das amostragens, sendo mensurado o valor mínimo correspondente a 7,6 mg/LO<sub>2</sub> na estação seca e 4,4 mg/LO<sub>2</sub> na estação chuvosa. Finaliza-se essa abordagem sugerindo intensificação dos programas conservacionistas no reservatório e na bacia de contribuição.

**Palavras-chave:** Reservatório hidrelétrico; Qualidade da água; Uso do solo; Mitigação.



## 1. INTRODUÇÃO

Os corpos aquáticos apresentam uma grande variedade quanto aos seus usos. Nessa perspectiva, se destaca a geração de energia a partir do barramento que possibilita a transformação da energia potencial hidráulica em elétrica. Trata-se de empreendimento com menor produção de gases de efeito estufa em comparação com o uso de insumos fósseis. Além disso, apresenta maior nível de segurança quando comparado às usinas nucleares (Fearnside, 2015).

Os reservatórios hidrelétricos apresentam outros aspectos positivos, como a regularização da hidrologia dos rios, minimizando riscos de enchentes e vazões muito baixas e favorecendo a implantação de corredores hidroviários e de projetos de irrigação. Além disso, identifica-se o uso múltiplo dos recursos hídricos, a exemplo do esporte e turismo (Figueirêdo *et al.*, 2007).

Em contraposição, também são observados aspectos desfavoráveis. Els (2014) informa que as distorções ambientais relacionadas com o barramento alcançam dimensões ecológicas e sociais desde o momento da sua instalação no corpo hídrico. O pesquisador pontua quanto aos aspectos negativos derivados da inundação de áreas de flora nativa, terras cultiváveis e patrimônio histórico e cultural, além do deslocamento de populações. Nogueira *et al.* (2015) relatam que os efeitos acumulativos do desmatamento repercutem em outros ecossistemas relacionados ao corpo hídrico. Já Silva *et al.* (2015) destacam as alterações nos parâmetros físico-químicos da água; a elevação dos teores de metais tóxicos; e o incremento das concentrações dos nutrientes, com reflexos em toda bacia de captação.

As condições quanto ao uso e ocupação do solo também afetam as concentrações de nitrogênio e fósforo no lago do barramento hidrelétrico, podendo culminar com a trofia do corpo hídrico (Barros et Fearnside, 2015). Esses elementos são macronutrientes essenciais para fotótrofos aquáticos, entretanto, quando em excesso, podem aumentar exponencialmente as populações das algas, briófitas, pteridófitos e macrófitas (Jorcin *et al.*, 2009).

Eilers *et al.* (2011) reforçam que o fenômeno biológico tem sido amplamente estudado, possibilitando ciência quanto às suas causas e consequências, ainda que pouco se saiba sobre quais as concentrações críticas dos nutrientes que deflagram o processo. A distorção ambiental, em geral, culmina com a prevalência de espécies de cianobactérias em detrimento de outras espécies. Esses organismos são dotados de mobilidade em ambientes com turbidez elevada e, por isso, podem utilizar nutrientes presentes em camadas mais profundas e em seguida retornar para a zona eufótica (Güntzel *et al.*, 2012).

Diversos gêneros daquelas algas são dotados com capacidade de produzir neurotoxinas e/ou hepatotoxinas que afetam a saúde humana, constituindo-se, portanto, em obstáculos para as companhias de tratamento de água, principalmente quando se observa a ocorrência de condições ambientais propícias para a sua proliferação no meio aquático (Roche *et al.*, 2010). Dentre essas condições, é amplamente aceito pelos microbiologistas e limnologistas que estudam a proliferação da comunidade das algas, que a carga de nutrientes, o tempo de retenção da água, a estratificação e a temperatura são os principais fatores que influenciam a formação e intensidade das florações (Belli *et al.*, 2014). Para Fuentes et Petrucio (2015), entre as consequências desses problemas incluem-se a probabilidade de morte rápida do fito plâncton, que também se apresenta como entrave por que conduz ao esgotamento do oxigênio dissolvido na coluna de água, desencadeando a morte de peixes e demais organismos aeróbios.

Güntzel *et al.* (2010) reforçam que a elevação da concentração hidrogeniônica  $[H^+]$  contribui para o predomínio das condições redutoras, aumentando a toxicidade de muitos elementos químicos que, assim, tornam-se mais solúveis, como os metais tóxicos e a diminuição da capacidade de reciclar a matéria orgânica, levando à acumulação de detritos e sedimentos. A mitigação de impactos, a preservação da qualidade da água e a manutenção dos usos múltiplos do reservatório dependem do seu manejo adequado e do uso de técnicas apropriadas de gestão ambiental (Coelho *et al.*, 2011).

Pelo exposto, foram realizados diagnósticos com relação à qualidade da água no lago da Usina Hidrelétrica de Sá Carvalho (UHE-Sá Carvalho) localizada no trecho médio da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP) em Antônio Dias, Minas Gerais. Vale destacar que a BHRP se caracteriza pela intensa exploração econômica (siderurgia, extrativismo florestal, etc.) e elevada densidade demográfica (Queiroz *et al.*, 2015). Os resultados dos parâmetros físico-químicos foram provenientes dos relatórios pertinentes ao ano civil de 2014, produzidos através dos laboratórios certificados da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), atendendo aos mais elevados padrões de exigência quanto à sua precisão e acurácia.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Classes da água

No Brasil, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 estabelece que as águas doces sejam aquelas com salinidade  $\leq$  a 0,5%, condição na qual se enquadra a BHRP. Além disso, a referida legislação



estabelece classes de qualidade para a 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 apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1.** Classes 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; 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) 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) 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) a dessedentação de animais.
4	a) a navegação; b) a harmonia paisagística

Fonte: CONAMA, 2005a

## 2.2. Estado trófico

Para conhecimento do grau de trofia em um reservatório hidrelétrico, pode-se calcular o Índice de Estado Trófico (IET), que indica as entradas externas de nutrientes oriundos do lançamento dos esgotos domésticos, efluentes industriais e resíduos agrícolas. Além disso, as condições tróficas também são influenciadas por características específicas do reservatório, tais como o tempo de retenção, a vazão e o regime hidrológico. A investigação das condições ambientais é

importante, pois serve de suporte para o planejamento ambiental que visa o controle da eutrofização e uso do corpo hídrico (Fernandes *et al.*, 2017).

A mensuração do IET possibilita classificar o reservatório em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento de nutrientes e seus efeitos, dentre esses o crescimento excessivo de algas e macrófitas (CETESB, 2009).

