

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCAR  
CAMPUS LAGOA DO SINO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA - CCN  
ENGENHARIA AMBIENTAL

LUIZ FERNANDO YOITI TOBO KANETAKA

**METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL EM  
ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS CONTINENTAIS**

BURI  
2023

LUIZ FERNANDO YOITI TOBO KANETAKA

**METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL EM  
ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS CONTINENTAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia de Ambiental do Centro de  
Ciências da Natureza da Universidade  
Federal de São Carlos, como requisito  
parcial à obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Ambiental.

Orientador: Profa. Dra. Giulianna  
Rondineli Carmassi

BURI/SP  
2023

Tobo Kanetaka, Luiz Fernando Yoiti

Metodologias de avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas aquáticos continentais / Luiz Fernando Yoiti Tobo Kanetaka -- 2024.  
39f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Giulianna Rondineli Carmassi

Banca Examinadora: Giulianna Rondineli Carmassi, Alberto Luciano Carmassi, Jorge Luis Pantoja Filho

Bibliografia

1. Ecossistemas lóticos. 2. Impactos ambientais. 3. Bioindicadores. I. Tobo Kanetaka, Luiz Fernando Yoiti. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)


DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL


**Folha de Aprovação**

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do(a) candidato(a) LUIZ FERNANDO YOITI TOBO KANETAKA, realizada em 09/02/2024:

Documento assinado digitalmente  
 GIULIANNA RONDINELI CARMASSI  
Data: 09/02/2024 10:18:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Profa. Dra Giuliana Rondineli Carmassi – Orientadora  
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente  
 ALBERTO LUCIANO CARMASSI  
Data: 09/02/2024 10:25:39-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Alberto Luciano Carmassi  
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente  
 JORGE LUIS RODRIGUES PANTOJA FILHO  
Data: 09/02/2024 11:16:47-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho  
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

## RESUMO

**KANETAKA, L. F. Y. T. Metodologias de avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas aquáticos continentais.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2024.

O presente trabalho buscou realizar um levantamento bibliográfico sobre metodologias utilizadas para avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas lóticos, destacando suas vantagens de aplicação e eventuais complicações. A partir do levantamento bibliográfico realizado, um conjunto de dez metodologias para a avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas aquáticos continentais foi selecionado. Pelo fato destas metodologias utilizarem uma série de parâmetros, o que dificultaria a interpretação dos resultados, muitas fazem uso de índices (e também de índices derivados de outros índices) com a intenção de transformar esses vários parâmetros em uma única grandeza de modo a avaliar/classificar a qualidade ambiental, facilitando a interpretação. Algumas das metodologias fazem uso de bioindicadores, visto que são organismos capazes de responder a uma série de distúrbios, sejam naturais ou antrópicos.

**Palavras-chaves:** Ecossistemas lóticos. Impactos ambientais. Bioindicadores.

## **ABSTRACT**

The present work aims to carry out a bibliographic survey on methodologies used to assess environmental quality in lotic ecosystems, and analyze the importance of these methodologies for this type of assessment, highlighting their positive and negative points, in addition to highlighting their forms of application . Highlighting traditionally used methodologies, such as the Water Quality Index (WQI), with a more efficient approach to detect environmental impacts, seeking to integrate physical, chemical and biological information on aquatic ecosystems brought by the analysis of these methods, in addition to highlighting other mechanisms of analysis of water quality and its relevance in each circumstance of use, seeking to improve efficiency in detecting environmental impacts. The importance of bioindicators as tools for assessing environmental impacts is also highlighted, highlighting their ability to respond to natural and anthropogenic disturbances.

**Keywords:** Environmental Impacts; Aquatic Ecosystems; Bioindicators; Evaluation Methodologies; Rivers

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas	14
Figura 2 - Linhas de avaliação da qualidade dos sedimentos	28

## **LISTA DE TABELAS E QUADROS**

### **TABELAS**

Tabela 1 - Classificação do Estado Trófico do ambiente	16
Tabela 2 - Ponderações e faixas de valores das variáveis do IPMCA	18
Tabela 3 - Cálculo do IVA integrando o IET e o IPMCA	20
Tabela 4 - Classificação do ambiente de acordo com o ICB	23
Tabela 5 - Classificação da qualidade em relação aos sedimentos	27

### **QUADROS**

Quadro 1 - Classificação ambiental de acordo com o IQA	15
Quadro 2 - Classificação do IET a partir das ponderações	16
Quadro 3 - Classificação do ambiente a partir do IPMCA	19
Quadro 4 - Classificação do ambiente de acordo com o IVA	20
Quadro 5 - Classificação do ambiente de acordo com o ICF	21
Quadro 6 - Classificação do ambiente de acordo com o IIB	23
Quadro 7 - Classificação da Mutagenicidade das Águas	26
Quadro 8 - Vantagens e dificuldades das metodologias de avaliação de qualidade ambiental	30



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>12</b>
5.1	Metodologias de Avaliação	13
5.1.1	Índice de Qualidade das Águas (IQA)	13
5.1.2	Índice do Estado Trófico (IET)	15
5.1.3	Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA)	17
5.1.4	Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA)	20
5.1.5	Índice da Comunidade Fitoplanctônica (ICF)	21
5.1.6	Índice da Comunidade Bentônica (ICB)	22
5.1.7	Índice da Integridade Biótica (IIB)	23
5.1.8	Presença de compostos mutagênicos	25
5.1.9	Avaliação da Qualidade dos Sedimentos	26
5.1.10	Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR)	29
5.2	Comparativo das metodologias de avaliação apresentadas	29
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água constitui o recurso natural mais precioso do planeta Terra. Embora 70% da superfície do planeta seja coberta por água, apenas 3% desse volume é constituído de água doce e, desta parcela, apenas 6% são águas superficiais, incluindo rios, riachos/córregos, lagos e reservatórios artificiais (Fragoso-Júnior; Ferreira; Marques, 2009).

Os rios, riachos e córregos são sistemas contínuos e abertos, denominados lóticos, que interagem com os ecossistemas terrestres adjacentes de tal forma que as características físicas e químicas das águas estão diretamente relacionadas às áreas drenadas (Payne, 1986). Estes ambientes possuem um padrão espacial claro, com um gradiente contínuo de variáveis ambientais e biológicas que vão se adaptando de acordo com as condições do canal (Vannote *et al.*, 1980). Nos grandes rios, as conexões laterais, que se dão entre a calha principal e a planície de inundação, também são muito importantes (Junk *et al.*, 1989). Ward (1989) descreveu, então, os sistemas lóticos como tetradimensionais, com as dimensões longitudinal (nascente-foz), lateral (canal-áreas adjacentes) e verticais (água superficial-subterrânea), acrescidas da dimensão temporal. Boon (1992) incorporou, ainda, um quinto componente a este padrão de organização, que corresponde a dimensão conceitual humana relacionada à conservação dos rios e riachos.

Considera-se impacto ambiental as alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, e a qualidade dos recursos ambientais (Brasil, 1986).

Historicamente os corpos d'água continentais sofrem impactos de origem antrópica e cada vez mais são necessários usos de ferramentas para o monitoramento desses ambientes (Oliveira, 2011). Dentre os impactos ambientais mais frequentes em rios, riachos e córregos destacam-se: alterações nas paisagens (por exemplo, supressão de mata ciliar e atividades agropecuárias), lançamento de efluentes (domésticos e industriais) e barramentos artificiais. As atividades antrópicas realizadas nas margens e em áreas mais distantes têm efeitos diretos e indiretos sobre o corpo d'água (Brejão; Leal; Gerhard 2021). Por exemplo, o desmatamento local leva à diminuição do sombreamento do canal, aumento da temperatura da água e redução do aporte de matéria orgânica; já o desmatamento a montante na bacia pode ocasionar erosão de solo exposto, maior entrada de sedimentos finos e alterações na morfologia do canal (Brejão; Leal; Gerhard, 2021). É sabido que os ecossistemas aquáticos continentais são extremamente

vulneráveis a esses impactos (Smith; Petrere, 2000), apresentando uma queda acentuada da qualidade de água e perda da biodiversidade.

O conceito de bacia hidrográfica cabe ser destacado aqui por esta ser uma área da superfície terrestre drenada por um rio e seus tributários e limitada por divisores de água (Guerra; Silva; Botelho, 1999), e, ao contemplar uma unidade espacial bem definida, pode ser utilizada como uma unidade de planejamento e gestão (Lanna, 1995). Assim a qualidade das águas de uma bacia constitui um dos principais aspectos do diagnóstico ambiental, podendo ser representada por diversos parâmetros que traduzem as principais características físicas, químicas e biológicas do corpo hídrico.

