

ESTUDO DE UM ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA: UMA PROPOSIÇÃO PARA A RESOLUÇÃO CONJUNTA ANA/ANEEL N° 03/2010

STUDY ON A WATER QUALITY INDEX: A PROPOSAL FOR JOINT RESOLUTION ANA / ANEEL N ° 03/2010

ESTUDIO DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA: UNA PROPUESTA DE RESOLUCIÓN CONJUNTA ANA / ANEEL N ° 03/2010

Aline da Silva André*
alineandre7@hotmail.com

Ricardo Andreola**
ricardo.andreola@unicesumar.edu.br

André Ribeiro da Costa**
andre.costa@unicesumar.edu.br

Ariana Ferrari**
ariana.ferrari@unicesumar.edu.br

Lucas Camillo Rocha**
lucasrocha@hotmail.com

* Engenheira Ambiental e Sanitarista, Centro Universitário de Maringá - Unicesumar, Maringá-PR – Brasil

** Programa de Mestrado em Ciência, Tec. e Segurança Alimentar, Centro Universitário de Maringá - Unicesumar, Maringá-PR – Brasil

Resumo

No que se refere ao monitoramento da qualidade da água em ambientes lênticos (lagos e reservatórios), a Resolução Conjunta ANA/ANEEL N.03/2010 não preconiza um índice de qualidade da água, apesar de apontar a necessidade de realização de análises laboratoriais para diversos parâmetros de qualidade. Os parâmetros obrigatórios e preconizados por meio da resolução supracitada podem compor um índice de qualidade de água. Assim, foi efetuado um levantamento dos principais índices de qualidade de água para o tipo de manancial em questão, sendo eles os índices IQA, IET, IQAR e IVA, os quais consideram parâmetros ou variáveis laboratoriais para seus respectivos cálculos. O objetivo do presente trabalho se constituiu em pesquisar e indicar um índice de qualidade que possa se ajustar aos parâmetros solicitados pela Resolução Conjunta 03/2010. Dos quatro índices analisados (IQA, IET, IQAR e IVA), quando confrontados em relação aos parâmetros da Resolução Conjunta 03/2010, obteve-se que os índices IQA e IET são os que mais contemplam, em número, os parâmetros requeridos pela Resolução Conjunta 03/2010. Destes dois índices, apenas o IET pode ser calculado com os parâmetros exigíveis pela Resolução Conjunta 03/2010. Para a inclusão do IQA na Resolução Conjunta 03/2010, há necessidade de inclusão de mais quatro parâmetros para o seu cálculo, sendo eles: OD, Resíduo Total, Coliformes Termotolerantes e Turbidez.

Palavras Chave: Monitoramento. Legislação. Parâmetro.

Abstract

Regarding the monitoring of water quality in lentic environments (lakes and reservoirs), Joint Resolution ANA / ANEEL N.03 / 2010 does not advocate a water quality index, despite pointing to the need for laboratory analysis to various quality parameters. Mandatory parameters advocated by the above resolution may compose a water quality index. Thus, a survey of the main water quality indexes was performed for the type of stock in question, which are the IQA, IET, IQAR and IVA indices, which consider laboratory parameters or variables for their respective calculations. The objective of the present work was to research and indicate a quality index that can adjust to the parameters requested by Joint Resolution 03/2010. From the four indexes analyzed (IQA, IET, IQAR and IVA), when compared to the parameters of Joint Resolution 03/2010, it was found that the IQA and IET indices are the ones that most contemplate, in number, the parameters required by Joint Resolution 03/2010. Of these two indices, only the IET can be calculated with the parameters required by Joint Resolution 03/2010. For the inclusion of the IQA in Joint Resolution 03/2010, it is necessary to include four more parameters for its calculation, namely: Dissolved Oxygen, Total Residue, Thermotolerant Coliforms and Turbidity.

Keywords: Monitoring. Legislation. Parameter.

Resumen

Con respecto al monitoreo de la calidad del agua en entornos lénticos (lagos y embalses), la Resolución Conjunta ANA / ANEEL N.03 / 2010 no aboga por un índice de calidad del agua, a pesar de señalar la necesidad de análisis de laboratorio para varios parámetros de calidad. Los parámetros obligatorios propugnados por la resolución anterior pueden componer un índice de calidad del agua. Por lo tanto, se realizó una encuesta de los principales índices de calidad del agua, que son los índices IQA, IET, IQAR e IVA, que consideran parámetros o variables de laboratorio para sus respectivos cálculos. El objetivo del presente trabajo fue investigar e indicar un índice de calidad que pueda ajustarse a los parámetros solicitados por la Resolución Conjunta 03/2010. De los cuatro índices analizados (IQA, IET, IQAR e IVA), en comparación con los parámetros de la Resolución Conjunta 03/2010, se encontró que los índices IQA y IET son los que más contemplan, en número, los parámetros requeridos por la Resolución Conjunta 03/2010. De estos dos índices, solo el IET puede calcularse con los parámetros requeridos por la Resolución Conjunta 03/2010. Para la inclusión del IQA en la Resolución Conjunta 03/2010, es necesario incluir cuatro parámetros más para su cálculo, a saber: oxígeno disuelto, residuo total, coliformes termotolerantes y turbidez.