Von Sperling (1996) relata que o IET de Carlson (1977) possibilita a avaliação limnológica, indicando com boa aproximação o nível de enriquecimento nutricional do corpo hídrico por incorporar três indicadores: a transparência da água, a clorofila-a e a concentração do fósforo total. A avaliação desse indicador permite estabelecer conexões com outros critérios, a exemplo do oxigênio dissolvido, da biomassa e da composição e concentração do fito e zooplâncton.

Considerando as quatro variáveis citadas para o cálculo do IET de Toledo *et al.* (1990) - clorofila-a, fósforo total, ortofosfato e transparência da água -, atualmente, aplicam-se apenas duas no cálculo de Lamparelli (2004), a clorofila-a e o fósforo total. Isto porque que os valores de transparência muitas vezes podem não ser representativos para o estado de trofia, já que esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos (Jorcín *et al.*, 2009).

### 2.2.1. Índice de Estado Trófico

Neste estudo foram aplicados o índice proposto por Carlson (1977), modificado por Toledo *et al.* (1983) e Toledo (1990) e, que considera as medidas de transparência da água por meio do disco de Secchi (m), da concentração de fósforo total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), da concentração de ortofosfato ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) e da concentração de clorofila-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ); e o índice de Lamparelli (2004), que considera apenas a clorofila-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) e o fósforo total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), sob a forma proposta pela CETESB (2009). Valores elevados relacionados a essas variáveis contribuem para o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas aderidas que podem interferir na navegação, aeração e capacidade de transporte pelo canal. Desse modo, tais indicadores possibilitam a classificação dos corpos aquáticos em diferentes graus de trofia, ou seja, permitem avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas, ou o potencial para a proliferação desses organismos fotosintetizantes (Cotovicz *et al.*, 2017).

O IET foi obtido a partir da Equação 1 (Carlson, 1977; Lamparelli, 2004):



$$IETP_{Total} = 10x[6 - ((0,42 - 0,36 \cdot (\ln P_{total}) / \ln 2))] \text{ (Equação 1)}$$

Sendo:  $P_{total}$  = concentração de fósforo total na superfície da água.

Além disso, foi mensurado o Índice de Estado Trófico da Clorofila-a (IET-Cla), conforme apresentado na Equação 2 (Carlson, 1977, Lamparelli, 2004):

$$IET (Cla) = 10x [6 - ((-0,7 - 0,6x(\ln Cla)) / \ln 2)] - 20 \text{ (Equação 2)}$$

Sendo: Cla = concentração de clorofila-a na superfície da água.

Destaca-se que os resultados pertinentes ao fósforo (IET- $P_{Total}$ ) devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, considerando que o nutriente se apresenta como desencadeador do fenômeno bioquímico. Em outro ângulo da problemática, a mensuração do IET-Cla, por sua vez, mensura de forma probabilista a resposta do corpo hídrico quanto à proliferação de algas nas localidades desse estudo pertencentes ao reservatório da UHE-Sá Carvalho.

Além disso, consoante às diretrizes dos órgãos ambientais, foram obtidas as médias simples correspondentes à ponderação (IET), dadas as concentrações mensuradas de fósforo total e de clorofila-a utilizadas no cálculo do IET- $P_{Total}$  e IET-Cla, para todas as amostragens realizadas, conforme demonstra a Equação 3 (Carlson, 1977, Lamparelli, 2004):

$$IET = [IETP_{Total} + IET-Cla] \div 2 \text{ (Equação 3)}$$

Tais indicadores possibilitaram a classificação do corpo aquático em seis categorias distintas quanto à trofia (CETESB, 2011): ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico (Tabela 1). Coelho et al. (2011) destacam a importância do diagnóstico do corpo aquático indicando a medida potencial das fontes antrópicas capazes de desequilibrar, em longo prazo, o ambiente, redundando em reações adversas para os componentes bióticos pertencentes aquele habitat.

Assim, quando houve a disponibilidade das informações, com dados consistentes de fósforo total e de clorofila-a, foi adotada a média dos dois índices, englobando, de forma satisfatória, a causa e o efeito do processo (Tundisi et al., 2015).

Além disso, o IET do reservatório da UHE-Sá Carvalho foi relacionado com demais parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica, etc.), possibilitando o diagnóstico pertinente às externalidades com repercussões para a segurança ambiental da BHRP.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Área de estudo

A seleção do reservatório da UHE-Sá Carvalho para o desenvolvimento desse estudo se justifica pela sua localização, sendo influenciado por áreas urbanas e agropastoris, possibilitando exemplificar a contribuição antrópica na poluição hídrica de reservatórios hidrelétricos que exhibe relação com a entrada de nutrientes nos corpos aquáticos. O referido empreendimento integra o planejamento pertinente ao desenvolvimento do sistema energético regional, afetando, portando, o ciclo hidrológico da BHRP. Rodrigues et al. (2013) pontuam quanto às diversas repercussões socioeconômicas que afetam as regiões relacionadas com as hidrelétricas.

O comprimento da barragem da UHE-Sá Carvalho alcança, em Antônio Dias e em Severo, 112m e 34m, nesta ordem, enquanto a altura máxima se mostra bastante próxima nas duas localidades: 15m e 14m. O volume do reservatório corresponde à apenas 1,38hm<sup>3</sup> (Antônio Dias), quatro unidades geradoras e potência instalada de 78MW, tornando a UHE-Sá Carvalho uma das quatro maiores da região da BHRD-MG (CEMIG, 2014).

A construção da hidrelétrica afetou a formação florestal da região, a Mata Atlântica, cobertura vegetal que tem sido alvo da megassilvicultura, com taxa de desmatamento da or-

**Tabela 1.** Classificação do estado trófico para reservatórios segundo Lamparelli (2004)

Estado Trófico	IET	Ponderação	Secchi – S (m)	IET-PTotal (mg.m-3)	IET – Cla (mg.m-3)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	0,5	S ≥ 2,4	PTotal ≤ 8	Cla ≤ 1,17
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	1	2,4 > S ≥ 1,7	8 < PTotal ≤ 19	1,17 < Cla ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	2	1,7 > S ≥ 1,1	19 < PTotal ≤ 52	3,24 < Cla ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	3	1,1 > S ≥ 0,8	52 < PTotal ≤ 120	11,03 < Cla ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	4	0,8 > S ≥ 0,6	120 < PTotal ≤ 233	30,55 < Cla ≤ 69,05
Hipereutrófico	IET > 67	5	0,6 > S	233 < PTotal	69,05 < Cla

Fonte: CETESB, 2011.



dem de 457 Km<sup>2</sup>/ano; a vegetação remanescente corresponde a cerca de 22,25% (Schäffer et Prochnow, 2002).