As metodologias tradicionalmente utilizadas estão baseadas em parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos. Por exemplo, o Índice de Qualidade das Águas (IQA), que é o principal indicador qualitativo usado no país, se baseia nos seguintes parâmetros: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, resíduo total, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e turbidez (ANA, 2023). Como tais metodologia são apontadas como pouco eficientes para a avaliação da qualidade estética, recreativa e ecológica (Buss; Oliveira; Baptista, 2008), tem-se buscado a integração destas informações com características biológicas dos ecossistemas de modo a aumentar a eficiência dos sistemas de detecção dos impactos ambientais (Buss; Baptista; Nessimian, 2003).

## **2 JUSTIFICATIVA**

Conhecer as ferramentas usadas para identificar a qualidade ambiental e as consequentes problemáticas dos impactos ambientais sobre os recursos hídricos é essencial para o planejamento, manejo e gestão das águas. É através dessas ferramentas que se pode avaliar, monitorar e propor medidas de restauração para esses ecossistemas. O presente trabalho tem a intenção de realizar um levantamento de metodologias usadas para se avaliar a qualidade ambiental em rios, riachos e córregos.

## **3 OBJETIVOS**

Realizar um levantamento bibliográfico sobre metodologias utilizadas para avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas lóticos, destacando suas vantagens de aplicação e eventuais complicações.

#### **4 METODOLOGIA DE PESQUISA**

Foi realizado um levantamento de dados secundários, em bases disponíveis na internet (por exemplo, *Web of Science*, Scielo e Google Acadêmico) a partir de palavras-chave pré-definidas ("metodologias de avaliação da qualidade de água"; "ecossistemas aquáticos"; "ambientes aquáticos continentais"; "rios, riachos, córregos"; "bioindicadores"), de modo a acessar os documentos (artigos científicos, trabalhos técnicos, teses, dissertações, livros especializados, entre outros) que tratam das metodologias utilizadas para avaliação da qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos continentais, em específico rios, riachos e córregos. As informações foram organizadas em tópicos e uma tabela foi construída, de modo a facilitar a consulta às metodologias encontradas.

#### **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA - responsável pelas deliberações vinculadas às diretrizes e normas técnicas, critérios e padrões relativos à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos ambientais. É a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005) que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e traz as diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Neste documento, as águas doces (àquelas que apresentam salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰) são categorizadas em 5 classes e, para cada uma dessas classes, são apresentados as condições e os padrões de qualidade baseados em uma série de parâmetros.

A CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - é a agência ambiental paulista responsável pelo desenvolvimento de ações de controle, licenciamento, fiscalização e monitoramento das atividades potencialmente poluidoras. Dentre as publicações da CETESB, encontram-se relatórios anuais de qualidade das águas interiores. Em suas atividades de monitoramento, a CETESB avalia cerca de 60 variáveis de qualidade da água que são consideradas mais representativas e, dependendo do tipo de enfoque, um conjunto de variáveis pode ser selecionado. Importante destacar que as variáveis que tratam da qualidade das águas e do sedimento podem ser integradas na avaliação dos ambientes aquáticos e que diversas variáveis e índices específicos podem ser adotados para a indicação de sua qualidade. Além disso, variáveis naturais como a geologia, a cobertura vegetal, o regime de chuvas, o

lançamento de efluentes domésticos e o manejo inadequado do solo podem refletir diretamente na qualidade da água superficial e subterrânea (ANA, 2023).

A partir do levantamento bibliográfico realizado, um conjunto de metodologias para a avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas aquáticos continentais foi selecionado. Pelo fato destas metodologias utilizarem uma série de parâmetros, o que dificultaria a interpretação dos resultados, muitas fazem uso de índices (e também de índices derivados de outros índices) com a intenção de transformar esses vários parâmetros em uma única grandeza de modo a avaliar/classificar a qualidade ambiental, facilitando a interpretação.

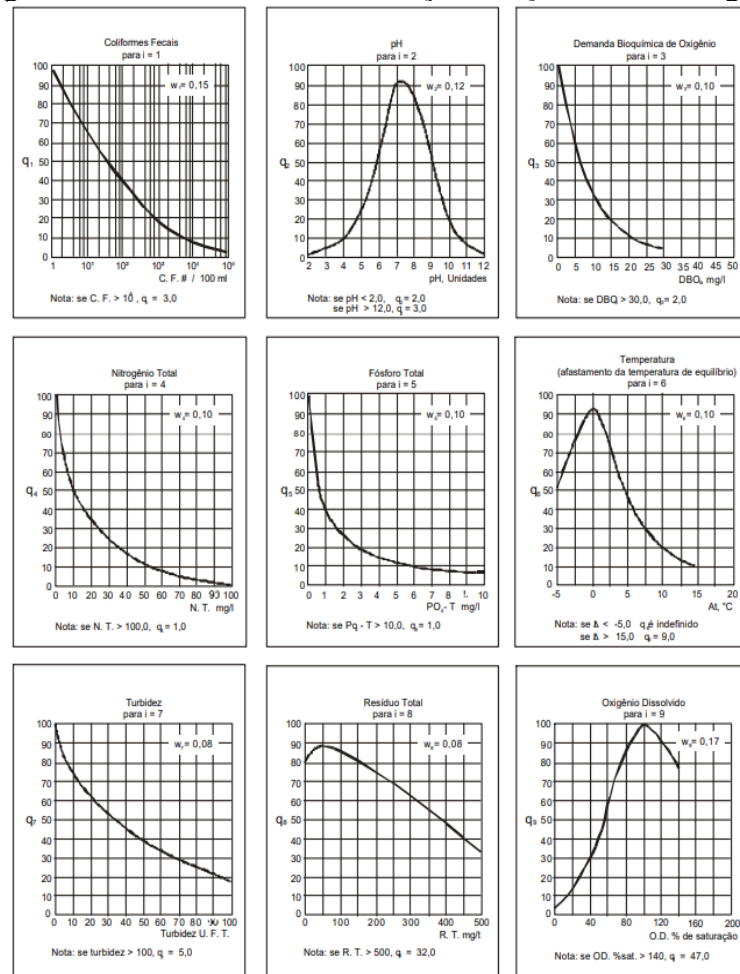
Algumas das metodologias fazem uso de bioindicadores, que correspondem a espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, quantidade e distribuição podem indicar a magnitude de impactos ambientais em um ecossistema (Callisto; Gonçalves, 2002), isso porque os organismos são capazes de responder a uma série de distúrbios, sejam naturais ou antrópicos.

## **5.1 Metodologias de Avaliação**

### **5.1.1 Índice de Qualidade das Águas (IQA)**

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi uma adaptação brasileira de um estudo norte americano da *National Sanitation Foundation* em 1970, feito pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Nessa metodologia, são utilizados 9 parâmetros para se avaliar a qualidade da água, sendo eles, quantidade de coliformes fecais; pH; demanda bioquímica de oxigênio; nitrogênio total; fósforo total; temperatura; turbidez; resíduos totais e oxigênio dissolvido. Cada um desses parâmetros apresenta uma curva média de variação de Qualidade das Águas (Figura 1) (CETESB, 2023).

Figura 1 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas



Fonte: CETESB, 2023

Para o cálculo do IQA, é utilizada a seguinte fórmula (Equação 1):

Equação 1 - Cálculo do IQA (Santos *et al.*, 2017).

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

Onde:

- IQA: Índice de Qualidade das Águas (podendo variar de 0 a 100);
- qi: qualidade do parâmetro (também variando de 0 a 100, valores obtidos nos respectivos gráficos demonstrados na Figura 1, em função de sua concentração); e
- wi: peso do parâmetro (variando entre 0 e 1, em função de sua importância na qualidade).

A partir do cálculo do IQA é possível obter a classificação das águas (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação ambiental de acordo com o IQA

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB, 2023.

Ao analisar uma variedade de parâmetros físicos e químicos este índice pode proporcionar uma compreensão abrangente de impactos ambientais nos corpos d'água e gerar propostas para ações mitigadoras, as quais podem recuperar esses ambientes impactados, trazendo uma melhora em sua qualidade. Por se tratar de uma adaptação de um padrão internacional, essa metodologia pode ser utilizada, ainda, de forma comparativa com análises realizadas em outros países. No entanto, essa metodologia só pode ser utilizada caso as informações dos nove parâmetros estejam disponíveis, sendo inviável caso alguma variável não esteja disponível (CETESB, 2023).