Palabras clave: Monitoreo. Legislación. Parámetro.

INTRODUÇÃO

Segundo a Resolução Conjunta ANA/ANEEL 03/2010 (Brasil, 2010), o monitoramento da qualidade da água deve ser realizado em reservatórios hidrelétricos com área inundada superior a três km², que é uma exigência da Agência Nacional de Águas (ANA) por meio da Nota Técnica de aprovação do projeto e relatório de instalação da estação hidrométrica. No entorno de muitos reservatórios de água (notadamente ambientes lénticos), dada a disponibilidade abundante de fauna e flora, muitas comunidades humanas (como as ribeirinhas) fazem uso tanto da água como de atividades de subsistência e comércio, por meio da pesca, ou ainda de outras atividades que envolvem o contato direto com a água.

Observa-se que a Resolução Conjunta 03/2010 não especifica um índice para verificar a qualidade da água, apesar de preconizar no texto do documento a necessidade de monitoramento de diversos parâmetros de qualidade de água. É de suma importância avaliar a qualidade da água dos recursos hídricos, para subsidiar os tomadores de decisão na determinação de ações preventivas e corretivas. Além disso, os concessionários de geração de energia elétrica possuem gastos periódicos e obrigatórios por lei, com análises de diversos parâmetros para atender a outros órgãos ambientais, além da Resolução Conjunta 03/2010, que podem auxiliar na composição de um índice de qualidade.

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva realizar uma análise sobre o monitoramento da qualidade da água em reservatórios de empreendimentos hidrelétricos com área superior a três km², exigido na Resolução Conjunta ANA/ANEEL 03/2010, por meio de um estudo dos índices de qualidade de água existentes e, assim, indicar um índice que mais se ajuste à Resolução Conjunta 03/2010.

RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DOCE E SEUS MÚLTIPLOS USOS

Carvalho (2015) descreve que a construção de grandes reservatórios artificiais no Brasil atingiu seu ápice entre as décadas de 1960 e 1970, em decorrência do desenvolvimento industrial e socioeconômico, para a implantação de usinas hidrelétricas e o abastecimento público. O autor enfatiza que os reservatórios possuem um enorme significado e importância, pois são utilizados como base para o desenvolvimento local e regional por contemplarem os benefícios dos usos múltiplos das águas, tais como, abastecimento humano e animal, regularização de cursos, irrigação, navegação, recreação, paisagismo, controle de enchentes, saneamento básico, entre outros.

Segundo Tundisi e Tundisi (2008), no que se refere à qualidade da água, houve um aumento da degradação ambiental e dos usos múltiplos desses sistemas nas últimas décadas, que se tornou assunto de grande preocupação. Além dos principais usos para os quais reservatórios são arquitetados, eles têm outras serventias: 1) Pode ser um local de recursos biológicos das seguintes atividades agrícolas: berçários de peixes, aquicultura e produção de plantas aquáticas; 2) Comumente são locais de recreação, com atividades como natação, canoagem e atividades em terra como pesca, passeios, entre outros; 3) Servem como meios filtrantes de água, já que extinguem impurezas e retêm sedimentos, matéria orgânica, excessos de nutrientes e outros poluentes.

QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água tem sido gradativamente degradada devido às formas de uso e ocupação do solo que, como consequência, geram a contaminação dos recursos hídricos. Os impactos nesses locais devem ser monitorados com intuito de contribuir no diagnóstico e no prognóstico da qualidade, o qual tem por finalidade desenvolver instrumentos de gestão com ações mitigadoras aos prejuízos causados ao meio ambiente (CASTILHOS *et al.*, 2011).

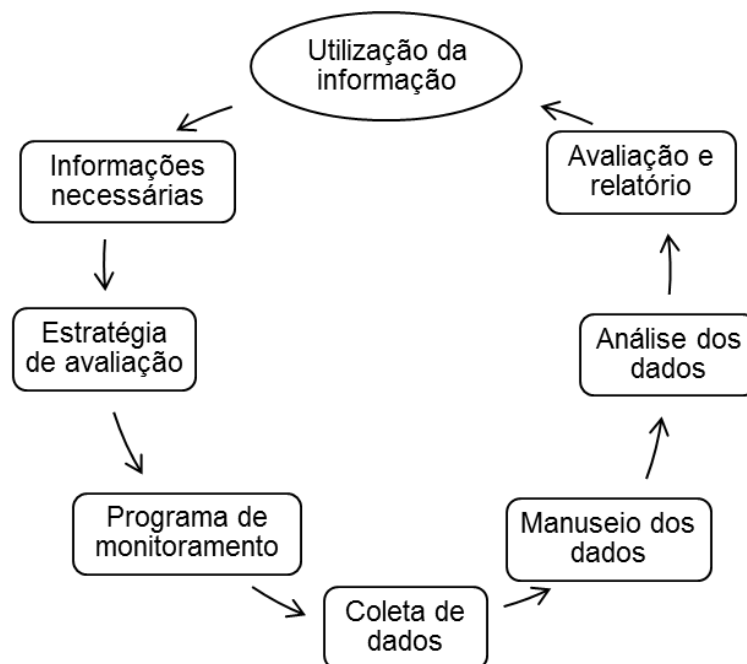
Hagestedt e Naval, (2013) com outro enfoque apontam que a qualidade da água também é definida por meio das condições naturais onde se encontra, mas mesmo assim é prejudicada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo, pelo uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

A avaliação da qualidade da água nos reservatórios brasileiros é realizada a jusante e a montante do barramento devendo ser efetuada durante e após o enchimento do reservatório. Nesse

contexto, a gestão dos recursos hídricos (Figura 1) abrange a necessidade da identificação das questões de gerenciamento de bacias hidrográficas e de seus usos múltiplos, fundamentada na nova Gestão da Água Brasileira (CAMPAGNOLI e DINIZ, 2012).

