

# OS MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO BIOINDICADORES PARA AVALIAR A QUALIDADE AMBIENTAL DA ÁGUA

BARBIERE, Flávio César<sup>1</sup>  
256068

## RESUMO

O uso do biomonitoramento vem sendo cada vez mais considerado como um método complementar em análise da qualidade ambiental da água. O presente trabalho tem como objetivo apresentar conceitos sobre as espécies bioindicadoras, em especial os macroinvertebrados bentônicos, espécie esta, utilizada como bioindicadores ambientais na avaliação da qualidade da água, sendo considerado um importante instrumento e ferramenta de monitoramento ambiental. Pode ser considerado como um método bem simples, rápido e de baixo custo. Possuem facilidade de manuseio e de aplicação, são espécies facilmente visíveis a olho nu e de rápida identificação, além de serem amplamente reconhecidos pela comunidade científica. Podem ser espécies ou um grupo de espécies ou até uma comunidade biológica, tendo suas funções naturais e se relacionam com diversos fatores ambientais. A metodologia utilizada para a elaboração do presente estudo foi a pesquisa bibliográfica. Ao analisar os macroinvertebrados bentônicos, podemos considerar que são um importante aliado no ambiente aquático ao indicar impactos ambientais por contaminação, também respondem facilmente ao estresse hidráulico, orgânicos e químicos no ambiente aquático. Ainda fornecem informações e sinais rápidos sobre as alterações no meio ambiente, mesmo antes que o homem percebe, além de uma maior confiabilidade na elaboração de laudos técnicos.

**Palavras-chave:** Bioindicadores. Biomonitoramento. Macroinvertebrados Bentônicos.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico nos últimos anos pode ser considerado o responsável pelo aumento da pressão industrial e do agronegócio sobre os recursos naturais e sobre os principais ecossistemas existentes.

O meio ambiente está constantemente sofrendo pressão de todas as direções, com a exploração dos recursos naturais, expansão dos centros urbanos sem planejamento sobre as florestas e matas nativas, emissão de substâncias nocivas na água, geração de resíduos, rejeitos e efluentes que prejudicam a qualidade de vidas dos seres vivos em geral, além de sérios danos ao meio ambiente e ao equilíbrio ecológico.

Esta pesquisa de revisão bibliográfica tem por objetivo apresentar conceitos sobre a utilização de bioindicadores, em específico a utilização dos macroinvertebrados bentônico, como uma ferramenta auxiliar para avaliar a qualidade ambiental da água, com baixo custo e maior confiabilidade na elaboração de laudos técnicos.

Embora a conscientização ambiental no setor produtivo esteja crescendo a cada dia, com adoção de tecnologias mais limpas e menos impactante, ainda existem muitos problemas no setor que precisa ser melhorado e aperfeiçoado, principalmente no setor primário, com a extração de matéria-prima como minérios e petróleo, além da diminuição da oferta de recursos naturais.

O capítulo dois descreve os danos ambientais em relação às alterações e à poluição nos ambientes aquáticos.

O aumento da população mundial e a necessidade de produção de alimentos também provocam cada vez mais pressão na produção agrícola, e com isso o aumento na utilização de produtos químicos e o consumo de água.

A contaminação da água e a degradação deste ambiente, é descrito no capítulo três. Ainda nesse capítulo destaca-se a poluição da água, com os tipos e os principais processos poluidores e sua fonte de poluição.

Por outro lado, a legislação ambiental tem se tornado mais rígida com a exploração dos recursos naturais e com a preservação e manutenção dos ecossistemas, tornando-se uma grande aliada do meio ambiente.

Aliados a isto, podemos utilizar diversas ferramentas e tecnologias para avaliar a preservação dos ecossistemas locais, como por exemplo, a utilização de

bioindicadores como uma ferramenta barata e eficiente na avaliação dos impactos provocados pela ação humana ao ambiente.

O capítulo quatro do presente trabalho descreve os bioindicadores ambientais, bem como, seus tipos e as suas funções, também descreve o biomonitoramento com suas características e vantagens de utilização.

Os bioindicadores podem ser considerados uma importante ferramenta, pois o monitoramento de organismos em seu habitat pode identificar fatores que provocam alterações ou danos prejudiciais ao ambiente equilibrado ecologicamente.

Os macroinvertebrados bentônicos estão descritos no capítulo cinco, com destaque para os principais tipos utilizados para avaliar a qualidade do ambiente aquático.

O capítulo seis apresenta um modelo de indicadores de biomonitoramento utilizado pela CETESB para monitorar a qualidade das águas no estado de São Paulo, com destaque para o uso de comunidades bentônicas.

Finalizando o capítulo sete apresenta a metodologia utilizada para a realização deste trabalho, definida como pesquisa bibliográfica, com pesquisas em acervos de bibliotecas, banco de dados e sites de periódicos científicos, utilizando livros, teses, dissertações e artigos científicos.

## 1.1. JUSTIFICATIVA

A utilização de espécies bioindicadoras em especial os macroinvertebrados bentônicos, pode ser considerada como um método bem simples, rápido e de baixo custo, pois eles fornecem informações e sinais rápidos sobre alterações no meio ambiente, antes mesmo que o homem perceba. Também nos permite identificar causas e os efeitos decorrentes de agentes agressores. Com eles podemos avaliar se as ações mitigadoras utilizadas para solucionar problemas estão gerando resultados positivos.