### 5.1.2 Índice do Estado Trófico (IET)

O Índice de Estado Trófico (IET) possui como finalidade classificar a qualidade da água em relação à concentração de nutrientes e o consequente crescimento de algas e macrófitas aquáticas (Santos *et al.*, 2017). Para o cálculo do IET são utilizados dois parâmetros principais: a clorofila e o fósforo total na amostra. Nessa metodologia a transparência não é considerada, visto que esta pode ser alterada pela turbidez causada por minerais. Considerando esses dois elementos, os resultados podem ser expressos como IET(P), quando correspondente ao fósforo, e IET(Cl), quando relacionados à clorofila. No primeiro resultado, o índice se mostra como uma medida do potencial de eutrofização, uma vez que o fósforo atua como causador deste processo. Já no segundo resultado, a clorofila está diretamente relacionada ao crescimento das algas, que, por sua vez, ocorre em resposta à quantidade de fósforo no corpo d'água (CETESB, 2023).

O processo de eutrofização pode ser influenciado diretamente por variações nas condições ambientais, como temperatura ou transparência da água. Assim, o índice relativo à clorofila pode ser inferior ao do fósforo. Para calcular o IET da clorofila e do fósforo são utilizadas as seguintes equações (CETESB, 2023):

Equação 2 e 3 - Cálculo do IET(CL) e IET(P) (CETESB, 2023).

$$IET(CL) = 10 \cdot \left( 6 - \frac{-0,7-0,6 \cdot (\ln CL)}{\ln 2} \right) - 20 \quad (2)$$

$$IET(PT) = 10 \cdot \left( 6 - \frac{0,42-0,36 \cdot (\ln PT)}{\ln 2} \right) - 20 \quad (3)$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ; e

CL: concentração de clorofila medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .

Nas situações onde estiverem disponíveis ambas as variáveis, o IET corresponderá à média aritmética simples entre o IET(CL) e o IET(P). A partir disso, é possível classificar a qualidade do corpo hídrico, feita a partir da coleta de dados ao longo do ano, o que corresponderá ao IET médio anual. Sabe-se que, com as variações ambientais ao longo do ano, o processo de eutrofização também varia. Assim, na primavera, com o aumento da temperatura da água e uma maior disponibilidade de nutrientes, observa-se um incremento no valor do índice, oposto do que ocorre no inverno, devido às temperaturas mais baixas. Caso os dados da clorofila ou do fósforo não estejam disponíveis para o cálculo, deve-se considerar o valor disponível como IET. A partir do cálculo do IET é possível, então, se obter a classificação das águas (Tabelas 1 e Quadro 2) (CETESB, 2023).

Tabela 1 - Classificação do Estado Trófico do ambiente

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>	<b>P-total-P (<math>\text{mg.m}^{-3}</math>)</b>	<b>Clorofila a (<math>\text{mg.m}^{-3}</math>)</b>
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P \leq 13$	$CL \leq 0,74$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$13 < P \leq 35$	$0,74 < CL \leq 1,31$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$35 < P \leq 137$	$1,31 < CL \leq 2,96$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$137 < P \leq 296$	$2,96 < CL \leq 4,70$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$296 < P \leq 640$	$4,70 < CL \leq 7,46$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$640 < P$	$7,46 < CL$

Fonte: CETESB, 2023

Quadro 2 - Classificação do IET a partir das ponderações

<b>Categoria (Estado Trófico)</b>	<b>Ponderação</b>
Ultraoligotrófico	0,5
Oligotrófico	1
Mesotrófico	2
Eutrófico	3
Supereutrófico	4



Hipereutrófico	5
----------------	---

Fonte: CETESB, 2023

O IET mede, portanto, o nível de eutrofização, que se dá a partir da concentração de nutrientes presentes no corpo hídrico. Da mesma forma que ocorre com o IQA, também é possível obter propostas para a mitigação, a fim de intervir frente aos impactos ambientais. Uma questão que dificulta a identificação de impactos ambientais são variações naturais, que resultam na diminuição de nutrientes na água, podendo afetar a identificação de um possível impacto ambiental (Gomes; Paula, 2019).

Essa metodologia pode ser utilizada principalmente em locais com despejo de efluentes domésticos ou agrícolas, substâncias que tendem a aumentar a concentração de nutrientes, responsáveis pela eutrofização (Nogueira *et al.*, 2011). Fatores como esgoto, presença de gado e agricultura afetam a quantidade de matéria orgânica no curso d'água, causando um aumento considerável de algas (Esteves, 1988). Outra causa relacionada a eutrofização é o assoreamento dos rios, no Ceará foi realizada uma pesquisa, pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, a qual apontou uma relação direta do volume de água com o estado de eutrofização. Nesse levantamento, os cursos com volumes de 1,0 e 6700 hm<sup>3</sup> já se mostravam ao menos com uma categoria eutrófica (Gomes; Paula, 2019). Em tais cenários o uso do IET como metodologia de avaliação de um desequilíbrio ambiental, causado pelo crescimento das plantas aquáticas, se mostra eficiente.

### 5.1.3 Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA)

Nesta metodologia de avaliação, as condições de qualidade do corpo hídrico são agrupadas em dois conjuntos distintos. O primeiro grupo contempla variáveis essenciais, dentre as quais estão o oxigênio dissolvido, pH e toxicidade. Para cada uma dessas variáveis é estabelecido um nível de qualidade, sendo numericamente correspondente à Algarismos inteiros de 1 a 3, valores estes que seguem padrões da Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005). O segundo grupo engloba as substâncias tóxicas, elementos químicos como cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, zinco, surfactantes e fenóis. Todas essas substâncias possuem um potencial comum de contaminação, podendo ser extremamente prejudiciais à biota aquática (CETESB, 2023).

A partir disso os corpos hídricos podem ser classificados nos níveis A, B ou C. No nível A, a água possui a qualidade desejada para manter o funcionamento do ecossistema, além de atender aos padrões de qualidade exigidos pelo CONAMA (Ponderação A); no nível B, a

água possui a qualidade almejada para a manutenção do ecossistema, porém podem existir complicações com o passar do tempo (Ponderação B); e no nível C, o corpo hídrico está comprometido e afeta diretamente o ecossistema (Ponderação C) (Tabela 2) (CETESB, 2023).

Tabela 2 - Ponderações e faixas de valores das variáveis do IPMCA

<b>Grupos</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Níveis</b>	<b>Faixa de Variação</b>	<b>Ponderação</b>
Variáveis Essenciais (VE)	OD (mg/L)	A	$\geq 5,0$	A
		B	3,0 a 5,0	B
		C	$< 3,0$	C
	pH	A	6,0 a 9,0	A
		B	5,0 a $< 6,0$ e $> 9,0$ a 9,5	B
		C	$< 5,0$ e $> 9,5$	C
	Toxicidade	A	Não Tóxico	A
		B	Efeito Crônico	B
		C	Efeito Agudo	C
Substâncias Tóxicas (ST)	Cádmio (mg/L)	A	$\leq 0,001$	A
		B	$> 0,001$ a 0,005	B
		C	$> 0,005$	C
	Cromo (mg/L)	A	$\leq 0,05$	A
		B	$> 0,05$ a 1,00	B
		C	$> 1,00$	C
	Cobre dissolvido (mg/L)	A	$= 0,009$	A
		B	$> 0,009$ a 0,05	B
		C	$> 0,05$	C
	Chumbo Total (mg/L)	A	$\leq 0,01$	A
		B	$> 0,01$ a 0,08	B
		C	$> 0,08$	C
	Mercúrio (mg/L)	A	$\leq 0,0002$	A
		B	$> 0,0002$ a 0,001	B
		C	$> 0,001$	C
Níquel (mg/L)	A	$\leq 0,025$	A	
	B	$> 0,025$ a 0,160	B	
	C	$> 0,160$	C	

Fenóis Totais (mg C6H5OH/L)	A	$\leq 1,0$	A
	B	$>1,0$ a $7,5$	B
	C	$>7,5$	C
Surfactantes (mg/L)	A	$\leq 0,5$	A
	B	$> 0,5$ a $1,0$	B
	C	$> 1,0$	C
Zinco (mg/L)	A	$\leq 0,18$	A
	B	$> 0,18$ a $1,00$	B
	C	$> 1,00$	C

Fonte: CETESB, 2023

Para o cálculo do IPMCA, é utilizada a seguinte equação:

$$IPMCA = VE \times ST$$

Equação 4: Cálculo do IPMCA (CETESB, 2023).

Onde:

VE: Valor da maior ponderação do grupo de variáveis essenciais; e

ST: Valor médio das três maiores ponderações do grupo de substâncias tóxicas.