O objetivo da Agência Nacional de Águas (ANA) é assegurar que os dados coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional, que está sob sua responsabilidade, sejam efetivamente armazenados, processados, interpretados e distribuídos entre todos os segmentos interessados, para auxiliar a gestão dos recursos hídricos. Esses dados são coletados em campo, quer pelos observadores contratados pelas entidades operadoras da Rede, quer pela própria entidade, onde são consolidados, sendo posteriormente encaminhados à Agência (ANA, 2009).

Figura 1. Ciclo do Monitoramento. Fonte: Campagnoli e Diniz (2012).



Estes dados, por sua vez, alimentam a base de dados do Sistema de Monitoramento Hidrológico dos Reservatórios Brasileiros, que atualmente vem sendo implementado na Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas – SIH, da ANEEL. Tal sistema irá fornecer à ANA as ferramentas necessárias para realizar o acompanhamento, em tempo real, da situação hidrológica das bacias hidrográficas, bem como o nível de armazenamento dos reservatórios hidrelétricos e suas defluências totais (SILVA *et al.*, 2010).

Arruda (2014) argumenta que o monitoramento de rios e reservatórios, compulsório ou não, tem a geração de extensos bancos de dados, e esses, normalmente se localizam nos sistemas internos das concessionárias de energia elétrica e são utilizados para constituir relatórios que são entregues ao órgão fiscalizador. Tais dados são de suma importância do ponto de vista científico, visto que expressam rotineiramente o comportamento das séries históricas.

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONJUNTA ANA/ANEEL 03/2010

A Resolução Conjunta ANA/ANEEL 03/2010 (Brasil, 2010), no parágrafo 12º, do artigo 2º, menciona que em aproveitamentos com área inundada superior a três km², o monitoramento da qualidade da água deverá ser realizado em um local do reservatório, considerando os parâmetros de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total, Nitrogênio Total, Clorofila a, Transparência, pH e Temperatura. O § 12º, resolve que a ANA, mediante fundamentação poderá determinar até três locais distintos para o monitoramento. O parágrafo 14º diz:

§ 14. Em aproveitamentos com área inundada menor ou igual a 3 km², a ANA, mediante fundamentação, poderá determinar em um local do reservatório monitoramento da qualidade da água, conforme os parâmetros estabelecidos no §12.

Portanto, o monitoramento poderá ocorrer em reservatórios superior, menor ou igual a três km², se assim a Agência determinar. Além disso, nos locais de monitoramento da qualidade da água deverão ser realizadas, no mínimo, quatro medições no decorrer do ano (BRASIL, 2010).

ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Godoy, Prado e Suluri (2009) apontam que a facilidade de comunicação com o público não técnico e a possibilidade de representar uma média de diferentes variáveis em um único número (indicador de qualidade) é uma das principais vantagens dos índices de qualidade de água.

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

Segundo Trindade (2011), a National Sanitation Foundation (NSF) nos Estados Unidos, criou o Índice de Qualidade da Água (IQA). O seu desenvolvimento teve como finalidade classificar a qualidade de águas designadas ao abastecimento público. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) adequou o IQA, propondo nove parâmetros: Coliformes fecais, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total, Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio Dissolvido, para tentar exibir a realidade dos recursos hídricos brasileiros (WANICK *et al.*, 2011). O cálculo do IQA é realizado por meio do produto ponderado dos nove parâmetros, como apresenta a Equação 1.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{Eq(1)}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido através do gráfico de “curvas médias de variação”, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

i : número do parâmetro, variando de 1 a 9 ($n = 9$, ou seja, o número de parâmetros que compõem o IQA é 9);

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, como mostra a Equação 2.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad \text{Eq(2)}$$

Segundo a ANA (2005), cada parâmetro possui um peso (w_i), os quais foram estabelecidos em função da sua importância para a conformação completa da qualidade da água, conforme a Tabela 1.

De acordo com Von Sperling (2014), a qualidade da água é classificada segundo os critérios da Tabela 2, que apresenta a versão original do NSF, que é usada por alguns órgãos brasileiros, como o Instituto Mineiro das águas (IGAM) do estado de Minas Gerais, e também a versão adaptada pela CETESB de São Paulo.

Tabela 1. Parâmetros de Qualidade da água para o IQA e respectivos pesos.

PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA	PESO (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO ⁵ ₂₀	0,10
Temperatura	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo Total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Fonte: (ANA, 2005)

Essa classificação tem como vantagem a fácil interpretação pelo público leigo (Tabela 2), ao relacionar a qualidade da água com a cor estabelecida. Além disso, admite a entrada destas informações nos mapas das bacias hidrográficas, permitindo a identificação dos pontos críticos dos cursos d'água (LIBÂNIO, 2010).