## 1.2. OBJETIVOS

Apresentar conceitos sobre os problemas ambientais que afetam os ambientes aquáticos, sobre o uso dos bioindicadores e as espécies bioindicadoras, conhecer os macroinvertebrados bentônicos como sendo os principais bioindicadores utilizados

para avaliar a qualidade ambiental da água e suas aplicações e apresentar indicadores de biomonitoramento.

## **2 DANO AMBIENTAL**

As alterações nos ambientes aquáticos podem ocorrer de diversas maneiras e provocarem sérios danos as comunidades existentes no local, causado por qualquer ação humana (sendo culposa ou não) ao meio ambiente.

Para definir um dano, no entendimento de Cunha; Guerra (1999, p.173), os estudos sanitários consideram qualquer alteração na comunidade biótica de um ambiente como denunciadora de poluição e, provavelmente, toda espécie animal ou vegetal, surgida no meio após esta alteração, seria tratada como indicadora de poluição.

Ainda segundo Cunha; Guerra (1999, p.179):

Do ponto de vista científico, a poluição ambiente é mais caracterizada pela impureza introduzida, em um determinado momento, do que o ato de lançamento desta ao meio. Neste contexto, poluição é o resultado indesejável das ações de transformação das características naturais de um ambiente, atribuindo um caráter nocivo a qualquer utilização que se faça do mesmo.

Em todo o processo histórico da evolução humana, de algum modo, o homem passou a utilizar os recursos ambientais para adequar seu estilo de vida, causando direta ou indiretamente um dano ambiental, por isso se torna necessário avaliar o impacto da ação humana no meio ambiente para definir pela ocorrência ou não de um dano.

## **3 CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA**

Um dos maiores problemas enfrentado atualmente pela humanidade é com relação a contaminação das águas. Sendo um bem essencial para existência e a manutenção da vida no planeta, os recursos hídricos estão cada vez mais sendo degradados, isso enfraquece e destrói os ecossistemas naturais, ocasionando sérios danos à saúde humana e a biodiversidade, além de impactar na produção de alimentos.

Segundo a Agência Nacional das Águas – ANA (2013, p.17) *apud* Revenga *et al.* (2000), os ecossistemas de água doce estão entre os mais degradados do planeta,

tendo sofrido perdas proporcionalmente maiores de espécies e de *habitat* que quaisquer outros ecossistemas terrestres ou marinhos.

Para Almeida; *et al.* (2019, p.1), a degradação dos recursos hídricos tornou-se motivo de preocupação nas últimas décadas, impondo ao ser humano desafios em relação à escassez de água, poluição e degradação ambiental dos ecossistemas aquáticos.

A propósito (DANZE; VERCELLINO, 2018, p.101 *apud* SOUZA, 2012):

Com relação à poluição dos ambientes aquáticos, sabe-se que o homem usufrui de forma inconsequente do recurso trazendo consequências significantes já que as atividades antrópicas alteram a dinâmica das comunidades biológicas e por esse motivo, é preciso estabelecer metas para a elaboração de um novo modelo de desenvolvimento e crescimento econômico

Já para Cardoso; Novaes (2013, p.16), os impactos ambientais, causados por ações antrópicas, têm levado a uma degradação da qualidade da água em diversos corpos hídricos, dificultando a utilização de tal recurso para a satisfação até mesmo das necessidades básicas humanas.

Fogaça (2020. p.1) expõe os principais tipos de poluição aquática:

Existem vários tipos de poluição das águas, cuja classificação depende das origens ou causas e também das consequências:

- **Poluição Biológica** → ocorre quando os corpos de água possuem microorganismos patogênicos.
- **Poluição Térmica** → ocorre quando são lançadas nos recursos hídricos grandes quantidades de águas aquecidas que foram usadas.
- **Poluição Química** → ocorre por produtos químicos nocivos e indesejáveis.
- **Poluição Sedimentar** → ocorre quando há o acúmulo de partículas em suspensão.
- **Poluição Radioativa** → ocorre por meio dos resíduos radioativos lançados no ar e no solo por experiências nucleares.

São vários os fatores que influenciam na alteração da qualidade ambiental da água, dentre as diversas atividades humanas que impactam no ambiente aquático estão as atividades: agrícolas, industrial, mineração, descarte de resíduos humanos (sólidos e líquidos), crescimento demográfico e urbanização, além das mudanças climáticas. O Quadro 1 apresenta os principais processos e sua definição da poluição da Água.

**Quadro 1: Principais Processos Poluidores da Água**

PROCESSOS	DEFINIÇÃO
<b>Contaminação</b>	Introdução na água de substâncias nocivas à saúde e a espécies da vida aquática ( <b>exemplo:</b> patogênicos e metais pesados).
<b>Assoreamento</b>	Acúmulo de substâncias minerais (areia, argila) ou orgânicas (lodo) em um corpo d'água, o que provoca a redução de sua profundidade e de seu volume útil.
<b>Eutrofização</b>	Fertilização excessiva da água por recebimento de nutrientes (nitrogênio, fósforo), causando o crescimento descontrolado (excessivo) de algas e plantas aquáticas.
<b>Acidificação</b>	Abaixamento de pH, como decorrência da chuva ácida (chuva com elevada concentração de íons H <sup>+</sup> , pela presença de substâncias químicas como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, amônia e dióxido de carbono), que contribui para a degradação da vegetação e da vida aquática.