Para o cálculo do ST, deve-se utilizar valores inteiros. Assim, valores terminados em até 0,5 devem ser arredondados para baixo, e valores maiores ou iguais a 0,5 devem ser arredondados para cima (Quadro 3).

Quadro 3 - Classificação do ambiente a partir do IPMCA

Categoria	Ponderação
Boa	1
Regular	2
Ruim	3 e 4
Péssima	$\geq 6$

Fonte: CETESB, 2023

Ao analisar parâmetros físico-químicos é possível obter uma avaliação da qualidade das águas. Ao combinar com a análise de metais pesados, os ambientes aquáticos que tem potencial de receberem dejetos antrópicos, seja através do transporte pelas chuvas ou descarte direto nas águas, são locais propícios para a aplicação dessa metodologia a fim de identificar essas fontes poluentes. Por não utilizar nenhuma variável biológica o uso dessa metodologia com algum outro indicador biológico para a avaliação da qualidade ambiental seria o mais indicado (CETESB, 2023).

### 5.1.4 Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA)

O Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA) avalia a qualidade dos corpos hídricos com o foco na fauna e na flora locais. Ele é baseado na presença e concentração de elementos químicos que podem contaminar a água. Assim, leva em consideração a toxicidade e as variáveis essenciais já mencionadas no IPMCA e no IET, como pH e oxigênio dissolvido. Sua análise é feita baseada nessas duas outras metodologias visando obter informações tanto da toxicidade da água como também do seu estado de eutrofização. Para o cálculo do IVA é necessário cruzar dados do IET juntamente com o IPMCA (Tabela 3), de modo a classificar o IVA (Quadro 4) (CETESB, 2023).

Tabela 3 - Cálculo do IVA integrando o IET e o IPMCA

		IPMCA				
	Ponderação	1	2	3	4	5 a9
<b>IET</b>	0,5	1,7	2,9	4,1	5,3	7,7 – 11,3
	1	2,2	3,4	4,6	5,8	8,2 – 11,8
	2	3,2	4,4	5,6	6,8	9,2 – 12,8
	3	4,2	5,4	6,6	7,8	10,2 – 13,8
	4	5,2	6,4	7,6	8,8	11,2 – 14,8
	5	6,2	7,4	8,6	9,8	12,2 – 15,8

Fonte: CETESB, 2023

Quadro 4 - Classificação do ambiente de acordo com o IVA

Categoria	Ponderação
Ótima	$IVA \leq 2,5$
Boa	$2,6 \leq IVA \leq 3,3$
Regular	$3,4 \leq IVA \leq 4,5$
Ruim	$4,6 \leq IVA \leq 6,7$
Péssima	$6,8 \leq IVA$

Fonte: CETESB, 2023

O IVA apresenta uma diferença em relação às outras metodologias de avaliação até o momento apresentadas. Nessa abordagem são combinados dois outros procedimentos a fim de se obter uma análise mais completa, contemplando tanto parâmetros biológicos quanto

físico-químicos, fornecendo uma visão quanto ao grau de trofia, juntamente ao estado toxicológico do meio (Oliveira, 2017). Assim, o IPMCA complementa os pontos estudados no IET, no entanto, isso implica na necessidade de possuir os dados necessários para o cálculo prévio dessas duas outras metodologias para conseguir aplicar o IVA de maneira correta (CETESB, 2023).

### 5.1.5 Índice da Comunidade Fitoplanctônica (ICF)

Nessa metodologia os parâmetros utilizados são a dominância dos grupos constituintes do fitoplâncton, sua densidade e o IET do corpo hídrico (Cruz, 2004). Essa classificação também separa a qualidade da água em quatro níveis, desde ruim até ótima. Para o cálculo do ICF deve-se realizar a média das ponderações parciais das 3 variáveis: dominância, densidade e IET (Quadro 5) (CETESB, 2023).

Quadro 5 - Classificação do ambiente de acordo com o ICF

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>	<b>Níveis</b>
Ótima	1	Não há dominância entre os grupos Densidade total < 1.000 org/mL $IET \leq 52$
Boa	2	Dominância de Clorofíceas (Desmidiáceas) ou diatomáceas Densidade total > 1.000 e < 5.000 org/mL $52 < IET \leq 59$
Regular	3	Dominância de Clorofíceas (Chlorococcales), Fitoflagelados ou Dinoflagelados Densidade total > 5.000 e < 10.000 org/mL $59 < IET \leq 63$
Ruim	4	Dominância de Cianobactérias ou Euglenofíceas Densidade total > 10.000 org/mL $63 < IET$

Fonte: CETESB, 2023

O ICF, da mesma forma que o IVA, utiliza da análise do IET combinada com um ou mais parâmetros. A utilização do fitoplâncton torna a análise muito sensível a impactos sutis no meio, podendo, assim, identificar problemas ambientais o quanto antes, para poder mitigar tais questões. Como essa metodologia faz uso do IET, esse procedimento só é possível quando todos os dados para o cálculo estão disponíveis e também não considera os nutrientes que podem ser retirados por meio de processos naturais (CETESB, 2023). Da mesma forma como ocorre com o IVA, o ICF é outra metodologia que pode ser aplicada nas áreas com as mesmas problemáticas já citadas.

### 5.1.6 Índice da Comunidade Bentônica (ICB)

O Índice da Comunidade Bentônica (ICB) é uma metodologia de avaliação que se utiliza das comunidades bentônicas para definir o nível de qualidade do corpo hídrico. Organismos bentônicos podem ser definidos como aqueles que habitam o substrato, podendo incluir insetos aquáticos, vermes, moluscos, crustáceos e algas. Estes organismos são ótimos indicadores ambientais, visto que são extremamente sensíveis às mudanças no meio. São utilizadas 6 variáveis para o cálculo do ICB (CETESB, 2023), sendo elas:

- Riqueza (S): métrica utilizada para indicar a soma das categorias taxonômicas obtidas na amostra, sendo excluídas espécies exóticas;
- Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H'): métrica utilizada para avaliar a diversidade biológica do ambiente, baseando-se na abundância e riqueza de espécies desse ambiente (Shannon, 1949);
- Índice de Comparação Sequencial (ICS): métrica utilizada para definir a similaridade da sequência de DNA entre duas amostras, a fim de avaliar o grau de similaridade entre elas (Cairns; Dickson, 1971);
- Razão *Tanytarsini/Chironomini* (Tt/Chi): métrica utilizada para avaliar a razão de duas subfamílias de insetos, *Tanytarsini* e *Chironomini*. A maior presença de *Tanytarsini*, insetos mais sensíveis às mudanças no meio indicam melhor qualidade d'água, enquanto os *Chironomini*, representam insetos mais resistentes à poluição e alterações do meio (EPA/OHIO, 1987);
- Riqueza das taxas sensíveis (Ssens): métrica utilizada para quantificar o número de espécies sensíveis à poluição; e
- Dominância de grupos tolerantes (T/DT): métrica utilizada para quantificar a predominância de organismos tolerantes à poluição.

Durante o cálculo do ICB, apenas um dos índices de diversidade (H' e ICS) deve ser utilizado, de preferência o ICS (Tabela 4) (CETESB, 2023).

Tabela 4- Classificação do ambiente de acordo com o ICB

<b>Categoria</b>	<b>Ponderação</b>	<b>S</b>	<b>ICS</b>	<b>H'</b>	<b>T/DT</b>	<b>Tt/Chi</b>
Ótima	1	$\geq 21$	$> 20,00$	$> 2,50$	$\leq 0,25$	$\geq 3$
Boa	2	14 – 20	$> 9,50 - \leq 20,00$	$> 1,50 - \leq 2,50$	$> 0,25 - < 0,50$	2
Regular	3	6 – 13	$> 3,00 - \leq 9,50$	$> 1,00 - \leq 1,50$	$\geq 0,50 - \leq 0,75$	1
Ruim	4	$\leq 5$	$\leq 3,00$	$\leq 1,00$	$> 0,75$	0
Péssima	5			Azóico		

Utilizando-se organismos vivos, sensíveis a mudanças no meio, esse método consegue verificar possíveis impactos ambientais e realizar medidas mitigatórias com rapidez. Por analisar a zona bentônica, questões que ocorrem às margens podem acabar causando reflexos no fundo dos rios, dificultando assim a identificação do impacto (EMBRAPA, 2008).