Tabela 2. Classificação da qualidade das águas segundo o IQA, adaptado pela CETESB.

IQA-NSF			IQA-CETESB		
Nível	Cor	Faixa	Nível	Cor	Faixa
Excelente	Azul	90≤IQA≤100	Ótima	Azul	80≤IQA≤100
Bom	Verde	70≤IQA<90	Boa	Verde	52≤IQA<80
Médio	Amarela	50≤IQA<70	Aceitável	Amarela	37≤IQA<52
Ruim	Laranja	25≤IQA<50	Ruim	Vermelha	20≤IQA<37
Muito Ruim	Vermelha	0≤IQA<25	Péssima	Preta	0≤IQA<20

Fonte: Von Sperling (2014).

ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET)

O Índice de Estado Trófico (IET) tem por objetivo aferir a qualidade da água quanto ao desenvolvimento excessivo do fitoplâncton, gerado pelo enriquecimento de nutrientes, classificando corpos hídricos em diferentes graus de trofia (CETESB, 2008).

Segundo Bem, Azevedo e Braga (2009) o IET foi desenvolvido com o objetivo de tornar mais compreensivos os estudos sobre a eutrofização e a classificação de corpos aquáticos. Os autores relatam que o IET foi desenvolvido por meio da coleta de dados em lagos de regiões temperadas. Para este índice, utilizou-se valores de clorofila a, disco de Secchi e fósforo total. Entretanto, o metabolismo dos seres vivos presentes em ambientes tropicais e subtropicais apresentam comportamento diferentes.

Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico - CETESB (2014), o índice IET baseado em Fósforo Total IET(PT) e na Clorofila a IET(CL) foram então alterados por Lamparelli (2004). Esse pesquisador estabeleceu o cálculo desses índices para rios e reservatórios, sendo eles apresentados a seguir. Com relação a rios (ambientes lóticos) obteve-se as Equações 3 e 4:

$$\text{IET(CL)} = 10 \times \left(6 - \left(\frac{-0,7 - 0,6 \times (\ln \text{CL})}{\ln 2} \right) \right) \quad \text{Eq(3)}$$

$$\text{IET(PT)} = 10 \times \left(6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \times (\ln \text{PT})}{\ln 2} \right) \right) \quad \text{Eq(4)}$$

As equações para reservatórios (ambientes lênticos) são mostradas nas Equações 5 e 6:

$$\text{IET(CL)} = 10 \times \left(6 - \left(\frac{0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})}{\ln 2} \right) \right) \quad \text{Eq(5)}$$

$$\text{IET(PT)} = 10 \times \left(6 - \left(\frac{1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT})}{\ln 2} \right) \right) \quad \text{Eq(6)}$$

Onde:

P: Concentração de fósforo total, medida à superfície da água ($\mu\text{g/L}$);

CL: Concentração de Clorofila a, medida à superfície da água ($\mu\text{g/L}$);

ln: logaritmo natural.

Ainda de acordo com CETESB (2014) o IET é então obtido por meio da média aritmética simples dos índices referentes ao IET(PT) e IET(CL), segundo a Equação 7:

$$\text{IET} = [\text{IET(PT)} + \text{IET(CL)}] / 2 \quad \text{Eq(7)}$$

Para definir a classificação desse índice, Lamparelli (2004) adotou para ambientes lóticos e lênticos, diferentes estados de trofia. Na conclusão do seu estudo o autor relata que a aplicação do IET deve ser diferente nos ambientes supracitados, “pois há diferença significativa entre as regressões de clorofila a e fósforo total”. Além disso, deve-se considerar também, nesses ambientes o potencial de

eutrofização. A Tabela 3 exibe os níveis e características para ambientes lênticos (reservatórios) e seus estados de trofia.

Tabela 3. Classificação do estado trófico de reservatórios.

Estado trófico	Ponderação	P-Total ($\mu\text{g/L}$)	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$	$P \leq 8$	$\text{CL} \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < \text{CL} \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < \text{CL} \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < \text{CL} \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < \text{CL} \leq 69,05$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$P > 233$	$\text{CL} > 69,05$

Fonte: Lamparelli, (2004), adaptado.

Essas classificações podem ser melhor compreendidas de acordo com a abordagem de Barreto *et al.*, (2013):

- Ultraoligotrófico: refere-se aos corpos de água considerados limpos, onde a produtividade de nutrientes é baixa e as concentrações não são significativas, portanto, não ocasionam prejuízos aos usos da água.
- Oligotrófico: possui as mesmas características do estado anterior, entretanto, desde que a baixa produtividade e a presença de nutrientes produzam interferências indesejáveis sobre os usos da água.
- Mesotrófico: na maior parte dos casos apresenta produtividade intermediária e prováveis danos sobre a qualidade da água, mas em níveis admissíveis.
- Eutrófico: devido às atividades antrópicas há redução da transparência devida alta produtividade de nutrientes, interferindo nos usos múltiplos da água e alterando sua qualidade.
- Supereutrófico: designa-se a corpos de água, que em geral também são afetados por atividades antrópicas. A sua qualidade é afetada pela baixa transparência ocasionada pelo surgimento de florações de algas, influenciando nos seus múltiplos usos.