**Fonte:** FNS 2004, p.21 *apud* BARROS et al. 1995

De acordo com Nascimento (2009, p.434):

O conceito de poluição hídrica antrópica é abrangente, e pode ser entendido como a mudança na qualidade física, química, radiológica ou biológica da água, causada diretamente pelo homem ou por suas atividades, e que pode ser prejudicial ao uso presente, futuro ou potencial deste recurso natural.

A Tabela 1 apresenta as principais fontes pontuais e difusas de poluição hídrica antrópica e os tipos de poluentes.

**Tabela 1: Fontes de Poluição Hídrica**

TIPO DE POLUENTE	FONTES PONTUAIS		FONTES DIFUSAS	
	Esgoto Doméstico	Esgoto Industrial	Escoamento Agrícola	Escoamento Urbano
Material Orgânico				
Nutrientes				
Organismos Patogênicos				
Sólidos Suspensos				
Sais				
Metais Tóxicos				
Materiais Orgânicos Tóxicos				
Temperatura				

**Fonte:** Nascimento (2009) *apud* Bárbara (2006).

#### 4 BIOINDICADORES AMBIENTAIS

Os Bioindicadores são definidos como espécies ou grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, quantidade e distribuição podem indicar a magnitude de impactos ambientais no ecossistema aquático e sua bacia de drenagem. (SILVA; *et al.* 2016, p.7).

São muitas as definições utilizadas pelos autores sobre o bioindicação, onde cada um segue uma linha de trabalho de acordo com o trabalho realizado, nesse sentido Maia; *et al.* (2001, p.97) *apud* Markert (1993), fez a seguinte definição em relação ao biomonitoramento e bioindicação:

Bioindicação é o uso de um organismo (uma parte do organismo ou uma sociedade de organismos) para se obter informações sobre a qualidade do seu ambiente ou parte dele. Organismos que são capazes de fornecer informações sobre a qualidade do seu ambiente são bioindicadores. Biomonitoramento é a observação contínua de uma área com a ajuda de bioindicadores, os quais, neste caso, devem ser chamados de biomonitores. Normalmente, toda observação contínua possibilita uma avaliação semiquantitativa dos resultados. Usando uma comparação do dia-a-dia: a diferença entre Bioindicação e biomonitoramento é a mesma que existe entre uma fotografia e um filme.

Ainda nas definições sobre os bioindicadores, para Carvalho (2015, p.12), bioindicadores são espécies ou comunidades biológicas cuja presença, abundância e condições fornecem indícios das condições biótica e abiótica do meio, bem como o impacto verificado sobre o hábitat, ou a própria comunidade e ecossistema. São organismos ou parte deles que contém informações quantitativas que expressam a qualidade do ambiente.

Com relação ao biomonitoramento, trata-se de uma técnica de avaliar a situação ambiental de determinado ecossistema aquático, bem como, a qualidade de suas águas e dos seres vivos habitantes do corpo hídrico, com objetivo de buscar respostas biológicas as alterações ambientais ocorridas.

Na literatura são reportados diversos tipos de biomonitoramento, uma das vantagens do uso do biomonitoramento na qualidade da água segundo Bem (2015, p.13) *apud* Barbour (1999) é:

Em relação à avaliação da qualidade da água, o biomonitoramento têm como vantagens o baixo custo de implementação e realização, e a possibilidade de obtenção de resposta temporal. Dependendo do indicador escolhido, os organismos podem refletir a qualidade da água em uma escala de tempo que vai de horas (bactérias) e meses (peixes). Enquanto avaliando-se somente parâmetros físicos e químicos da água obtém-se a resposta do instante da coleta, a qual não representa a integridade ecológica do ecossistema.

Em relação a avaliação da qualidade da água, o biomonitoramento deve apresentar as seguintes características, conforme Paula (2008, p.18):

- Fácil mensuração;
- Sensíveis à alteração físico-químicas nos ecossistemas;
- As respostas a estas alterações serem detectáveis e mensuráveis;

- Antecipadores, predizendo mudanças evitáveis por intervenções de manejo;
- Integradores, fornecendo respostas a distúrbios naturais e estresse de causa antropogênica e mudanças com o passar do tempo;
- Baixa variabilidade nas respostas às alterações que o ambiente venha a sofrer.

#### 4.1 POR QUE USAR BIOINDICADORES

Entender os aspectos conceituais sobre o uso do biomonitoramento, são fundamentais para responder à questão sobre o uso dos bioindicadores, por isso Bem (2015, p.13), define como:

O biomonitoramento consiste em avaliar as comunidades biológicas e a partir destas inferir alterações no ecossistema. Para sua realização são consideráveis espécies indicadoras, chamadas de indicadores biológicos. Estas espécies são empregadas pelo fato de apresentarem baixa tolerância a mudanças no ecossistema.

A vantagem do uso de bioindicadores sobre os métodos convencionais está no baixo custo, podendo, inclusive, serem utilizados na avaliação cumulativa de eventos ocorridos em determinado período de tempo, resgatando um histórico ambiental não passível de detecção/medição por outros métodos. (CETESB, 2020).

Um ponto que tem pesado na opção por programas de biomonitoramento é o fato de serem considerados uma ferramenta de baixo custo e que requer instrumental técnico pouco sofisticado. (MAIA *et al.* 2001, p.238, *apud* TRORNE e WILLIAMS, 1997).