### 5.1.7 Índice da Integridade Biótica (IIB)

A integridade biótica pode ser entendida como a capacidade de suportar e manter balanceada, integrada e adaptada uma comunidade de organismos, com uma composição de espécies, diversidade e organização funcional comparáveis àquelas de ambientes naturais de uma região (Angermeier; Karr, 1994). Considerando essa perspectiva, o Índice da Integridade Biótica (IIB) foi proposto de modo a utilizar dados de diversidade e abundância de espécies, além do seu nível de tolerância com relação a possíveis perturbações no meio. Os peixes foram os organismos utilizados como modelo inicial para o desenvolvimento do IIB, mas outras comunidades aquáticas também passaram a ser utilizadas como bioindicadores da integridade biótica, por exemplo os macroinvertebrados.

De acordo com o IIB, os corpos hídricos podem ser classificados em quatro categorias: bom, regular, pobre e muito pobre (Quadro 6) (Fernandes; Volpi; Baumgartner, 2007).

Quadro 6 - Classificação do ambiente de acordo com o IIB

<b>Categoria</b>	<b>Pontuação</b>
Bom	$34 \leq x \leq 45$
Regular	$23 \leq x < 34$
Pobre	$11 \leq x < 23$

Muito Pobre	$9 \leq x < 11$
-------------	-----------------

Fonte: Fernandes; Volpi; Baumgartner, 2007.

Para o cálculo do IIB é feito uma somatória de diversos atributos, os quais têm uma nota atribuída. Essa nota pode ser 5 para situações ideais, 3 para casos regulares e 1 para casos ruins. Para calcular o valor final, utiliza-se a seguinte equação:

$$IIB(a_k) = g_1(a_k) + g_2(a_k) + \dots + g_9(a_k) = x, k = 1, \dots, K$$

Equação 5: Cálculo do IIB (Fernandes; Volpi; Baumgartner, 2007).

Onde:

$a_k$ : é um atributo (riacho ou estação de amostragem);

$k$ : n° de atributos; e

$g_j(a_k)$ : atributo já avaliado em  $a_k$ .

Existem 9 atributos avaliados nessa classificação para realizar o somatório final (Fernandes; Volpi; Baumgartner, 2007), sendo eles:

- **Atributo 1 - Número de espécies ativas:** O número de espécies diferentes é um indicador direto da qualidade do corpo hídrico, esse valor cai com o aumento da degradação do meio, visto que uma menor quantidade de espécies é tolerante a grandes variâncias no ambiente, limitando assim essas variedades específicas;
- **Atributo 2 - Número de espécies bentônicas:** As espécies bentônicas são majoritariamente mais sensíveis a mudanças no meio ambiente por necessitar de condições mais específicas para sua sobrevivência. A má qualidade das águas reflete diretamente nesses organismos;
- **Atributo 3 e 4 - Espécies intolerantes e proporção de espécies tolerantes:** As espécies intolerantes são as primeiras a sentir os efeitos dos impactos ambientais, assim a proporção de espécies tolerantes é maior em locais degradados visto que necessitam de menos para sua sobrevivência.
- **Atributo 5 - Porcentagem de espécies generalistas, onívoras ou invertívoras:** Locais com menos fontes de alimento, acarretam na dominância de espécies generalistas. Nesses ambientes com menos recursos os organismos onívoros e invertívoros, também aumenta;
- **Atributo 6 - Espécies carnívoras:** Essas espécies são um bom parâmetro por indicarem uma comunidade saudável e de boa qualidade. Os impactos no ambiente tendem a causar a diminuição ou desaparecimento dessas espécies;



- **Atributo 7 - Espécies insetívoras:** Os impactos ambientais afetam diretamente o alimento dessas espécies, o que reduz sua presença;

- **Atributo 8 - Número de indivíduos por m<sup>2</sup>:** Em ambientes saudáveis, sem reflexos de degradações ambientais, o número de organismos é muito maior que em áreas impactadas, que tendem a ser dominadas apenas algumas espécies mais resistentes e tolerantes;

- **Atributo 9 - Biomassa por m<sup>2</sup>:** A biomassa acompanha os outros atributos listados, estando diretamente ligada à qualidade do corpo hídrico. Assim, em ambientes com impactos ambientais severos, a biomassa passa a ser mais limitada quando comparada a um ambiente saudável.

Como mencionado ao longo da descrição dos nove atributos, os impactos ambientais afetam as comunidades presentes nos ambientes aquáticos de maneiras diferentes, causando variações na presença e abundância de espécies, o que reflete na diversidade como um todo. Ambientes impactados apresentam variedade e quantidade de espécies reduzidas, permanecendo somente aquelas espécies mais resistentes a mudanças (Vieira; Shibatta, 2007). Para monitoramentos de longo prazo esse procedimento se mostra muito eficaz por apresentar um comparativo das espécies durante um período maior de tempo, sendo possível observar diferenças nas populações (Fernandes; Volpi; Baumgartner, 2007).

Importante destacar que tanto peixes (Lima *et al.*, 2015) como macroinvertebrados (Callisto; Moretti; Goulart, 2001) podem absorver e transferir substâncias tóxicas, desempenhando papéis de bioacumulação - quando acumulam uma substância através do meio circundante ou de seu alimento - ou de biomagnificação - quando transferem uma substância química de um nível trófico inferior para um superior.

No rio Paraíba do Sul foi utilizada essa metodologia a fim de avaliar o ecossistema. Nesta área existem diversos impactos, como indústrias de grande porte e barragens, que afetam diretamente as comunidades de peixes. Esse estudo mostra como o IIB pode ser utilizado em áreas muito afetadas por ações antrópicas e destaca a importância da sua utilização ser combinada com outros indicadores (Araújo, 1998).

### 5.1.8 Presença de compostos mutagênicos

A qualidade dos corpos hídricos pode ser medida através da presença de compostos mutagênicos. Tais compostos podem ser originados de fontes fixas como resíduos industriais,

agrícolas ou outras fontes urbanas, as quais podem ser carregadas pelas chuvas (Sá, 2006). A presença dessas substâncias pode representar um risco para todo o ecossistema aquático e também para a saúde humana. Essa metodologia, também conhecida como Teste de Ames, observa o número de bactérias *Salmonella typhimurium* presentes por litro de amostra. A bactéria é exposta ao mutagênico em questão e qualquer reversão de mutações que ocorra é detectada pela *Salmonella typhimurium* devido sua capacidade de crescer em um meio seletivo. A partir disso é classificada a mutagenicidade da amostra (Quadro 7) (CETESB, 2023).

Quadro 7 - Classificação da Mutagenicidade das Águas

Categoria	Ponderação
Baixa	< 500 rev/L
Moderada	500 – 2500 rev/L
Alta	2500 – 5000 rev/L
Extrema	> 5000 rev/L

Fonte: CETESB, 2023.

Ao classificar a mutagenicidade dessa maneira, não é possível identificar a origem dos poluentes, uma vez que a bactéria apenas identifica a presença do mutagênico. Mesmo não sendo capaz de identificar a origem desses poluentes, essa metodologia é eficaz para áreas muito poluídas (Sá, 2006). Outro fator que dificulta esse processo é o alto custo das análises quando comparadas a outras formas de avaliação (CETESB, 2023).

### 5.1.9 Avaliação da Qualidade dos Sedimentos

Essa metodologia leva em consideração a avaliação do sedimento a partir de uma classificação de sua Contaminação Química, da Comunidade Bentônica e da Ecotoxicidade.

Com relação à contaminação química, a qualidade está atrelada a dois parâmetros estabelecidos pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment*: o TEL (*Threshold Effect Limit*, em uma tradução livre - Limiar de Efeito Limite) e o PEL (*Probable Effect Limit* - Provável Efeito Limite) (Macdonald *et al.*, 1996). O primeiro indicador se caracteriza como a concentração abaixo da qual raramente é esperado efeito biológico adverso, enquanto o PEL representa o oposto, concentrações acima da mesma base. Para a classificação da qualidade baseando-se nas substâncias químicas, no PEL e no TEL, obtêm-se 5 categorias - ótima, boa, regular, ruim e péssima - onde o valor de TEL classifica o corpo hídrico de ótima a boa qualidade; enquanto o PEL classifica-o como e ruim (CETESB, 2023). A caracterização da comunidade bentônica se dá pelo uso do ICB - Índice de comunidade bentônica, já descrito no

item 5.1.6, que faz uso de 5 classes de qualidade - ótima, boa, regular, ruim e péssima. A ecotoxicidade é avaliada em quatro classes de qualidade de acordo com os tipos e intensidades de efeitos observados em ensaios realizados com o anfípoda *Hyalella azteca* e com a larva de inseto *Chironomus sancticaroli* (Diptera).