- Hipereutrófico: tem como característica elevadas concentrações de matéria orgânica e nutriente, que comprometem as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas, devido às florações de algas que acarreta a morte de peixes.

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS (IQAR)

O Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR) foi criado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) com o intuito de classificar os reservatórios do Estado, de acordo com seus níveis de comprometimento, a fim de tomar medidas de saneamento e manejo visando à conservação ou a recuperação desses ecossistemas em função dos seus usos múltiplos (IAP, 2004).

Para a avaliação da qualidade da água foram selecionadas as seguintes variáveis: déficit de oxigênio dissolvido, clorofila a, fósforo total, profundidade Secchi, Demanda Química de Oxigênio (DQO), tempo de residência, nitrogênio inorgânico total, cianobactérias e profundidade média (PNMA, 2006).

Segundo a ELETROSUL (2015), esses parâmetros foram escolhidos por meio de análise estatística multivariada, formando então uma matriz (Tabela 4) que possui seis classes de qualidade da água estabelecidas a partir de percentuais de 10%, 25%, 50%, 75% e 90% de cada uma das variáveis mais relevantes.

Tabela 4. Matriz da qualidade da água.

Variáveis "i"	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Classe VI
Déficit de Oxigênio	≤5	6-20	21-35	36-50	51-70	>70
Fósforo Total	≤0,010	0,011 - 0,025	0,026 - 0,040	0,041 - 0,085	0,086 - 0,210	>0,210
Nitrogênio Inorgânico Total	≤0,15	0,16 - 0,25	0,26 - 0,60	0,61 - 2,00	2,00 - 5,00	>5,00
Clorofila a	≤1,5	1,5 - 3,0	3,1 - 5,0	5,1 - 10,0	11,0 - 32,0	>32
Disco de Secchi	≥3	3 - 2,3	2,2 - 1,2	1,1 - 0,6	0,5 - 0,3	>0,3
DQO	≤3	3 - 5	6 - 8	9 - 14	15 - 30	>30
Tempo de residência	≤10	11 - 40	41 - 120	121 - 365	366 - 550	>550
Profundidade média	≥35	34 - 15	14 - 7	6 - 3,1	3 - 1,1	>1
Cianobactérias	<5.000	5.001-10.000	5.001-10.000	20.001-50.000	50.001-100.000	>100.000

Fonte: IAP, (2004).

De acordo com o IAP (2004) a classe da qualidade da água é calculada através deste índice conforme a Equação 8:

$$IQAR = \frac{\sum(w_i \times q_i)}{\sum w_i} \quad \text{Eq(8)}$$

Onde:

w_i = pesos calculados para as variáveis "i";

q_i = classe de qualidade de água em relação a variável "i", que pode variar de 1 a 6.

Portanto, o IQAR possui seis classes (Tabela 5) de qualidade a partir do cálculo que utiliza as variáveis supracitadas, sendo que cada classe possui um valor máximo ou mínimo, que varia conforme suas particularizações. Para a realização do cálculo desse índice, dependendo de sua relevância e levando em consideração a média da coluna d'água, das profundidades e concentração na profundidade, cada variável recebe um valor que é expresso em (w) (ZADRA *et al.*, 2011).

Tabela 5. Classificação do Índice de Qualidade da Água em Reservatórios.

Classificação	Descrição	Intervalos
Classe I	Não impactado a muito pouco degradado	1,0 a 1,6
Classe II	Pouco degradado	1,7 a 2,6
Classe III	Moderadamente degradado	2,7 a 3,6
Classe IV	Criticamente degradado a pouco poluído	3,7 a 4,6
Classe V	Muito poluído	4,7 a 5,6
Classe VI	Extremamente poluído	5,7 a 6,0

Fonte: Tacon (2009).

ÍNDICE DE PROTEÇÃO A VIDA AQUÁTICA (IVA)

O índice de Proteção a Vida Aquática (IVA) recebeu este nome a partir do teste de toxicidade crônica com o micro crustáceo *Ceriodaphnia dubia*. Este estudo deu abertura à concepção de um índice com parâmetros que relacionassem a água superficial e suas implicações no meio ambiente, sendo empregado pela CETESB, desde 2002, no monitoramento das águas superficiais de São Paulo (CETESB, 2014).

Segundo a CETESB (2014) esse índice tem por finalidade aferir a condição das águas para fins de proteção da fauna e flora, pois analisa a presença e concentração de contaminantes químicos

tóxicos, sua consequência sobre os organismos aquáticos, distinto, portanto, de um índice para a aferição da água para consumo humano e recreação de contato primário.