Os bioindicadores devem ser capazes de indicar condições ambientais de longo de prazo e também de reagir a mudanças bruscas nas condições ambientais, sendo os mais utilizados aqueles capazes de diferenciar variações antrópicas de estresses naturais. (PASSOS 2016, p.136 *apud* CALLISTO 2000).

Segundo Queiroz *et al.* (2000, p.31), as vantagens comparativas de se utilizar indicadores biológicos de qualidade de água com relação aos parâmetros físicos e químicos são:

- a) rapidez e eficiência na obtenção de resultados;
- b) relação custo-benefício;
- c) avaliação da qualidade da água *in situ* através do uso de organismos testes;
- d) maior susceptibilidade a uma grande variedade de estressores;
- e) avaliação da qualidade da água de um ecossistema aquático sem recorrer a análises dos parâmetros físicos químicos; e

- f) avaliação da função de um ecossistema e monitoramento ambiental em grande escala.

Maia (2001, p.79), destaca que os princípios da utilização de bioindicadores para o monitoramento da poluição permite:

- Verificação do impacto da poluição: somente bioindicadores conseguem provar que um determinado poluente ou mistura de poluentes realmente provoca um efeito. Essa verificação ocupa uma posição central na estratégia ambiental, cujo objetivo essencial é evitar efeitos sobre seres humanos, plantas, animais e materiais.
- Integração de todos os fatores endógenos da planta que podem influenciar a resposta à poluição, como, por exemplo, o estágio de desenvolvimento e a idade da planta, resistência de espécies e variedades, possibilitando dessa maneira a delimitação de populações de risco.
- Integração de todos os fatores externos, como condições climáticas e edáficas, ocorrência de outros poluentes ao mesmo tempo ou concorrência entre espécies, características que viabilizam a avaliação de efeitos sinérgicos e aditivos.
- Detecção de estresse crônico por níveis baixos de poluição atuando por períodos prolongados.

Ainda Maia (2001, p.80), quando da utilização dos bioindicadores, estes são favoráveis e conseguem:

- Provar o impacto da poluição sobre um ecossistema;
- Fornecer informações sobre as causas de efeitos observados no ecossistema;
- Demonstrar a distribuição espacial e temporal do impacto;
- Fornecer dados sobre um potencial risco para a flora, a fauna e a população humana.

A propósito, de acordo com Maia (2001, p.81), atualmente, as principais áreas de utilização de bioindicadores são:

- Monitoramento de fontes de emissão singulares;
- Controle da eficiência de medidas técnicas para redução de emissões;
- Redes de monitoramento regionais, nacionais e internacionais em áreas urbanas e industriais;
- Monitoramento em áreas remotas (background);
- Monitoramento global;
- Estudos de impacto ambiental (EIA);
- Controle da qualidade do ar dentro de moradias e instalações industriais.

Portanto, um bom indicador deve estar associado ao impacto de um determinado contaminante, além de refletir as condições de estresse em que o sistema está exposto. Assim, é possível determinar que um organismo acumula agente tóxico na mesma proporção da concentração do poluente no ambiente. Desse modo, os bioindicadores devem apresentar respostas à concentração desses poluentes, bem como, a intensidade de estresse em função do tempo que foi exposto.

## 4.2 TIPO E FUNÇÃO DOS BIOINDICADORES

Quando o assunto é biomonitoramento existem vários autores que discutem essa questão, onde cada um define os bioindicadores de acordo com suas características, seus objetivos, quanto a classificação, os tipos e a suas utilizações em programas de biomonitoramento na avaliação da qualidade ambiental da água.

A saúde dos ecossistemas aquáticos pode ser medida pelo biomonitoramento com uso de macroinvertebrados bentônicos, uma vez que são considerados organismos bioindicadores sensíveis às alterações ambientais.

Para Maia; *et al.* (2001, p.238), um bom bioindicador deve ser de fácil amostragem e identificação, devendo ainda apresentar distribuição geográfica ampla, para possibilita estudos comparativos.

Ainda no entendimento de Maia *et al.* (2001, p.78), os organismos bioindicadores, podem ser descritos em três grupos de organismos, variando de acordo com os objetivos dos estudos a serem realizados com os bioindicadores e conforme os procedimentos técnicos, são eles:

- 1) Os **organismos apontadores e indicadores ecológicos** indicam o impacto da poluição através de mudanças no tamanho de sua população ou através da sua existência ou desaparecimento sob certas condições ambientais (exemplos: espécies metalófilas e nitrófilas).
- 2) Os **organismos testes** são indicadores altamente padronizados e utilizados em testes (bioensaios) de laboratório toxicológico e ecotoxicológico. Exemplos: testes de toxicidade usando *Daphnia*, *Lemna*, *Tradescantia* e outras espécies.
- 3) Os **organismos monitores (biomonitores)** mostram, qualitativa e quantitativamente, o impacto da poluição ambiental sobre organismos vivos. São usados para o monitoramento da qualidade do ar ou da água. Eles podem ser empregados em programas de monitoramento passivo, em que as espécies indicadoras já se encontram presentes no ecossistema estudado, ou de monitoramento ativo, em que os indicadores vêm sendo introduzidos de forma padronizada.

No que tange as características dos bioindicadores, para Almeida (2011, p1):

Espécies Indicadoras são aquelas comumente encontradas, ou não, sob determinadas condições ambientais, cuja presença ou ausência é capaz de “indicar” qualidades ambientais. Espécie indicadora deve apresentar as seguintes características:

- capacidade de acumular várias substâncias tóxicas;
- ser comum;
- apresentar grande distribuição geográficas;
- ser facilmente coletados;
- ter tamanho adequado, que permite novas amostras de tecidos;
- estar presente na área de impacto e em áreas não poluídas; e
- ter correlação com níveis ambientais de substâncias tóxicas.