Machado *et al.* (2014) reforçam que o desmatamento se configura como fator coadjuvante preponderante em relação aos efeitos sinérgicos e cumulativos provenientes do aproveitamento hidrelétrico. A profundidade do reservatório da UHE-Sá Carvalho foi afetada em função da vazão média afluente e volume de sedimento retido. O incremento no arraste dos sedimentos são provenientes da precariedade das práticas conservacionistas pertinentes ao solo. Vale destacar, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2015) informa que o Estado de Minas Gerais se apresenta como a unidade federativa com grande prevalência de registros de queimadas acidentais. Além disso, técnicas de cultivo ainda fazem uso das queimadas, principalmente entre produtores com menor poder aquisitivo. A coivara elimina nutrientes essenciais para as plantas, tais como o fósforo, o nitrogênio e o potássio, contribuindo para o esgotamento do solo e extermínio de grandes áreas nativas. É preciso 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 (Catela et Gonçalves, 2013).

A eficiência energética da UHE-Sá Carvalho oscila em torno de 95%, e é dependente da série de vazões naturais e da vazão média de longo termo relacionada aos índices pluviométricos na região (CEMIG, 2014). As principais características do reservatório estão apresentadas na Tabela 2.

### 3.2 Amostragens e procedimentos analíticos

Para os parâmetros físico-químicos, as técnicas de amostragem, preservação e análises utilizadas neste estudo,

levou-se em consideração o Manual de Procedimentos de Coleta e Metodologias de Análise de Água da CEMIG (2014) e o *Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater* (Rice et al., 2012). As amostragens marginais foram realizadas na superfície do corpo hídrico, coletadas a 20cm da lâmina d'água. As amostragens do interior do reservatório foram obtidas por perfil transversal de três pontos de profundidade distintos: superfície (S), metade da zona trófica (ZF), e fundo (F) (CEMIG, 2014).

**Tabela 2.** Características do reservatório da UHE-Sá Carvalho

Parâmetros Técnicos	Antônio Dias	Severo
Nível máximo do 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	1,80hm <sup>3</sup>	0,098 hm <sup>3</sup>
Volume de reservação no nível normal	1,73hm <sup>3</sup>	0,0793 hm <sup>3</sup>
Volume mínimo operativo	0,77hm <sup>3</sup>	0,0326 hm <sup>3</sup>
Volume útil	0,96hm <sup>3</sup>	0,0467 hm <sup>3</sup>
Volume morto	0,7hm <sup>3</sup>	0,0326hm <sup>3</sup>

Fonte: CEMIG, 2014.

O monitoramento realizado por técnicos especializados da CEMIG ocorreu em 13 pontos distintos, dez deles localizados no Rio Piracicaba, MG, em campanhas realizadas na estação seca (agosto) e estação chuvosa (novembro) de 2014, permitindo o acompanhamento dos indicadores físico-químicos em diferentes profundidades (Tabela 3).

**Tabela 3.** Estações de monitoramento da qualidade da água no reservatório da UHE-Sá Carvalho

Estação	Descrição	Curso d'água*	Coordenadas
SC-LI 01S	Início do montante do reservatório Antônio Dias, localizado em área urbana, próximo à ponte central da cidade.	Rio Piracicaba**	19°39'48.60"S 42°52'46.00"O
SC-LI 02S SC-LI 02ZF SC-LI 02F	Reservatório Antônio Dias a cerca de 500m do barramento localizado em área urbana	Rio Piracicaba**	19°38'39.70"S 42°50'59.30"O
SC-LI 03S SC-LI 03ZF SC-LI 03F	Reservatório Severo a cerca de 300m do barramento	Ribeirão Severo**	19°38'15.40"S 49°22'60"O
SC-LI 04S SC-LI 04ZF SC-LI 04F	Trecho de vazão reduzida à montante da casa de força	Rio Piracicaba**	19°38'11.30"S 48°18'60"O
SC-LI 05S SC-LI 05ZF SC-LI 05F	Jusante da casa de força	Rio Piracicaba**	19°38'2.20"S 42°48'19.80"O

Fonte: CEMIG, 2014.

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

\*\*Curso d'água lótico.



Os parâmetros temperatura ambiente, temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez ( $T_{NTU}$ ) e pH foram mensurados *in loco*, por meio de sonda multiparâmetros, com dez repetições em cada ponto. Para a avaliação dos demais indicadores (fósforo total, nitrogênio total, etc.) também ocorreram dez amostragens em cada uma das estações de monitoramento do reservatório. As amostras foram armazenadas em recipientes esterilizados e em caixas de isopor contendo gelo, a fim de garantir a 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 a 4 °C, conforme parâmetros técnicos (CEMIG, 2014).

### 3.3 Parâmetros de interpretação dos resultados

A interpretação dos resultados físico-químicos e biológicos pertinentes à qualidade da água e condição trófica do reservatório da UHE-Sá Carvalho foi efetuada considerando-se as legislações federal e estadual vigentes, a Resolução CONAMA nº 357/2005 e a Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/2008, para rios de águas doces classe 2. Vale destacar que a BHRP recebeu esse enquadramento segundo as atualizações exaradas no relatório de panorama de enquadramento da Agência Nacional de Águas (ANA); desse modo, a massa de água pode ser utilizada para o abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, proteção de comunidades aquáticas, irrigação de hortaliças, aquicultura e atividade de pesca (CEMIG, 2014).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Precipitação pluviométrica e nível do reservatório

O monitoramento das condições físico-químicas no reservatório da UHE-Sá Carvalho ocorreu em período de estiagem (agosto/2014) e chuvoso (novembro/2014), exibindo diferentes valores para o nível do lago (Tabela 4) com repercussões no IET. Queiroz *et al.* (2016) informam que a regulação do lago em reservatórios hidrelétricos ocorre através da abertura das comportas para conter as cheias, não sendo identificadas, portanto, variações superiores a 1% e sendo preservadas as condições para operação normal do empreendimento hidrelétrico, garantindo o fornecimento normal para usuários do sistema. Tal condição também foi identificada neste estudo.