Outras linhas de evidência podem complementar esse diagnóstico: o ensaio de mutagenicidade (Teste de Ames, já descrito no item 5.1.8), o teste de Toxicidade Aguda (Microtox®, que utiliza uma bactéria luminescente para indicar o nível de poluentes na amostra), a concentração de Fósforo total, que avalia a extensão do grau de eutrofização dos corpos hídricos, e as análises microbiológicas de *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens*. A concentração de fósforo na amostra possibilita avaliar os nutrientes e o estado de eutrofização do corpo hídrico. A presença de Coliformes e *Clostridium perfringens* (CETESB, 2023) indica que a água teve contato com esgoto ou matéria fecal (Silva *et al.*, 2015).

A Tabela 5 e a Figura 2 mostram as linhas de análise para a classificação da qualidade de sedimentos (CETESB, 2023).

Tabela 5 - Classificação da qualidade em relação aos sedimentos

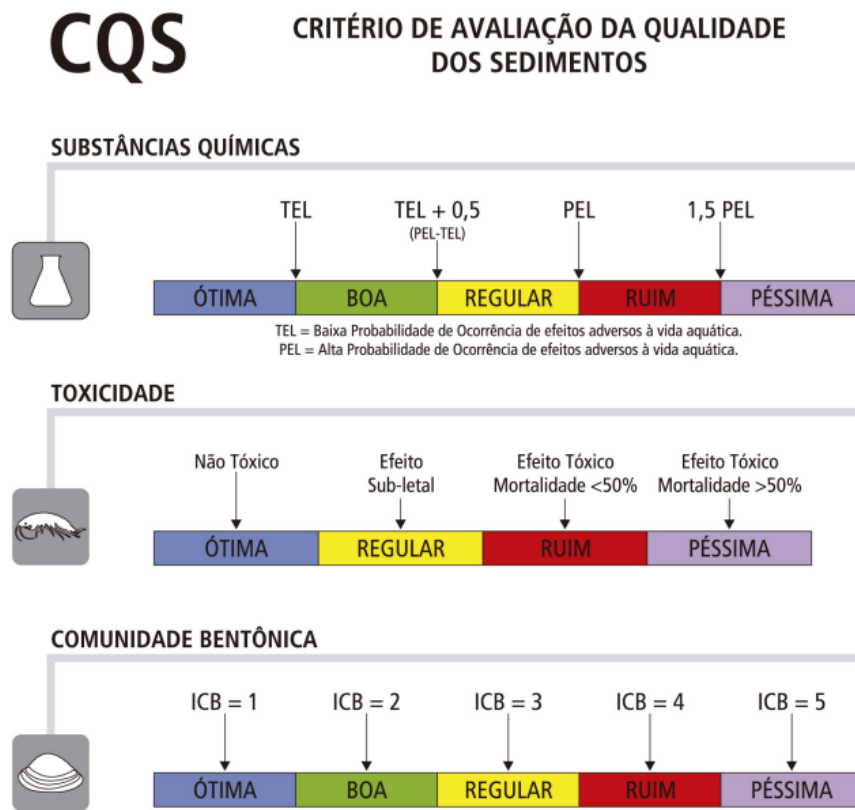
Linha	Ótima	Boa	Regular	Ruim	Péssima
<b>Substâncias Químicas</b>	Todos contaminantes em concentração inferior a TEL	O pior contaminante com concentração acima de TEL, mas inferior a 50% da distância entre TEL e PEL	O pior contaminante com concentração acima de TEL superior a 50% da distância entre TEL e PEL, mas inferior a PEL	O pior contaminante com valor entre PEL e até 1,5 PEL	O pior contaminante com valor superando 1,5 PEL
<b>Comunidade Bentônica (ICB)</b>	ICB = 1	ICB = 2	ICB = 3	ICB = 4	ICB = 5
<b>Ecotoxicidade de <i>Hyalella azteca</i></b>	Não Tóxico		Efeito subletal, redução no crescimento	Efeito agudo, mortalidade e <50%	Efeito agudo, mortalidade $\geq 50\%$
<b>Mutagenicidade (Teste de Ames)</b>	Não detectado	< 50 rev/g	>50 até 500 rev/g	>500 até 5.000 rev/g	>5.000 rev/g
<b>Toxicidade Aguda (<i>Vibrio fischeri</i>)</b>	Não tóxica CE20 > 81,9%		Moderadamente tóxica 50% < CE20 $\leq 81,9\%$	Tóxica 25 < CE20 $\leq 50\%$	Muito tóxica CE20 $\leq 25\%$
<b>Frequência de</b>	$\leq 2\%$		2,1 a 6 %	< 6 %	

deformidade  
no mento  
(*Chironomus*  
)

<b>Fósforo (mg/kg)</b>		< 750		>750 até 1.500	>1.500
<b><i>E. coli</i> (NMP/100g)</b>	$\leq 10^3$	>10 <sup>3</sup> até 10 <sup>4</sup>	>10 <sup>4</sup> até 10 <sup>5</sup>	>10 <sup>5</sup> até 10 <sup>6</sup>	>10 <sup>6</sup>
<b><i>Clostridium perfringens</i> (NMP/100g)</b>		< 10 <sup>5</sup>	$\geq 10^5$ e < 10 <sup>6</sup>	$\geq 10^6$ e <10 <sup>7</sup>	$\geq 10^7$

Fonte: CETESB, 2023

Figura 2 - Linhas de avaliação da qualidade dos sedimentos



Fonte: CETESB, 2023.

A análise de sedimentos se mostra como uma das metodologias mais completas por utilizar vários testes, comuns a outras metodologias. A qualidade dos sedimentos está diretamente ligada a qualidade do curso d'água e conseqüentemente a um ambiente livre de impactos ambientais. Com esta análise é possível identificar metais pesados ou outras substâncias prejudiciais, sendo possível a elaboração de um protocolo de mitigação para tal problemática. Ao contrário das primeiras metodologias, devido a grande quantidade de análises e avaliações, esta metodologia se mostra bastante complexa, sendo necessários profissionais e equipamentos qualificados para sua aplicação (CETESB, 2023).

### **5.1.10 Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR)**

O Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) se baseia em uma lista que avalia os seguintes aspectos físicos: substrato, qualidade dos remansos, fluxo do corpo hídrico, corredeiras, margem, canal do rio, existência ou não de mata ciliar, junto da proteção oferecida por esta e outras coberturas vegetais (Callisto *et al.*, 2002), atribuindo uma pontuação para cada item. O valor final é obtido a partir da somatória dos valores atribuídos a cada parâmetro independentemente. As pontuações refletirão as condições ambientais do trecho em questão: de 0 a 40 pontos correspondem a trechos “impactados”, de 41 a 60 pontos a trechos “alterados” e acima de 61 pontos a trechos “naturais”.

Ao contrário das demais metodologias que necessitam de análises laboratoriais, o PAR pode ser aplicado por qualquer profissional previamente treinado, somado ainda ao baixo custo. A maior crítica a esse método é que a análise é apenas visual, o que pode não fornecer os detalhes necessários para um diagnóstico mais preciso (Bizzo *et al.*, 2014).

## **5.2 Comparativo das metodologias de avaliação apresentadas**

A partir das metodologias de avaliação de qualidade ambiental apresentadas anteriormente foi possível estabelecer comparações e reunir suas vantagens e dificuldades (Quadro 8).

Quadro 8 - Vantagens e dificuldades das metodologias de avaliação de qualidade ambiental.