Já no entendimento de Rodrigues (2011, p.3) no Quadro 2, este define a classificação e os tipos de bioindicadores, além de suas características como sendo:

**Quadro 2:** classificação dos bioindicadores

<b>Sentinelas</b>	Introduzidas para indicar níveis de degradação e prever ameaças ao ecossistema.
<b>Detectoras</b>	São espécies locais que respondem a mudanças ambientais de forma mensurável.
<b>Exploradoras</b>	Reagem positivamente a perturbações.
<b>Acumuladoras</b>	Permitem a verificação de bioacumulação.
<b>Bio-ensaio</b>	Usados na experimentação.
<b>Sensíveis</b>	Modificam acentuadamente o comportamento.
<b>Bioindicação não específica</b>	Diferentes fatores provocam a mesma reação.
<b>Bioindicação específica</b>	Uma reação só ocorre em virtude de um único fator ambiental.
<b>Bioindicação direta</b>	Fator ambiental atua diretamente sobre o sistema biológico.
<b>Bioindicação indireta</b>	A Bioindicação é resultado de alterações ambientais que provocam diferentes respostas.
<b>Bioindicação primária</b>	É a primeira reação do organismo.
<b>Bioindicação secundária</b>	Ocorre após a primária e é diferente dela.

**Fonte:** Rodrigues (2011).

Em relação a classificação dos bioindicadores, na definição de Carvalho (2015, p.12) *apud* Lima (2000), a classificação dos bioindicadores podem ser como:

- Exploradores: reagem positivamente ao distúrbio ou agente estressor;
- Sensíveis: modificam acentuadamente o comportamento ou seu equilíbrio fisiológico diante do fator impactante;
- Acumuladores: acumulam agentes estressores permitindo avaliar a bioacumulação ao longo do tempo.

Já de forma direta e geral, os bioindicadores apresentam uma classificação de acordo com sua natureza, conforme Louzada (2001, p.12), Paula (2010) e Buss *et al.* (2003), estes são definidos como:

- Sentinelas: introduzidos para indicar níveis de degradação e prever ameaças ao ecossistema;
- Detectores: ocorrem naturalmente (espécies locais) e respondem ao estresse de forma mensurável;
- Bioensaístas: usados na experimentação ecotoxicológica laboratorial.

Ainda em relação ao uso de bioindicadores, para Silveira (2004, p.34):

O uso de macroinvertebrados bentônicos para o monitoramento de rios atua como uma ferramenta de vigilância, ou seja, é uma metodologia para acompanhar as condições dos ecossistemas aquáticos com o objetivo principal de detectar impactos acidentais ou decorrentes de atividades produtivas. O biomonitoramento também pode atuar como uma medida reguladora, sendo utilizado como uma prova contra ações criminosas causadoras de danos ambientais.

Finalizando Paula (2008, p.15), a utilização de insetos aquáticos como bioindicadores de qualidade de água é uma ferramenta ecológica importante na avaliação da qualidade de água em Programas de Monitoramento ambiental.

## 5 MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS

Os macroinvertebrados bentônicos, de forma geral podem ser encontrados nos diversos ecossistemas aquáticos e em vários grupos taxonômicos. São considerados bons indicadores ambientais, pois são os que melhor respondem as mudanças e as condições ambientais.

Os macroinvertebrados são considerados bons indicadores da poluição ambiental e são usados na formulação de índices bióticos. Acredita-se que este grupo de organismos responda a estresses com a redução de espécies sensíveis e a proliferação de espécies tolerantes (SILVEIRA 2004, p.36 *apud* ARMITAGE 1996).

Para Maia; *et al.* (2001, p. 40) *apud* Rosenberg e Resh (1993); *apud* Griffiths (1996), os macroinvertebrados bentônicos têm sido escolhidos para avaliar as condições locais da qualidade das águas porque:

- 1) são abundantes em todos os tipos de sistemas aquáticos;
- 2) são facilmente coletados com equipamentos relativamente barato;
- 3) são de rápida identificação;
- 4) permanecem em uma área mais restrita por causa de sua baixa mobilidade, permitindo uma análise dos efeitos de poluentes ou de perturbações;
- 5) estão continuamente sujeitos a todo o rigor do ambiente local.
- 6) exibem ampla variedade de tolerâncias a vários graus e tipos de poluição;

Outra característica ecológica relevante dos macroinvertebrados é a sensibilidade a diferentes concentrações de poluentes e à ubiquidade, logo respondem as perturbações em todos os ambientes aquáticos e períodos. (CARVALHO 2015, p.16 *apud* PLAFKIN *et al.* 1989; CALLISTO; MORETTI; GOULART 2001).

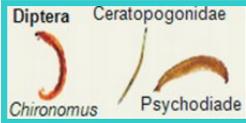
Segundo Passos (2016, p.137) *apud* França & Callisto (2012), a Comunidade Bentônica pode ser classificada de acordo com sua resistência às atividades antrópicas em: sensíveis, tolerantes e resistentes. Conforme ocorre degradação, a tendência é a redução de espécies dos organismos sensíveis, seguidos por tolerantes, restando apenas os resistentes.