**Tabela 4.** Período de amostragem e nível do lago no reservatório da UHE-Sá Carvalho.

Período	Pluviometria (mm)	Nível do lago (m) <sup>1</sup>	Nível do lago (m) <sup>2</sup>
Agosto/2014	175	372,15	366,87
Novembro/2014	208	372,98	368,79

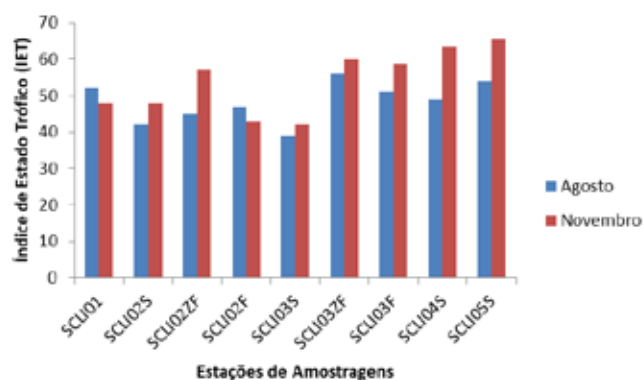
Fonte: CEMIG, 2015

<sup>1</sup>Barragem no Rio Piracicaba, em Antônio Dias

<sup>2</sup>Barragem no Ribeirão Severo, em Antônio Dias

### 4.2. Índice de Estado Trófico e parâmetros físico-químicos da água do reservatório da UHE-Sá Carvalho

A avaliação do reservatório da UHE-Sá Carvalho à luz do IET de Carlson (1977), modificado por Toledo *et al.* (1983), indicou condição oligotrófica com valor mínimo correspondente à 47,8 em SC-LI01-S e máximo de 65,7 em SC-LI05-S no período chuvoso (Figura 1). Na estação seca (agosto), os resultados foram menores, explicitando a importância da bacia de contribuição com intensificação quanto ao arraste de nutrientes em períodos com elevada pluviometria (Bateini *et al.*, 2013).



**Figura 1.** Índice de Estado Trófico nas estações amostrais do reservatório da UHE-Sá Carvalho

A condição trófica do reservatório da UHE-Sá Carvalho, ou seja, a carga dos nutrientes detectada foi prejudicada através da decomposição do material vegetal após o enchimento do reservatório. A partir da estabilização do sistema, essa condição passou a ocupar posição secundária. Para o sistema consolidado, a contribuição de cada tributário passa a ser ainda mais destacada. Trata-se de corpo d'água que recebe influência ininterrupta da bacia de formação e ocupação do solo (agropecuária, indústrias, densidade demográfica, conservação das margens e pluviometria), agregando valores aos seus parâmetros físico-químicos e, desse modo, afetando a qualidade da água superficial e subterrânea (Els, 2014).



Sperling (2009) informa que a eutrofização depende da relação entre nitrogênio e fósforo atuando como limitantes. O pesquisador relata que se a relação N:P for consideravelmente superior a 16, há indicação de que o fósforo é o nutriente limitante. Da mesma forma, podemos considerar que se a relação N:P for consideravelmente inferior à 16, o nitrogênio será o nutriente limitante. Neste estudo, se constatou que na estação seca, em todas as estações amostrais, o fósforo se comportou como o nutriente limitante; enquanto no período chuvoso, o nitrogênio se comportou como nutriente limitante em SC-LI01, SC-LI02ZF, SC-LI04S e SC-LI05S (Tabela 5).

**Tabela 5.** Relação entre nitrogênio e fósforo (N:P) nas estações de monitoramento do reservatório da UHE-Sá Carvalho no períodos seco e chuvoso

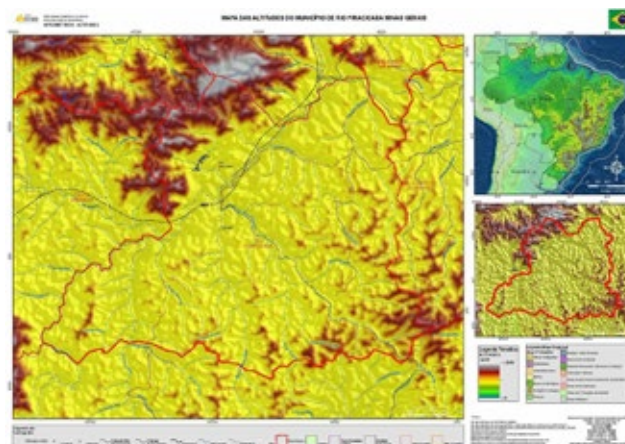
Estação amostral	Relação N:P (agosto/2014)	Relação N:P (novembro/2014)
SC-LI01	28,67	8,57
SC-LI02S	50,0	17,5
SC-LI02ZF	NA*	2,67
SC-LI02F	130	35
SC-LI03S	NA*	20
SC-LI03ZF	NA*	55
SC-LI03F	40	23,33
SC-LI04S	20	2,5
SC-LI05S	45	11,67

\*NA – Não Aplicado

A detecção do nitrogênio como nutriente limitante no período chuvoso explicitou a relação entre o efeito do escoamento superficial e a carga de sedimentos provenientes de áreas agrícolas e resíduos sólidos dispostos, inadequadamente, próximos às margens da BHRP. Identificou-se, ainda, que a hipsometria (Figura 2) 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. Sperling (2009) e Sperling *et al.* (2008) afirmam que, em geral, a contribuição através dos esgotos é bem superior à originada pela drenagem urbana.

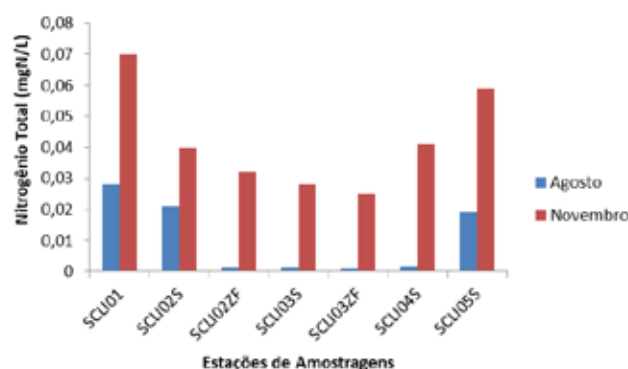
Os resultados mostraram que a carga de nitrogênio total alcançou o valor pico de 0,07mgN/L em SCLI01 na estação chuvosa, enquanto na estação seca foi de apenas 0,03mgN/L em SCLI01 e SCLI03F (Figura 3). Machado *et al.* (2015) reforçam a interferência da pluviometria no incremento desse nutriente em função de diversos mecanismos, como a biofixação desempenhada por bactérias e cianobactérias presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, também acarreta a presença de amônia e nitratos nas águas, pois a chuva transporta tais

substâncias, bem como o arraste das partículas contendo nitrogênio orgânico para os corpos hídricos.