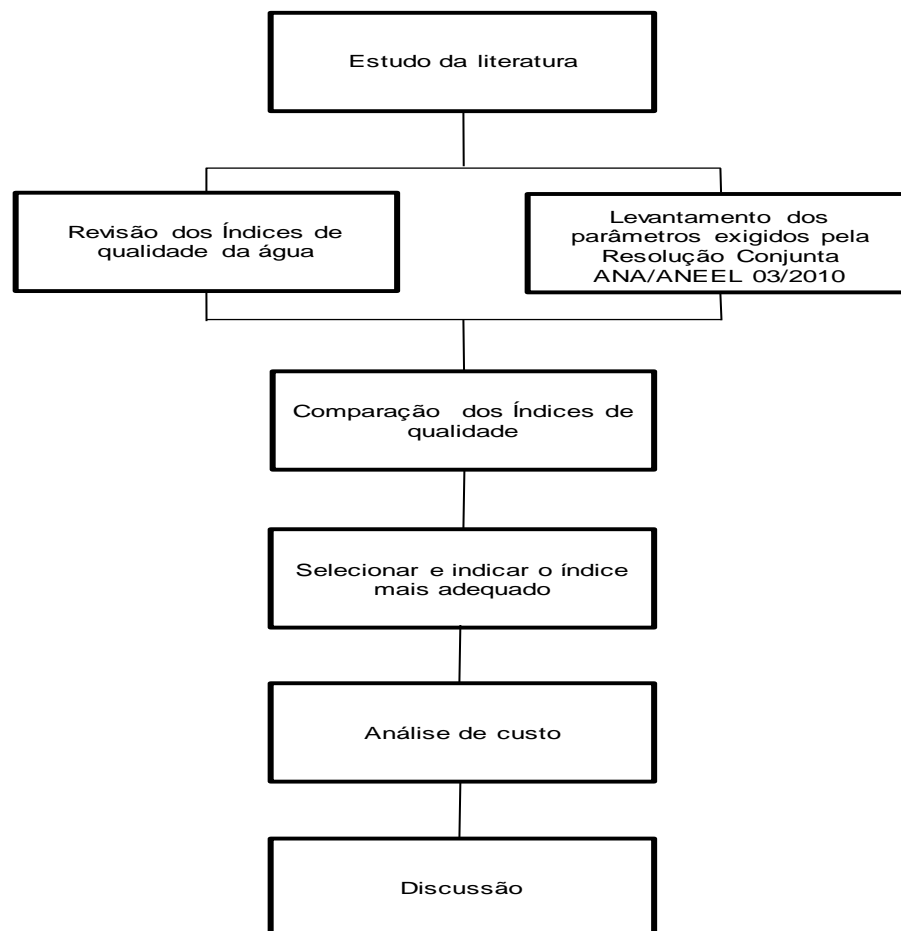
O IVA é constituído pelo IPMCA – Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática, pelo IET de Carlson modificado por Lamparelli (2004), e por dois parâmetros considerados fundamentais para a biota (pH e oxigênio dissolvido). Logo, o IVA proporciona subsídios sobre a qualidade da água em termos eco toxicológicos, assim como sobre o seu grau de trofia (LAMPARELLI, 2004).

O IPMCA classifica o grau de contaminação por substâncias nocivas que podem intervir na comunidade aquática. Divide-se em dois grupos de variáveis: grupo de variáveis essenciais, composto pelos parâmetros de pH, toxicidade e oxigênio dissolvido; e o grupo de substâncias tóxicas: surfactantes/detergentes, fenóis, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco (ANA, 2009).

METODOLOGIA

Este artigo se baseia em Revisão Sistemática de Literatura (RSL), assim como proposto por Kitchenham (2004). Uma revisão de literatura deve possibilitar ao pesquisador identificar, avaliar e interpretar o maior número de pesquisas sobre o tema em questão, de forma a identificar as lacunas de conhecimento no cenário atual de pesquisa.

Foram encontrados quatro índices de qualidade: Índice de Qualidade da Água (IQA), Índice do Estado Trófico (IET), Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR) e o Índice de Proteção a Vida Aquática (IVA). Assim, foi realizada uma comparação entre os parâmetros exigidos na Resolução Conjunta ANA/ANEEL 03/2010 com os parâmetros requeridos pelos índices supracitados a fim de identificar e indicar qual deles melhor se ajusta aos parâmetros da Resolução Conjunta e ainda atenda aos órgãos ambientais. A Figura 2 apresenta o fluxograma de como foi estruturado o presente estudo.

Figura 2. Fluxograma de metodologia para a pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizar o estudo dos quatro índices de qualidade abordados na Tabela 6 apresenta-se a comparação dos parâmetros requeridos pela Resolução Conjunta ANA/ANEEL 03/2010 e os que são exigidos em cada índice de qualidade.

Os parâmetros Clorofila a e Fósforo Total, os quais são requeridos pela Resolução Conjunta ANA/ANEEL 03/2010, permitem somente a obtenção do Índice do Estado Trófico (IET), que tem por finalidade única, de acordo com CETESB (2008), aferir a qualidade da água quanto à evolução de nutrientes e seu resultado relacionado ao desenvolvimento excessivo do fitoplâncton, o que caracteriza a eutrofização. Contudo, como já mencionado, não é exigido o cálculo desse índice e nem é mencionado um possível índice a ser obtido com os parâmetros existentes.

Tabela 6. Comparação dos parâmetros da Resolução Conjunta com os dos índices abordados.