Metodologias	Vantagens	Dificuldades
<p align="center"><b>Índice de Qualidade das Águas (IQA)</b></p>	<p>Utiliza 9 parâmetros a fim de indicar a qualidade da água: Coliformes fecais, pH, Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), Nitrogênio total, Fósforo total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio dissolvido (OD).</p> <p>Possibilidade de realizar um monitoramento contínuo de longo prazo, isso pode possibilitar a detecção precoce de mudanças nas condições do ecossistema aquático.</p> <p>Pode ser utilizado como método comparativo entre cursos d'água diferentes, podendo até mesmo ser utilizada para comparar análises realizadas em países diferentes, já que se baseia em um padrão internacional.</p>	<p>São necessários os 9 parâmetros para que a análise possa ser realizada.</p> <p>Em ambientes com diversas fontes poluentes, considerar todas essas origens se torna um desafio.</p> <p>É necessário usá-lo em conjunto com outras metodologias de avaliação e considerar suas limitações para obter uma compreensão mais completa e precisa da qualidade ambiental do ecossistema aquático e dos fatores que o influenciam.</p>
<p align="center"><b>Índice do Estado Trófico (IET)</b></p>	<p>Tal metodologia é a principal para avaliar o estado de eutrofização do corpo hídrico, analisando a concentração de nutrientes.</p> <p>Pode ser utilizado como método comparativo entre cursos d'água diferentes.</p> <p>Possibilidade de detectar futuros impactos ambientais mais severos conforme o aumento de algas prejudiciais ou mudança na biodiversidade do local.</p> <p>Por analisar as algas, utiliza de bioindicadores para realizar o estudo, sendo influenciado por uma</p>	<p>O foco desta metodologia está na avaliação de nutrientes, sendo um pouco limitado, já que não analisa outros fatores que podem ter influência na qualidade ambiental do ecossistema aquático.</p> <p>A metodologia não considera a retirada dos nutrientes da água em processos tanto naturais quanto antrópicos, o que pode influenciar o resultado.</p> <p>A eutrofização pode ser influenciada por variações nas condições ambientais como temperatura ou transparência d'água, podendo alterar os resultados.</p>

	possível redução da diversidade e número de indivíduos, reflexos de impactos ambientais.	Utilizando apenas o IET não é possível identificar a origem dos nutrientes, sendo necessário usá-lo em conjunto com outras informações e considerar suas limitações para obter uma compreensão mais completa e precisa da qualidade do ecossistema aquático e dos fatores que o influenciam. É necessário usá-lo em conjunto com outras metodologias de avaliação e considerar suas limitações para obter uma compreensão mais completa e precisa da qualidade ambiental do ecossistema aquático e dos fatores que o influenciam.
<b>Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA)</b>	Contempla características essenciais da água, juntamente a sua toxicidade, analisando diversos compostos químicos. Ao utilizar parâmetros físico-químicos consegue uma avaliação mais precisa da qualidade ambiental do ecossistema.	Considera apenas parâmetros físico-químicos para a análise, desconsiderando a biodiversidade do meio. É necessário usá-lo em conjunto com outras metodologias de avaliação e considerar suas limitações para obter uma compreensão mais completa e precisa da qualidade ambiental do ecossistema aquático e dos fatores que o influenciam.
<b>Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA)</b>	Utiliza de duas metodologias combinadas, o IET juntamente do IPMCA.  Analisa a fauna e a flora juntamente com parâmetros físico-químicos, para obter informações mais completas sobre possíveis impactos e a qualidade ambiental do ecossistema.	Necessidade do levantamento de dados prévios do IET e do IPMCA.  Por utilizar o IET, também não considera a retirada dos nutrientes da água em processos naturais ou antrópicos. É necessário usá-lo em conjunto com outras metodologias de avaliação e considerar suas limitações para obter uma compreensão mais completa e precisa da qualidade ambiental do ecossistema aquático e dos fatores que o influenciam.
<b>Índice da Comunidade Fitoplanctônica (ICF)</b>	Essa metodologia utiliza da análise dos fitoplânctons e da densidade, juntamente do IET para realizar um diagnóstico mais amplo.  É muito sensível a possíveis variações ambientais, que causem impactos sutis no curso d'água.	Necessidade de possuir o levantamento de dados prévios do IET.  Por utilizar o IET, também não considera a retirada dos nutrientes da água em processos tanto naturais quanto antrópicos.

		<p>Não considera outros organismos aquáticos que não a comunidade fitoplancônica.</p> <p>É necessário usá-lo em conjunto com outras metodologias de avaliação e considerar suas limitações para obter uma compreensão mais completa e precisa da qualidade ambiental do ecossistema aquático e dos fatores que o influenciam.</p>
<p><b>Índice da Comunidade Bentônica (ICB)</b></p>	<p>O principal ponto de avaliação é a qualidade do fundo dos rios juntamente com a água em si, focando na zona bentônica ao contrário de outras metodologias que verificam apenas a qualidade ambiental do ecossistema.</p> <p>Por analisar organismos vivos, essa metodologia é muito sensível a alterações e/ou impactos, as quais afetam a qualidade ambiental do ecossistema.</p> <p>Utiliza-se da comunidade como um todo do ponto de coleta, não considerando apenas uma espécie, oferecendo uma visão mais completa sobre a condição ecológica e qualidade ambiental do ecossistema do local.</p>	<p>É necessário utilizar um grupo de avaliação por vez, sendo importante a classificação correta deste a fim de não mesclar grupos distintos.</p> <p>Necessidade da classificação correta das espécies utilizadas, além do grupo correto para o ambiente de estudo.</p> <p>Não analisa parâmetros físico-químicos.</p> <p>É necessário usá-lo em conjunto com outras metodologias de avaliação e considerar suas limitações para obter uma compreensão mais completa e precisa da qualidade ambiental do ecossistema aquático e dos fatores que o influenciam.</p>
<p><b>Índice da Integridade Biótica (IIB)</b></p>	<p>Utiliza 9 atributos de análise com os organismos de estudo.</p> <p>Esse índice considera a comunidade biológica como um todo, podendo utilizar diversos organismos como indicadores da qualidade ambiental do ecossistema. Por utilizar organismos vivos, é um indicador muito sensível a possíveis impactos ambientais.</p> <p>Ao utilizar diferentes organismos, a reação desses grupos diversos é distinta entre si, oferecendo uma</p>	<p>Não analisa parâmetros físico-químicos.</p> <p>Por necessitar de parâmetros biológicos, como a diversidade e abundância de espécies para sua análise, é dependente da disponibilidade desses dados.</p> <p>Em alguns casos a sensibilidade dos organismos pode ser reflexo de alterações naturais, podendo ser confundidas com reações referentes a impactos ambientais.</p> <p>É necessário usá-lo em conjunto com outras metodologias de avaliação e considerar suas limitações para obter uma</p>



	<p>visão mais ampla sobre os resultados dos impactos ambientais no ambiente de coleta.</p> <p>Pode ser utilizado em monitoramentos a longo prazo, assim é possível comparar as populações em um intervalo de tempo considerável.</p> <p>Baixo custo para realizar as coletas, além disso suas análises são simples, quando comparado com outras técnicas.</p> <p>É possível analisar diversos organismos como peixes, algas, aves aquáticas, macroinvertebrados a depender do local de estudo a fim de obter os indicadores mais apropriados ao local.</p> <p>Pode analisar as toxinas armazenadas pelos organismos bioacumuladores, aqueles que retêm as toxinas do meio ambiente ou de seu alimento, ou de organismos biomagnificadores, aqueles que transferem as toxinas de um nível trófico inferior para um superior.</p>	<p>compreensão mais completa e precisa da qualidade ambiental do ecossistema aquático e dos fatores que o influenciam.</p>
<p><b>Classificação da Mutagenicidade das Águas</b></p>	<p>Possibilita identificar possíveis poluentes emergentes, ou seja, substâncias químicas que podem não ser rotineiramente monitoradas, mas que têm potencial de impactar negativamente a saúde humana e ambiental.</p> <p>A classificação da mutagenicidade pode ser utilizada para monitorar a eficácia de medidas de controle implementadas para reduzir a presença de</p>	<p>A classificação da mutagenicidade não identifica quais fontes de poluentes são responsáveis pelos efeitos observados. Alto custo para realizar as coletas e as análises quando comparado com outras técnicas.</p> <p>Não analisa parâmetros físico-químicos ou biológicos. É necessário usá-lo em conjunto com outras metodologias de avaliação e considerar suas limitações para obter uma compreensão mais completa e precisa da qualidade ambiental do ecossistema aquático e dos fatores que o influenciam.</p>

	substâncias mutagênicas na água, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos.	
<b>Avaliação da Qualidade dos Sedimentos</b>	<p>Os sedimentos muitas vezes acumulam metais pesados, e a avaliação da qualidade dos sedimentos pode ser crucial para monitorar a presença desses elementos tóxicos e avaliar seus riscos ambientais.</p> <p>A análise dos sedimentos pode contribuir com a identificação de fontes específicas de poluição.</p> <p>A qualidade dos sedimentos está intrinsecamente ligada à saúde dos ecossistemas aquáticos, assim a avaliação dos sedimentos pode oferecer uma compreensão sobre a saúde desses ecossistemas.</p> <p>Faz a união de diversas metodologias de avaliação para o cálculo final, oferecendo uma visão ampla analisando parâmetros químicos e biológicos.</p>	<p>Necessidade de diversos testes e avaliações para obter o resultado final. Causando uma complexidade na interpretação dos resultados.</p> <p>Dificuldade da coleta dos sedimentos em alguns pontos de difícil acesso.</p> <p>Alto custo para realizar todos os testes e avaliações necessárias, além da necessidade de profissionais capacitados e de equipamento adequado.</p>
<b>Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR)</b>	<p>A principal vantagem dessa metodologia é sua eficiência e rapidez, podendo ser realizada sem muitas dificuldades e equipamentos específicos, apenas com a observação visual de um profissional treinado.</p> <p>Baixo custo para realizar as análises quando comparado com outras técnicas.</p> <p>Possibilidade de ser adaptada para diferentes contextos e ecossistemas.</p>	<p>Muitas vezes o resultado obtido é muito simplificado, podendo trazer uma falta de detalhes necessários para a avaliação de impactos ambientais no ambiente de estudo.</p> <p>Necessidade de atualizações para garantir suas informações, sem que fique obsoleto, sendo necessárias novas análises, de maneira mais frequente que outras metodologias, por se basear apenas no aspecto visual.</p> <p>É necessário usá-lo em conjunto com outras metodologias de avaliação e considerar suas limitações para obter uma compreensão mais completa e precisa da qualidade ambiental do ecossistema aquático e dos fatores que o influenciam.</p>