**Figura 2.** Hipsometria da BHRP

Fonte: IGAM, 2015.



**Figura 3.** Teor de nitrogênio total nos pontos de coleta do reservatório da UHE-Sá Carvalho

Sperling (2009) e Sperling *et al.* (2008) informam que o nitrogênio e fósforo são encontrados nas fezes e urina, nos restos de alimentos, nos detergentes e outros subprodutos das atividades humanas. A detecção do fósforo como nutriente limitante na estação seca traz repercussões adversas que incluem a diminuição da transparência das águas, episódios de aflorações de algas, aumento da turbidez durante o período de estiagem e incidência de odores desagradáveis. Em consonância com a Resolução CONAMA nº. 357/2005, para águas Classe 2, o valor máximo permitido (VMP) de fósforo total ( $P_{total}$ ) corresponde a 0,03 mg.L<sup>-1</sup> em ambientes lênticos e 0,05 mg.L<sup>-1</sup> em ambientes intermediários com tempo de residência entre 2 e 40 dias e tributários diretos de ambiente lêntico. Sendo assim, analisando este parâmetro ambiental para o reservatório, considerou-se o VMP correspondente a 0,05 mgP.L<sup>-1</sup>. Nesse sentido, foram identificados valores extrapolando o VMP na estação chuvosa em SC-LI01 e em SC-LI05S (Figura 4).

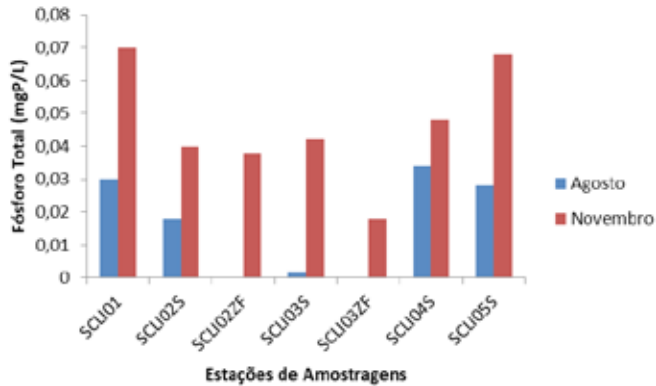


Figura 4. Fósforo total nos pontos de coleta do reservatório da UHE-Sá Carvalho

Neste estudo foi detectado o acesso de bovinos no entorno do reservatório, fato que explicita a relevância quanto à avaliação da contaminação da água com microrganismos existentes em excreções oriundas desses animais. Fregonesi *et al.* (2015) ressaltam que, dentre esses microrganismos, somente a *Escherichia coli* é de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente, em densidades elevadas, nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, e raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido esse tipo de contaminação. Desse modo, os coliformes fecais são utilizados como padrão da qualidade microbiológica de águas superficiais destinadas ao abastecimento, recreação, irrigação e piscicultura (CETESB, 2009). Ademais, os autores reforçam a exacerbação do risco associado com a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos.

Os achados deste estudo mostraram a elevação do teor de coliformes termotolerantes na estação chuvosa, mostrando relação com o aporte de contaminação proveniente da BHRP (Figura 5). Destacam-se os resultados obtidos para os pontos SCLI-04S (rio Piracicaba) e SC-LI05S (rio Piracicaba), os quais apresentaram os maiores valores, demonstrando as contribuições de despejos sanitários e dejetos (pecuária) oriundos da bacia de contribuição afluente do reservatório.

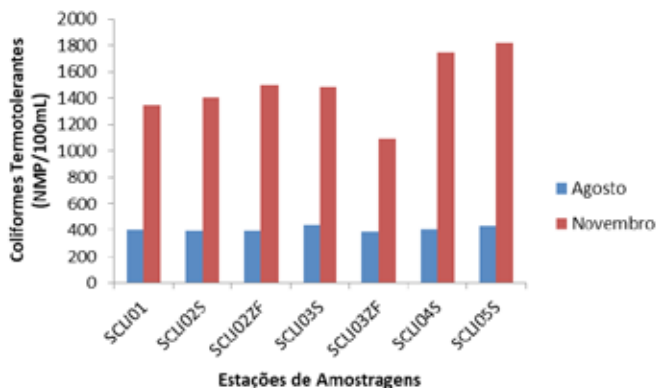


Figura 5. Coliformes termotolerantes nos pontos de coleta do reservatório da UHE-Sá Carvalho

Verificou-se, como ponto favorável no reservatório da UHE-Sá Carvalho, que os valores de turbidez foram muito inferiores ao limite de 100NTU (Figura 6), conforme o CONAMA 357/2005. Entretanto, ressalta-se a elevação detectada na estação chuvosa em SCLI04S, correspondente à 89,6NTU, provavelmente associada aos sedimentos de fundo revolvidos e/ou carregados das margens (Amaral *et al.*, 2008).

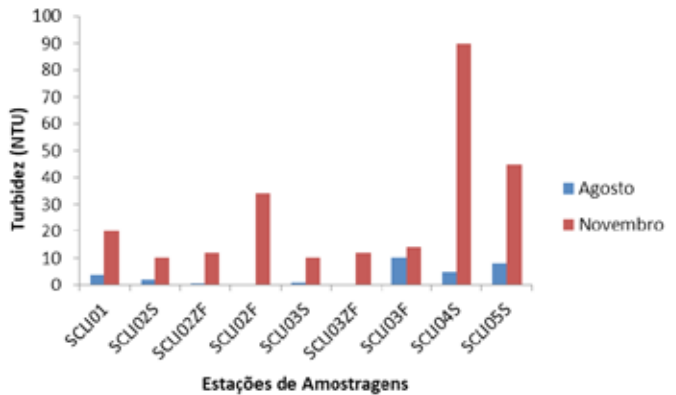


Figura 6. Turbidez nos pontos de coleta do reservatório da UHE-Sá Carvalho

A BHRP é a principal fonte externa de material carregado para o reservatório, desempenhando papel de controle tanto na elevação quanto na diminuição dos teores de sólidos totais dissolvidos (STD). Sobre eles, a Figura 7 indica que, no reservatório, o resultado mais elevado foi detectado em SCLI03S na estação seca (67mg/L), sendo todos os demais bem inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, que é de 500mg/L. O referido ponto de amostragem se situa em um dos braços dendríticos e protegidos do barramento, caracterizado por baixa hidrodinâmica e elevado tempo de residência (CEMIG, 2014).