Para Odum (1988, p.434), os principais macroinvertebrados bentônicos são os:

- **Anelídeos:** importantes na dinâmica de nutrientes e tolerantes de ambientes com baixa concentração de oxigênio;
- **Moluscos:** representados, nas águas continentais, por dois grupos: os gastrópodes e os bivalves. São muito estudados quando o enfoque da pesquisa visa a discutir seu papel como vetores de doenças;
- **Crustáceos:** os mais comuns em águas doces são os ostrácodos, decápodes, copépodes e cladóceros, sendo, os primeiros, os mais frequentes, e grandes consumidores de bactérias, detritos e algas;
- **Insetos:** os mais frequentes. Grande número de espécies de insetos são ou têm parte de seu ciclo vital ligados à água. Atualmente estão sendo muito estudados, pelo fato da grande importância que possuem na dinâmica de nutrientes no corpo hídrico e por serem bons indicadores de qualidade de água. Dentre os vários grupos, destacam-se: dípteros, efemerópteros, plecópteros, tricópteros, odonatas, hemípteros, coleópteros e lepdópteros.

Alguns organismos possuem maior sensibilidade a perturbações enquanto outros são mais tolerantes, o Quadro 3 ilustra cada espécie de macroinvertebrados bentônicos e suas características.

**Quadro 3:** Espécies de Macroinvertebrados Bentônicos e suas características

	Ordem Plecoptera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insetos aquáticos</li> <li>• Sensíveis à poluição</li> </ul>
	Ordem Ephemeroptera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insetos aquáticos</li> <li>• sensíveis à poluição</li> </ul>
	Ordem Trichoptera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insetos aquáticos</li> <li>• Sensíveis à poluição</li> </ul>
	Ordem Diptera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Larvas de mosquitos aquáticos</li> <li>• Resistentes à poluição</li> </ul>
	Classe Oligochaeta (Filo: Annelida)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minhocas d'água</li> <li>• Predominam em altas quantidades em ambientes poluídos</li> </ul>
	Classe Gastropoda (Filo: Mollusca)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caramujos aquáticos</li> <li>• Resistentes à poluição, mas também podem ser encontrados em ecossistemas naturais</li> </ul>

**Fonte:** Adaptado de: Projeto Água (2020).

As comunidades de macroinvertebrados bentônicos respondem bem aos impactos de origem antrópica e tem sido utilizada como indicadora da qualidade ecológica para a biota aquática. Por serem sedentários ou mobilidade reduzida e

associadas ao sedimento, suas populações são as primeiras a sofrerem as consequências das atividades humanas do entorno. (KUHLMANN *et al.* 2012, p.19).

## 6 INDICADORES DE BIOMONITORAMENTO

Para a CETESB que uma referência em questões ambientais, principalmente em fiscalização, o monitoramento da qualidade das águas superficiais doces no Estado de São Paulo é realizado desde o ano de 1974, onde os principais objetivos desse monitoramento são:

- a) Fazer um diagnóstico da qualidade das águas superficiais, avaliando sua conformidade com a legislação ambiental;
- b) Avaliar a evolução temporal da qualidade das águas superficiais;
- c) Identificar áreas prioritárias para o controle da poluição das águas, possibilitando, assim, ações preventivas e corretivas;
- d) Subsidiar o diagnóstico e controle da qualidade das águas doces utilizadas para o abastecimento público;
- e) Subsidiar a execução dos Planos de Bacia e Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos;
- f) Subsidiar a implementação da Política Nacional de Saneamento Básico (Lei no. 11.445/2007).

Ainda segundo a CETESB (2019, p.22-24), os índices são utilizados para fornecer uma visão geral da qualidade da água, pois integram os resultados de diversas variáveis através de um único indicador, utiliza índices específicos que refletem a qualidade das águas de acordo com seus usos pretendidos, como por exemplo:

- ICF – Índice de Comunidade Filoplanctônica,
- ICZ – Índice da Comunidade Zooplanctônica
- ICB – Índice da Comunidade Bentônica.

A Tabela 2 apresenta o modelo das categorias e faixas utilizadas pela CETESB, na classificação dos índices de qualidade da água, em destaque para o ICF, ICZ e ICB.

**Tabela 2:** Categorias e faixas de classificação dos Índices de Qualidade de Água

ÍNDICE DE QUALIDADE	CATEGORIAS					
IQA	Ótima 79 < IQA ≤ 100	Boa 51 < IQA ≤ 79	Regular 36 < IQA ≤ 51		Ruim 19 < IQA ≤ 36	Péssima IQA ≤ 19
IAP	Ótima 79 < IAP ≤ 100	Boa 51 < IAP ≤ 79	Regular 36 < IAP ≤ 51		Ruim 19 < IAP ≤ 36	Péssima IAP ≤ 19
IVA	Ótima IVA ≤ 2,5	Boa 2,6 ≤ IVA ≤ 3,3	Regular 3,4 ≤ IVA ≤ 4,5		Ruim 4,6 ≤ IVA ≤ 6,7	Péssima IVA ≥ 6,8
IET	Ótima IET ≤ 47	Oligotrófico 47 < IET ≤ 52	Mesotrófico 52 < IET ≤ 59	Eutrófico 59 < IET ≤ 63	Supereutrófico 63 < IET ≤ 67	Hipereutrófico IET ≥ 67
→ ICF	Ótima 1	Boa 2	Regular 3		Ruim 4	
→ ICZ		Boa	Regular		Ruim	Péssima
→ ICB	Ótima Praias excelentes em 100% do tempo	Boa Praias próprias em 100% do tempo	Regular Praias impróprias em até 25% do tempo		Ruim Praias impróprias entre 25% e 50% do tempo	Péssima Praias impróprias em mais de 50% do tempo