Resolução Conjunta	Parâmetros			
	IQA	IET	IQAR	IVA
DBO	DBO	Clorofila <i>a</i>	OD	pH
Fósforo Total	Fósforo Total	Fósforo Total	Fósforo Total	OD
Nitrogênio Total	Nitrogênio Total		Profundidade de Secchi	Toxicidade
Clorofila <i>a</i>	Turbidez		Clorofila <i>a</i>	Surfactantes/detergentes
pH	pH		DQO	Fenóis
Temperatura	Temperatura		Tempo de residência	Cádmio
Transparência	Resíduo Total		Nitrogênio inorgânico total	Chumbo
	OD		Cianobactérias	Cobre
	Coliformes termotolerantes		Profundidade média	Cromo
				Mercúrio
				Níquel
				Zinco

Com relação aos nove parâmetros necessários para obtenção do IQA, tem-se que o Oxigênio Dissolvido, Resíduo Total, Coliformes termotolerantes e Turbidez não são exigidos pela Resolução Conjunta, os quais então deveriam integrar o conjunto dos existentes na citada Resolução, para possibilitar o cálculo do IQA.

Ao comparar os parâmetros da Resolução Conjunta com os do IQAR, adotado pelo estado do Paraná, o qual também requer nove parâmetros para seu cálculo, apenas o Fósforo Total, Clorofila *a* e Transparência/Secchi são comuns. Entretanto, segundo IAP (2004), o IQAR é um índice aplicável apenas a reservatórios e mananciais lênticos, com objetivo de tomar medidas mitigadoras voltadas para o saneamento e manejo, tendo em vista à conservação ou a recuperação desse ecossistema. Além disso, é um índice relativamente novo, que ainda não é solicitado nos órgãos estaduais e federais como o IQA.

Com relação aos parâmetros do IVA, quando confrontados com os da Resolução Conjunta, apenas o pH, de todos os parâmetros do IVA, apresenta-se no conjunto de parâmetros da Resolução Conjunta. Como foi mencionado anteriormente, o IVA é um índice voltado para a proteção da fauna e flora, pois analisa a qualidade da água em termos eco toxicológicos, bem como o nível de trofia. Todavia, é um índice que não afere a qualidade da água para consumo humano e recreação de contato primário.

Do exposto acima, nota-se que de todos os índices analisados (IQA, IET, IQAR e IVA), quando comparados em relação aos parâmetros da Resolução Conjunta, o IET é o único índice possível de se

obter. Entretanto, o IET mensura apenas o grau de trofia do manancial, não apresentando a abrangência qualitativa que o IQA possibilita, ou seja, indica unicamente o estado trófico. De todos os índices, o IQA é o que apresenta maior aproveitamento dos parâmetros constantes na Resolução Conjunta.

Tendo em vista que o monitoramento da qualidade da água influencia diretamente na gestão integrada dos recursos hídricos, o IQA é o índice mais considerado pelos órgãos ambientais estaduais e federais, tornando-se, portanto, o índice de qualidade da água mais significativo.

Ressalta-se que a maior parte dos concessionários deve atender não somente à Resolução Conjunta, mas também a órgãos ambientais de seu estado. Os quatro parâmetros citados, Oxigênio Dissolvido, Resíduo Total, Coliformes termotolerantes e Turbidez são comumente requeridos em relatórios periódicos que devem ser enviados aos órgãos ambientais.

Percebe-se, dessa forma que, para uma padronização nacional quando de uma possível incorporação do IQA e do IET na Resolução Conjunta, apenas os parâmetros de Turbidez, Resíduo Total, OD e Coliformes Termotolerantes deveriam passar a ser exigidos por essa Resolução.

CONCLUSÕES

Em relação aos índices abordados e analisados neste trabalho, o Índice de Estado Trófico (IET) é o único no qual os parâmetros solicitados pela Resolução Conjunta o permitem calcular. Entretanto, tal índice possibilita somente avaliar o grau de eutrofização do corpo hídrico.

O IQA é o índice mais aceito pelas instituições estaduais e federais. Ressalta-se que a CETESB emprega este índice, tanto para rios quanto para reservatórios, e sua utilização é para fins de abastecimento público assim como, também, para aspectos referentes ao tratamento da água. Levando em consideração que o uso prioritário da água é o consumo humano, então com a aplicação deste índice também será possível inferir se o recurso hídrico está próprio para os demais usos.

Salienta-se a importância que os reservatórios possuem, pois não são somente utilizados para a geração de energia elétrica, mas também abrangem os usos múltiplos das águas, como a irrigação, recreação, abastecimento público, entre outros. Por esse motivo, é de extrema importância conhecer a qualidade da água.