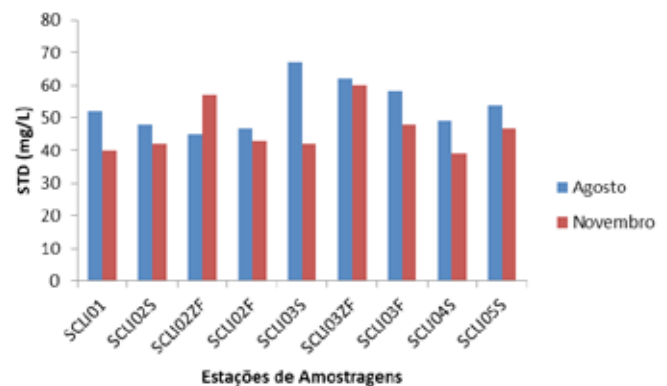


Figura 7. Sólidos totais dissolvidos (STD) nos pontos de coleta do reservatório da UHE-Sá Carvalho

Outro aspecto analisado se referiu à carga dos surfactantes aniônicos detectada em águas residuais contendo saponáceos. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o VMP de 0,50 mg/L LAS para substâncias tenso-ativas que





reagem com o azul de metileno, sendo identificado, neste estudo, o valor máximo de 0,29 mg/L LAS na estação seca. Tal condição demanda vigilância. Os surfactantes interferem nas taxas de aeração, pela redução da tensão superficial do meio, diminuindo o tempo de permanência das bolhas de ar no meio aquático. Nesse sentido, mostra-se importante intensificar as ações relacionadas ao controle da dispersão dos detergentes no meio aquático. Desse modo, as medidas de controle devem ser direcionadas para reduzir a concentração de fosfato nas formulações daqueles produtos, com a finalidade principal de minimizar a condição trófica de rios, lagos e cursos de águas (Quevedo et Paganini, 2011).

A transparência (disco de Secchi) correspondeu a 3,0m em SC-LI03S na estação seca. Trata-se de ponto que explicita a necessidade de aperfeiçoar as medidas conservacionistas no reservatório. O aumento da espessura da camada algal pode impossibilitar a entrada de luz na água e impedir, por consequência, a realização da fotossíntese pelos organismos presentes nas camadas mais profundas, o que ocasiona a morte das algas, a proliferação de bactérias decompositoras e o aumento do consumo de oxigênio por estes organismos. Tais condições podem implicar na redução do teor de oxigênio dissolvido, conduzindo à mortandade de peixes e de outros organismos aeróbicos. Entretanto, a análise dos dados mostrou que o reservatório apresenta boas condições relacionadas a esse quesito.

Neste estudo, constatou-se que o reservatório da UHE-Sá Carvalho apresenta teores de oxigênio dissolvido superiores a 5mg/L, tanto na estação chuvosa quanto na seca, excetuando-se SC-LI05, que teve valor de 4,4mg/L em novembro de 2014 (Figura 8).

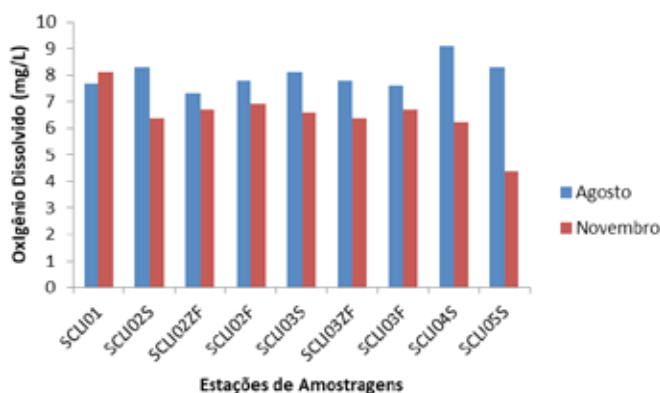


Figura 8. Oxigênio Dissolvido (OD) no reservatório da UHE-Sá Carvalho.

Outra característica física da água afetada pela ocorrência de florações é o pH, conforme pode ser observado na Figura 9. Durante todo o monitoramento, maiores valores de pH foram observados quando também foram registradas ocorrências de florações, em uma ou mais estações de amostragens.

Tais resultados são concordantes com os apresentados por estudos realizados em reservatórios hidrelétricos. Azevedo (2003), Chorus et Bartram (1999), Bouvy *et al.* (2000) e Mollica *et al.* (2005) constataram que o pH, neutro ou alcalino, em temperaturas acima de 20° C são fatores que beneficiam a ocorrência de floração nos ecossistemas aquáticos.

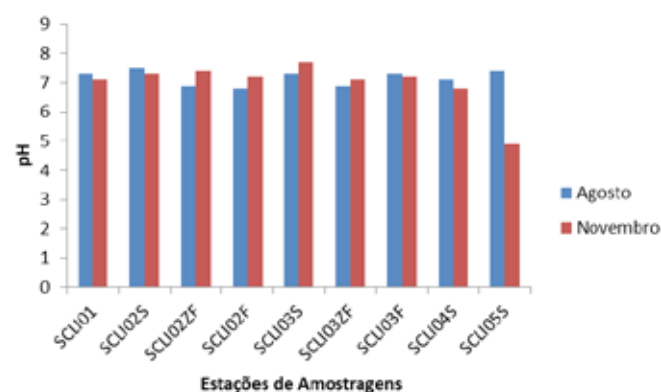


Figura 9. pH no reservatório da UHE-Sá Carvalho.

#### 4.3. Práticas de gestão no reservatório da UHE-Sá Carvalho

O reservatório da UHE-Sá Carvalho cumpre o objetivo de contribuir com a demanda de energia na região do Vale do Aço, Minas Gerais, Brasil. Entretanto, exige investimentos para aperfeiçoar a gestão ambiental em sua área de abrangência.

No período deste estudo observaram-se o florescimento de algas e a depleção de oxigênio na parte central da água no fundo do lago, o que exige a diminuição do aporte de nutrientes. Lima *et al.* (2017) relatam que entre as ações de mitigação está incluído o emprego de processos mecânicos, químicos e/ou biológicos. Ademais, pontuam quanto à importância de práticas capazes de promover a aeração do hipolimnio, a desnitrificação e a remoção de águas profundas e de macrófitas e algas - processos mecânicos capazes de revitalizar o reservatório e melhorar a qualidade da água.