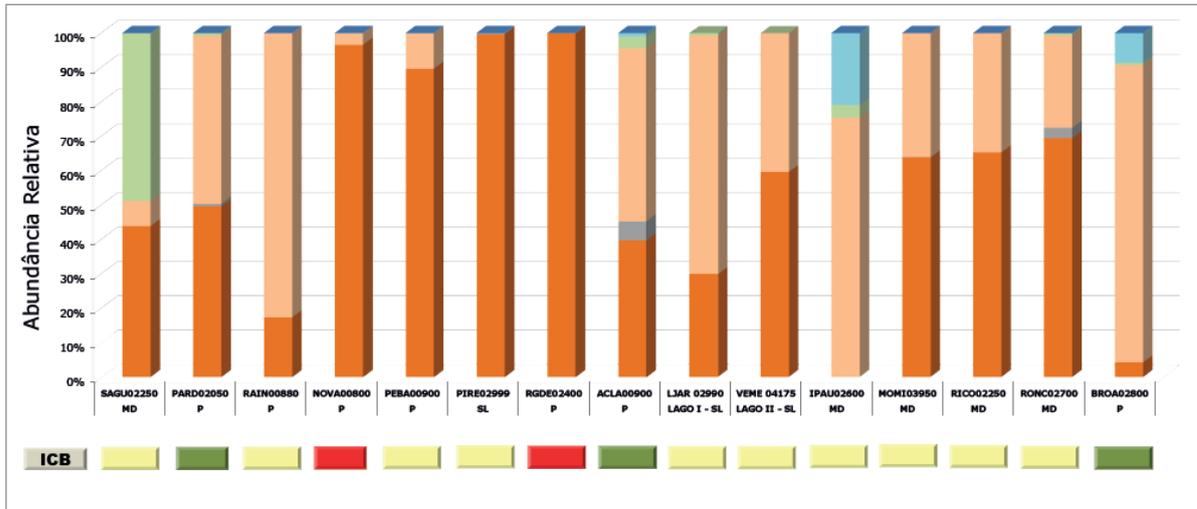
Fonte: adaptado de CETESB (2020)

No entendimento da CETESB (2019, p.155), a comunidade bentônica por uma série de características, tem sido amplamente utilizada no biomonitoramento, em que a meta de qualidade envolve a preservação de toda biota aquática. Aspectos estruturais da comunidade são avaliados e traduzidos em números que formamos índices (ICBrio; ICBres-sl e ICBres-p) utilizados para o diagnóstico.

Em 2018 a CETESB realizou uma avaliação da qualidade ambiental com o emprego da comunidade bentônica em 15 localidades no estado de São Paulo. O diagnóstico é feito pelo Índice da Comunidade Bentônica - ICB, que classifica os ambientes em Ótimo, Bom, Regular, Ruim ou Péssimo, em função da composição das comunidades em cada local.

Como exemplo, o Gráfico 1, mostra as estruturas das comunidades bentônicas encontradas na avaliação. As divisões no gráfico representam os diferentes tipos de organismos que compõe a comunidade bentônica, agrupados segundo suas características de tolerância/sensibilidade aos diferentes impactos, sua presença na lista de espécies ameaçadas de extinção (EAE) ou de sua natureza exótica invasora. A identidade de cada um está definida na legenda abaixo. A ocorrência de uma cor ocupando mais da metade da área significa dominância do organismo, muitas vezes tolerante a condições ambientais que podem ser desfavoráveis a sobrevivência de outros.

**Gráfico 1 – Estruturas das comunidades bentônicas em 2018**



**LEGENDA:**

**QUALIDADE:**

ICB    ÓTIMA   BOA   REGULAR   RUIM   PÉSSIMA

MD: Margem deposicional (rios); P: região profunda (reservatórios) ; SL: Região sublitoral (reservatórios)

AMEAÇADAS	SEMI-TOLERANTES	SEMI-TOLERANTES	EXÓTICAS
<i>Anodites trapezialis</i>	Nemertinea Dugesidae Sphaeriidae Physidae Aelossomatidae Enchytraeidae Lumbriculidae Tubificidae cqc (exceto <i>Tubifex</i> ) Aulodrilus Branchiura sowerbyi <i>Chaetoqaster</i> <i>Nais</i> <i>Stephensoniana</i> <i>Stylaria</i> Narapidae Opistocystidae <i>Opistocysta</i> Glossiphoniidae Hydracarina Ceratopogonidae	Chironomini (exceto <i>Chironomus</i> ) <i>Aedokritus</i> <i>Bearidius</i> <i>Cladopelma</i> <i>Cryptochironomus</i> <i>Harnischia</i> <i>Pelomus</i> <i>Polypedilum</i> Tanytarsini <i>Caladomyia</i> <i>Tanytarsus</i> Orthoclaadiinae <i>Cricotopus</i> Tanypodinae <i>Ablabesmyia</i> <i>Coelotanypus</i> <i>Clinotanypus</i> <i>Djalmabatista</i> <i>Labrundinia</i> <i>Procladius</i> <i>Tanypus</i> Empididae Simuliidae Curculionidae	<i>Corbicula fluminea</i> <i>Limnoperna fortunei</i> <i>Melanoides tuberculatus</i>
SENSÍVEIS			TOLERANTES
<i>Endotribelos</i> <i>Stempellina</i> Polymitarcyidae Hydroptilidae Leptoceridae Libellulidae			Tubificinae sqc <i>Limnodrilus</i> Naidinae <i>Dero</i> <i>Pristina</i> <i>Pristinella</i> <i>Slavina</i> <i>Chironomus</i> <i>Parachironomus</i>
SEMI-SENSÍVEIS			
Ancylidae Megadrili <i>Saetheria</i> <i>Zavreliella</i> Tipulidae Gomphidae Zigoptera n.i. Elmidae			