Referências

- ANA - Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil** / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. - Brasília: ANA, SPR, 2005. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA%20DA%20QUALIDADE%20DAS%20C3%81GUAS.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2019.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Portal da Qualidade das Águas**. Brasília: ANADF, 2009. Disponível em: <http://www.pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQAIndiceQA.aspx> Acesso em: 10 ago.2019.
- ARRUDA, Nicole Machuca Brassac de. Avaliação de variáveis de qualidade de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Foz do Areia, Segredo e Caxias, como instrumento de gestão de bacias hidrográficas. 2014.249 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/35746/R-T-NICOLE-MACHUCA-BRASSAC-DE-ARRUDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 7 ago. 2019.
- BARRETO L. V.; BARROS F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. **Eutrofização em rios brasileiros**. Itapetinga-BA, 2013.
- BEM, C.C.; AZEVEDO, J. C. R. de.; BRAGA, M.C.B. Aplicação e análise dos Índices de Estado Trófico - IET: estudo de caso do lago Barigui. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais...** . Campo Grande: Rbrh, 2009. v. 1, p. 1 - 13. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php>>. Acesso em: 08 ago. 2019.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL); AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 3, de 10 de Agosto de 2010. Estabelecer as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos, e dar outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 out. 2010.
- CARVALHO, Gustavo Atila de. **Estudo temporal da estratificação no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu e suas influências nos drenos de fundação da barragem de concreto (estudo de longo período)**. 2011. 153 f. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade Federal do ABC, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://pgene.ufabc.edu.br/conteudo/bloco2/publicacoes/Dissertacoes2011/DissertacaoGustavoCarvalho.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2019.
- CESTESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório da qualidade das águas superficiais**. São Paulo, SP, 2014 Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 09 ago. 2019.
- CESTESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório da qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, 2008 Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 12 ago. 2019.
- ELETROSUL. **Monitoramento da Qualidade de Água Superficial. Reservatório da Usina Hidrelétrica Passo São João UHE-PSJ**. 2015. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/files/files/sustentabilidade/responsabilidade-socio-ambiental/Relatorio%2020vf.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2019.
- GODOY, J.M.; PRADO, R.B.; SOLURI, D.S. Aplicação de índice de qualidade de água na microbacia do Córrego Pito Aceso-RJ: vivência experimental em campo para alunos de graduação da PUC-Rio. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009, Campo Grande. **Anais...** . Campo Grande: RBRH, 2009. v. 1, p. 1 - 18. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php>>. Acesso em: 07 ago. 2019.

HAGESTEDT, V. M.; NAVAL, L. P. Apoio a criação e gerenciamento de um banco de dados de informações a respeito de valores de referência de qualidade para as substâncias naturalmente presentes, nos diferentes sistemas aquáticos. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS, 9., 2013, Palmas. **Anais...**Palmas: Uft, 2013. v. 5, p. 1 - 6. Disponível em: <<http://www.eventos.uft.edu.br/index.php/sic/IX/paper/viewFile/482/308>>. Acesso em: 3 abr. 2014.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 1999 a 2004. Curitiba: Repidisca, 2004. 13 p. Disponível em: <[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/rel_monit_qual_aguas_reserv_9904\(1\).pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/rel_monit_qual_aguas_reserv_9904(1).pdf)>. Acesso em: 03 ago. 2019.

KITCHENHAM, B. A. **Procedures for performing systematic reviews**. Tech. report TR/SE-0401, Keele University. 2004.

LAMPARELLI, Marta Condé. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**.2004. 235f. Tese (Doutorado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006-075813/pt-br.php>>. Acesso em: 03 ago. 2019.

LIBANIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**.3.ed. Campinas, SP: Átomo,2010.

PNMA – Programa Nacional de Meio Ambiente. **Índice e indicadores de água – revisão literária**. 2006. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>

SILVA, L. L.; TAKEI, P. N.; FERREIRA, R. S. A.; SILVEIRA, C. A. C.; MACEDO, G. R. O Sistema de Monitoramento Hidrológico dos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** . Foz do Iguaçu: CBMET, 2010. p. 2159 - 2164. Disponível em: <<http://www.cbmec.com/cbm-files/11-9c195bce3919875be521a96e4ee44997.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2019.

TRINDADE, P. B.C.B. **Classificação do estado trófico de reservatórios – estudo de caso: reservatório de Rio Bonito (ES)**. 2011. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

TACON, A.C.; GOUVEIA, D. C.; SILVA, J.H.G.; BRASSAC, N. M.; MIRANDA, T. L. G.; PRESTES, E. C. Avaliação de qualidade de água na região da UHE Apucarantina no reservatório de fiú: Análise Temporal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Rbrh, 2009. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php>>. Acesso em: 08 Ago. 2019.

TUNDISI, J.G; TUNDISI, T.M; GALLI, C.S. **Eutrofização na América do Sul: causas, consequências e tecnologias para o gerenciamento e controle**. São Carlos: IIE, 2006.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4.ed.Belo Horizonte:UFMG,2014.

WANICK, R. C.; SOARES, P. H. M.; MACHADO, A. C.; BRITTO, F. G. A.; MURTA, A. L. S.; FREITAS, M. A. V. Avaliação do IQA como ferramenta de avaliação da qualidade de água nos corpos hídricos interceptados pela rodovia BR-163 (GUARANTÃ DO NORTE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19.,2011. **Anais...** Maceió- AL, 2011.

ZADRA, W.Z.; SACHINI, C.; BORTOLIN, T.A.; BIGOLIN, M.; SCHNEIDER, V.E. Implementação do Índice de Qualidade de Água em Reservatórios (IQAR) no Sistema de Informação Ambiental - SIA Hidrelétricas. In:

ENCONTRO DE JOVENS PESQUISADORES. I MOSTRA ACADÊMICA DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA, 19., 2011, Caxias do Sul. **Anais...** .Caxias do Sul: UCS, 2011.

Recebido em: 20/09/2019

Aceito em: 08/11/2019

Endereço para correspondência:

Nome: Prof. Dr. Ricardo Andreola

Email: ricardo.andreola@unicesumar.edu.br



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).