Fonseca *et al.* (2016) reforçam que o manejo do reservatório com o emprego de processos químicos e biológicos pode ser eficaz e repercutir positivamente em toda a bacia de captação. Como estratégias mitigadoras cabíveis, os pesquisadores indicam o uso de algicidas, a precipitação de nutrientes e o uso de peixes herbívoros, de cianófagos e de bio-manipulação (combinação de organismos vivos, comumente peixes que possam agir diretamente na cadeia alimentar). Outra ação importante é a realização de estudos sobre o comportamento reprodutivo e a biologia de espécies de peixes migradores na barragem, que subsidiem o delineamento de estratégias de repovoamento do reservatório (Ritter *et al.*, 2017).



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos dados coletados indicou que as águas dos reservatórios da UHE-Sá Carvalho apresentaram resultados consoantes aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 e COPAM/CERH 01/2008 para águas Classe 2. A mensuração do IET indicou as condições oligotróficas: lagos com boa transparência e produtividade.

As estações amostrais apresentaram concentrações adequadas de oxigênio dissolvido, sendo os valores muito próximos aos das concentrações de saturação dos ambientes aquáticos. Tais condições explicitam balanço adequado, o que favorece o desenvolvimento das comunidades aquáticas. Também foram identificadas condições favoráveis em relação à dinâmica de oxigênio, normalmente saturado, na camada superior e inferior, baixa presença de macrófitas, com baixo nível de impacto aos usos múltiplos.

Os resultados relativos à presença de sólidos e turbidez no corpo aquático denotaram baixa significância quanto ao carreamento a partir da BHRP. Destacam-se as baixas concentrações relativas aos STD em todas as estações amostrais, evidenciando as boas condições ambientais do reservatório. Em suma, não foram verificados maiores riscos sobre os usos da água decorrentes da alteração da sua qualidade, tendo em vista a adequação ao atendimento do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 no período de estudo.

Para concluir, ressalta-se a relevância deste diagnóstico para o planejamento ambiental e a constatação de que é preciso ampliar o número de amostragens, com inclusão dos períodos de precipitação pluviométrica intermediária (pouca chuva), devendo-se utilizar as mesmas frequências de coletas e os mesmos períodos para a condução de novos trabalhos. Além disso, ratifica-se a importância das práticas que visam à conservação da qualidade da água do reservatório da UHE-Sá Carvalho e à preservação da vegetação nativa.

## REFERÊNCIAS

Amaral, A. L.; Ginoris, Y. P.; Nicolau, A.; Coelho, M. A. Z.; Ferreira, E. C. (2008), Stalked protozoa identification by image analysis and multivariable statistical techniques. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Vol. 391, pp. 1321-1325.

Azevedo, M.F.O. (2003), Limnological features in tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia*, Vol. 493, No 1-3, pp. 115-130.

Barros, H.S.; Fearnside, P. M. (2015), Pedo-transfer functions for estimating soil bulk density in central Amazonia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Vol. 39, No. 2, pp. 397-407, 2015.

Bateni, F.; Fakheran, S.; Soffianian, A. (2013), Assessment of

land cover changes & water quality changes in the Zayandehroud River Basin between 1997-2008. *Environmental Monitoring Assessment*, Vol. 185, No. 12, pp. 10511-10519.

Belli, T. J.; Coral, L. A.; Recio, M. A. L.; Vidal, C. M. S.; Lapolli, F. R. (2014), Total nitrogen removal in membrane sequencing batch bioreactor treating domestic wastewater. *Acta Scientiarum Technology*, Vol. 36, No. 2, pp. 221-227.

Bouvy, M.; Falcão, D.; Marinho, M.; Pagano M.; Moura, A. (2000), Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, Vol. 23, pp. 13-27.

Braga, B.; Porto, M.; Tucci, C. E. M. (2006), Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. *Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*. 3. ed. São Paulo: Escrituras, pp. 145-160.

Branco, S. M. (1986), *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. 3a ed. CETESB/ASCETESB, São Paulo.

Carlson, R. E. (1977), A trophic state index for lakes. *Limnology Oceanography*, Vol. 22, No. 2, pp. 361-369.

Catela, E. Y. S.; Gonçalves, F. (2013), Comércio Internacional e dinâmica da performance das firmas brasileiras. *Revista Economia*, Vol. 14, No. 1, pp. 429-452.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais (2014), Relatório Final de Monitoramento da Qualidade da Água – UHE Sá Carvalho, CEMIG, Minas Gerais.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2009), Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Apêndice A. Série Relatórios. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, CETESB, São Paulo.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2011), IAP – Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público. Relatório técnico, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo.

Chorus, I.; Bartram, J. (1999), *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*, World Health Organization, Geneva.

Coelho, L.S.; Roche, K. F.; Paranhos Filho, A.C.; Lemos, V. B. (2011), Uso do sensor CBERS/CCD na avaliação do estado trófico do reservatório Lago do Amor (Campo Grande, MS). *Revista Brasileira de Cartografia*, Vol. 63, pp. 221-232.

Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce - CBH-DOCE (2015), Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Agência Nacional das Águas.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005a), Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providên-