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento das metodologias de avaliação de qualidade ambiental mostrou que uma série de parâmetros podem ser utilizados. Todas as metodologias listadas apresentam pontos positivos e dificuldades na aplicação e/ou interpretação dos resultados, ressaltando a complexidade de se fazer esse tipo de avaliação. Ficou claro que muitas vezes há necessidade de se combinar metodologias de modo a acessar não só os aspectos químicos e físicos, mas também os biológicos, visto que a saúde de um dado ecossistema é dada pelo conjunto desses aspectos.

Como cada vez é maior a preocupação com o efeito das alterações antrópicas sobre os sistemas aquáticos continentais e sua biota associada compreender as metodologias disponíveis e suas formas de aplicação se faz necessário para que avaliações possam ser conduzidas e medidas mitigatórias possam ser propostas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Qualidade da Água**. 2023 Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/qualidade-da-agua>. Acesso em: setembro de 2023.
- ANGERMEIER, P. L.; KARR, J. R. Biological Integrity versus Biological Diversity as Policy Directives. **BioScience**, v. 44, n. 10, p. 690–697, 1994.
- ARAÚJO, F. G. Adaptação do índice de integridade biótica usando a comunidade de peixes para o rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Biologia**, [S.L.], v. 58, n. 4, p. 547-558, nov. 1998.
- BIZZO, M. R. O.; MENEZES, J.; ANDRADE, S. F. Protocolos de avaliação rápida de rios (PAR). **Caderno de Estudos Geoambientais - CADEGEO**, v. 4, n. 1, p. 5-13, 2014.
- BOON, P. J. Essential elements in the case for river conservation. In: BOON, P. J ; CALOW, P.; PETTS, G. E. (Ed.). **River Conservation and Management**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1992. p. 11–33. (Bizzo; Menezes; Andrade, 2014
- BOTELHO, R.G.M. **Planejamento Ambiental em microbacia**. In. GUERRA, A.T. SILVA, A.S., BOTELHO, R.G.M. (org.) Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 269-293.
- BRASIL. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a Avaliação de Impacto Ambiental. Diário Oficial da União, Brasília, 17 de fevereiro de 1986. Seção 1, p.2548-2549.
- BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.
- BREJÃO, G. L.; LEAL, C.G.; GERHARD, P. A ecologia de peixes de riachos sob a perspectiva da ecologia de paisagens. **Oecologia Australis**, v. 25, n. 2, p. 475-493, 2021.
- BUSS, D. F., BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, p. 465-473, 2003.
- BUSS, D. F.; OLIVEIRA, R. B; BAPTISTA, D. F. Monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos continentais. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 339-345, 2008.
- CAIRNS, J. R., J.; DICKSON, K. L. A simple method for biological assesment on the effects of the most discharges on aquatic bottom - dwelling organisms. **J. Water Pollut. Control Fed.**, v. 43, n. 5, p. 755-762, maio de 1971.

CALLISTO, M.; GONCALVES, J. A vida nas águas das montanhas. **Ciência Hoje**, v. 31, n. 182, p. 68 – 71. 2002.

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. Macroinvertebrados Bentônicos como Ferramenta para Avaliar a Saúde de Riachos. **Rbrh - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 6, n. 1, p. 71-82, jan. 2001.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOULART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002

CETESB. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 21 out. 2023.

CRUZ, U. R. F. da. **Caracterização da comunidade fitoplanctônica no trecho final dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, Aracruz-ES**. 2004. 72 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

EMBRAPA. **Organismos Bentônicos: Biomonitoramento de Qualidade de Águas**. Jaguariúna: Alexandre Rita da Conceição, 2008. 92 p

EPA/OHIO. **Biological criteria for the protection of aquatic life**: Volume II: User's manual for biological field assessment of Ohio surface waters. Surface Water Section, Division of Water Quality Monitoring and assessment, Columbus. 1987.

ESTEVEES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 548p. 1988.

FERNANDES, C.; VOLPI, N. M. P.; BAUMGARTNER, G. Comparação entre o índice de integridade biótica e um método de multicritério, para análise da qualidade ambiental de três riachos tributários ao reservatório de Itaipu. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 2, n. 2, p. 175-195, ago. 2007.

FRAGOSO-JÚNIOR, C. R., FERREIRA, T. F.; MARQUES, D. M. **Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

GOMES, F. B. M.; PAULA, D. P. de. Determinação e avaliação do índice de estado trófico (iet) em rio urbano localizado no estado do Ceará, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (Rcgs)**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 730-744, 30 set. 2019.

JUNK, W.; BAYLEY, P.; SPARKS, R. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. Can. Spec. Public Fish. Aquat. Sci. **Anais...set**. 1989.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995.

LIMA, D. P. de; SANTOS, C.; SILVA, R. de S.; YOSHIOKA, E. T.O.; BEZERRA, R. M. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 45, n. 4, p. 405-414, dez. 2015.

MACDONALD, D. D.; CARR, R. S.; CALDER, F. D.; LONG, E. R.; INGERSOLL, C. G. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. **Coastal Sediment Quality Guidelines**, Columbia, v. 1, n. 5, p. 253-278, maio 1996.

MARQUES, S. M.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Algas como bioindicadores da qualidade da água. **Revista Científica Anap Brasil**, [S.L.], v. 10, n. 19, p. 76-88, 17 dez. 2017. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista.

NOGUEIRA, P. F.; CABRAL, J. B. P.; WACHHOLZ, F.; CORDEIRO, S. F. O. **Análise espacial e avaliação do estado trófico do lago da UHE Caçu-GO**. Caçu: S.I., 2011.

OLIVEIRA, A. R. M. de. **Desenvolvimento de índices de qualidade da água com número reduzido de parâmetros**. 2017. 129 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

OLIVEIRA, L. C. DE; PEREIRA, R.; VIEIRA, J. R. G. **Análise da degradação ambiental da mata ciliar em um trecho do rio Maxaranguape**, RN: Uma contribuição à gestão dos recursos hídricos do Rio Grande do Norte - Brasil. *Holos Environment*, v.5, p.49-66, 2011.

PAYNE, A. I. The ecology of tropical lakes and rivers. **John Wiley & Sons** (1ª ed.). New York, p. 301. 1986.

SÁ, M. U. de. **Avaliação da Mutagenicidade das Águas do Canal São Gonçalo, Pelotas, RS, 2005**. 2006. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

SANTOS, R. C. L.; LIMA, Á. S.; CAVALCANTI, E. B.; MELO, C. M. de; MARQUES, M. N. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 33-46, 3 ago. 2017.

SILVA, M. C. de A.; MONTEGGIA, L. O.; MIRANDA, L. A. S.; THEWES, M. R. Avaliação da viabilidade de utilização de colifagos como indicadores de poluição fecal: suas relações com parâmetros físicos e químicos e indicadores bacterianos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 645-652, dez. 2015.

SILVA, N. T. de C. **Macroinvertebrados bentônicos em áreas com diferentes graus de preservação ambiental na Bacia Ribeirão Mestre d'Armas, DF**. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SHANNON, C.E.; WIENER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1949.

SMITH, W.S.; PETRERE, M. Jr. Caracterização limnológica da bacia de drenagem do rio Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 12, p. 15-27. 2000.

VANNOTE, R. L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R., CUSHING, C.E. **The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, p. 130-137, 1980.

VIEIRA, D. B.; SHIBATTA, O. A. Peixes como indicadores da qualidade ambiental do ribeirão Esperança, município de Londrina, Paraná, Brasil. **Biota Neotropica**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 57-65, 2007.

WARD, J.V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 8, p. 2-8, 1989.