- cias. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005b), Resolução CONAMA n° 359, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre a regulamentação do teor de fósforo em detergentes em pó para uso em todo o território nacional e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.
- Cotovicz, L. C.; Knoppers, B. A.; Brandini, N. et al. (2017), Prevalence of phytoplankton-derived dissolved and particulate organic carbon in a highly eutrophic tropical coastal embayment (Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil). *Biogeochemistry*, Vol. 137, No. 1-2, pp. 1-14.
- 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.
- Eilers, V.; Oliveira, M. D.; Roche, K. F. (2011), Density and body size of the larval stages of the invasive golden mussel (*Limnoperna fortunei*) in two neotropical rivers. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Vol. 23, pp. 1-10.
- Els, R. H. V. (2014), Wetenschap over de grens. *Academic Journal of Suriname*, Vol. 5, pp. 461-463.
- Fearnside, P. M. (2015), Emissions from tropical hydropower and the IPCC. *Environmental Science & Policy*, Vol. 50, pp. 225-239.
- Fernandes, G. M. D.; Ramalho, A. A. D.; Araujo, E. A. et al. (2017), Economic analysis of oil production by applying steam-assisted gravity drainage (SAGD) to reservoirs from the Potiguar basin. *Energy Sources Part B-Economics Planning and Policy*, Vol. 1, pp. 1-6.
- Figueirêdo, M. C. B.; Teixeira, A. S.; Araújo, L. F. P. et al. (2007). Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.12, p. 399-409.
- Fonseca, A. L. S.; Bianchini, I.; Pimenta, C.M.M.; Soares, C.B.P.; Mangiacchi, N. (2016), The effect of hydrostatic pressure on the decomposition of inundated terrestrial plant detritus of different quality in simulated reservoir formation. *Lakes and Reservoirs*, Vol. 21, pp. 216-223.
- Fregonesi, B.; Nikaido-Suzuki, M.; Sampaio, C. F. et al. (2015), Emergent and re-emergent parasites in HIV-infected children: immunological and socio-environmental conditions that are involved in the transmission of *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, Vol. 48, pp. 753-758.
- Fuentes, E. V.; Petrucio, M. M. (2015), Water level decrease and increased water stability promotes phytoplankton growth in a mesotrophic subtropical lake. *Marine and Freshwater Research*, Vol. 66, pp. 711-718.
- Guerra, C. B. (2007), Atlas Escolar da Bacia do Rio Doce. Nosso Território, Nossa Gente- Vol. 1 Regiões Hidrográficas. Projeto Águas do Rio Doce.
- Güntzel, A. M.; Panarelli, E. A.; Silva, W. M.; Roche, K. F. (2010), Influence of connectivity on Cladocera diversity in oxbow lakes in the Taquari River floodplain (MS, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, Vol. 22, pp. 93-101.
- Güntzel, A.M.; Melo, I. K. M.; Roche, K. F.; Silva, V. F. B.; Pompiani, P. G. (2012), Cladocerans from gut contents of fishes associated to macrophytes from Taquari River Basin, MS, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Vol. 24, pp. 97-102.
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas (2015), Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e dos Planos de Ações de Recursos Hídricos para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce. IGAM, Minas Gerais.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2015), Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas, SPRING, disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>> (Acesso: 10 jul. 2015).
- Jorcín, A.; Nogueira, M. G.; Belmont, R. (2009), Spatial and temporal distribution of the zoobenthos community during the filling up period of Porto Primavera reservoir (River Paraná, Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, Vol. 69, pp. 631-637.
- Lamparelli, M. C. (2004), Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Lima, L.; Mangiacchi, N.; Ferrari, L. (2017), Stability analysis of passive cooling systems for nuclear spent fuel pool. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 39, pp. 1019-1031.
- Machado, C. S.; Alves, R. I. S.; Fregonesi, B. M. et al. (2015), Integrating three tools for the environmental assessment of the Pardo River, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 187, pp. 568.
- Machado, F. H.; Dupas, F. A.; Vergara, F. E. (2014), Economic Assessment of Urban Watersheds Developing Mechanisms for Environmental Protection of Feijão River, São Carlos, SP - Brasil. *Brazilian Journal of Biology*, Vol. 74, pp. 677-684.
- Molica, R. J. R.; Oliveira, E J A; Carvalho, P V. V. C. et al. (2005), Occurrence of saxitoxin sandanana toxin-a(s) - like anticholinesterase in a Brazilian drinking waters supply. *Harmful Algae*, Vol. 4, No. 4, pp. 743-753.
- Nogueira, E. M.; Yanai, A. M.; Fonseca, F. O. R.; Fearnside, P. M. (2015), Carbon stock loss from deforestation through 2013 in Brazilian Amazonia. *Global Change Biology*, Vol. 21.
- Queiroz, M. T. A.; Queiroz, C. A.; Queiroz, F. A. et al. (2016), Estudo dos Parâmetros Físico-Químicos, Qualidade da água e Trofia no Reservatório da Usina Hidrelétrica Sá Carvalho, MG, Brasil. *Revista Gestão Industrial*, Vol. 12.



- Queiroz, M. T. A.; Sabara, M. G.; Queiroz, C. A. et al. (2015), Estudo de Caso: Análise Espaço-Temporal do Ribeirão Caladinho, Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, Minas Gerais, para Abastecimento Público. *Ciência e Natura*, Vol. 37, pp. 141-150.
- Quevedo, C.M.G.; Paganini, W. S. (2011), Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. *Ciência e Saúde Coletiva*, Vol. 16, No. 8, pp. 3539.
- Rice, E. W.; Baird, R. B.; Eaton, A. D. (Editors) (2012), Standard methods for the examination of water and wastewater. 19<sup>a</sup> ed., American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, New York.
- Ritter, C. D.; Mccrate, G.; Nilsson, R. H. et al. (2017), Environmental impact assessment in Brazilian Amazonia: Challenges and prospects to assess biodiversity. *Biological Conservation*, Vol. 206, pp. 161-168.
- Roche, K. F.; Queiroz, E. P.; Righi, K. O.; Souza, G. M. (2010), Use of the BMWP and ASPT indexes for monitoring environmental quality in a neotropical stream. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Vol. 22, pp. 105-108.
- Rodrigues, W.; Magalhães Filho, L. M. L.; Vergara, F. E. (2013), Valoração dos danos ambientais advindos da construção de hidrelétricas: o caso da UHE de Estreito. Informe GEPEC (Online), Vol. 17, pp. 23-39.
- Schäffer, W., Prochnow, M. (orgs.) (2002), A Mata Atlântica e Você – Como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira, Apremavi, Brasília.
- Silva, M. M.; Silva, S. R.; Carrano, E. G.; Uturbey, W.; Gonzalez, M. L. Y. (2015), Evaluating harmonic voltage distortion in load-varying unbalanced networks using Monte Carlo simulations. *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 9, pp. 855-865.
- Sperling, E. V. (2009), Multiple water uses in Águas Claras pit lake, Brazil. *Wissenschaftliche Mitteilungen-Institut für Geologie der Technischen Universität Bergakademie Freiberg*, Vol. 41, pp. 66-70.
- Sperling, E. V.; Ferreira, A. C. S.; Gomes, L. N. L. (2008), Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. *Desalination (Amsterdam)*, Vol. 226, pp. 169-174.
- Toledo, A. P. Jr. (1990), Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um índice para avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais. CETESB, São Paulo.
- Toledo, A.P.J.; Talarico, M.; Chinez, S.J.; Agudo, E.G. (1983) A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12., Balneário Camboriú, Santa Catarina. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.1-34
- Tundisi, J. G.; Matsumura-Tundisi, T.; Tundisi, J. et al. (2015), A bloom of cyanobacteria (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) reservoir: a consequence of global change?. *Brazilian Journal of Biology*, Vol. 75, pp. 507-508.
- Von Sperling, M. (1996), Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 2<sup>a</sup> Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

**Recebido:** 03 nov. 2017

**Aprovado:** 11 fev. 2019

**DOI:** 10.20985/1980-5160.2018.v14n1.1363

**Como citar:** Queiroz, M. T. A.; Queiroz, C. A.; Queiroz, F. A. et al. (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*, Vol. 14, N. 1, pp. 1-12, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1363> (acesso dia mês abreviado. ano).