Fonte: CETESB (2020)

## 7 METODOLOGIA

Para Ciribelli (2003, p.20), quando nos referimos a metodologia científica, estamos falando do estudo analítico e crítico dos métodos de investigação e de comprovação, sendo uma das condições necessárias para o êxito da pesquisa.

Segundo Fonseca (2002, p.32):

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas da web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando

referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta.

Para a construção desse trabalho de finalização de curso – TCC foram realizadas pesquisas bibliográficas com a abordagem técnica sobre o tema, artigos acadêmicos e sites específicos sobre o tema, onde, buscou encontrar informações e dados técnicos a respeito dos danos ambientais e sobre a contaminação dos recursos hídricos. Também sobre os bioindicadores ambientais, seus tipos e funções e as principais características e vantagens do biomonitoramento. Conhecer os macroinvertebrados bentônicos de forma geral e seu uso como ferramenta para avaliar a qualidade ambiental da água e finalizando com os indicadores de biomonitoramento da qualidade da água utilizada pela CETESB, com destaque para o índice de comunidade bentônica.

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com as informações apresentadas com a revisão de literatura, conclui que os bioindicadores podem ser considerados uma ferramenta auxiliar de extrema importância na avaliação da qualidade ambiental de ambientes aquáticos, sendo através da identificação de ações impactantes ao meio ambiente ou pelo monitoramento dessas áreas, fornecendo uma análise real das condições do ecossistema local e dos danos ambientais.

Os bioindicadores são considerados de baixo custo, sem a necessidade de muitos recursos para as análises, a facilidade do manuseio, da rápida identificação, por permanecerem em uma área mais restrita, além de sua aplicabilidade. Sendo amplamente reconhecidos pela comunidade científica e dos bons resultados apresentados com informações confiáveis e a detecção do nível de poluição no ambiente aquático.

Os macroinvertebrados bentônicos são um importante aliado no ambiente aquático ao indicar os impactos ambientais provocados por contaminação. Como existem inúmeras espécies de macroinvertebrados bentônicos, e estão associados ao fundo dos rios, lagos, lagoas, em alguma fase de sua vida, são facilmente visíveis a olho nu e de rápida identificação, respondem facilmente a estresses hidráulicos,

orgânicos e principalmente os tóxicos (químicos), ocasionando a redução de espécies sensíveis ou a proliferação de espécies tolerantes.

São valiosos indicadores da degradação ambiental, além de apresentarem vantagens como: espécies sedentárias que permanecem no mesmo local com pouco deslocamento; registram um longo tempo dos impactos e testemunham os efeitos nocivos de diversos poluentes.

Bioindicadores conseguem provar que o impacto da poluição de um determinado poluente ou contaminante pode provocar efeito nocivo a estes organismos vivos e ao todo ecossistema aquático.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. R.; SOUZA, R. C.; AZEVEDO, F. M.; CAGNI, G. S.; LIZAMA, M. A. P. **O Uso de Bioindicadores no Monitoramento da Qualidade dos Recursos Hídricos.** Anais Eletrônico do XI EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar. 2019. Maringá/PR. p.1.

ALMEIDA, J. R. **Perícia Ambiental, Judicial e Securitária: impacto, dano e passivo ambiental.** Almeida Cabral. 2011. Rio de Janeiro/RJ. p.21, p.34, p.143, p.248-249, p.274.

BEM, C. C. **Macroinvertebrados bentônicos - estratégia de Monitoramento para a gestão de recursos hídricos.** TESE - Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. UFPR. 2015. Curitiba/PR. p.13.

BRASIL. **Cuidando das Águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos.** Agência Nacional das Águas – ANA. 2013. Brasília/DF. p.17.

\_\_\_\_\_. **Manual de Saneamento.** Ministério da Saúde - Fundação Nacional de Saúde – FNS. 3. ed. rev. Brasília/DF: 2004. p.21.

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.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro/RJ, v19, nº 2, p.465-473, mar-abr. 2003.

CARDOSO, R. S.; NOVAES, C. P. **Variáveis Limnológicas e Macroinvertebrados Bentônicos como Bioindicadores de Qualidade da Água.** Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. 2013. Tupã/SP. p.16.

CARVALHO, L. de. **Bioindicadores da assembleia de peixes de riachos submetidos a diferentes condições de conservação na região metropolitana de município de Londrina/PR.** UTFPR. 2015. Londrina/PR. TCC. p.12, p.16.

CIRIBELLI, M. C. **Como elaborar uma dissertação de Mestrado através da pesquisa científica**. 7 Letras. 2003. Rio de Janeiro/RJ.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e Perícia ambiental**. – Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 1999. 12ª EDIÇÃO. p.173–174, p.179, p.234.

DANZE, A. P.; VERCELLINO, I. S. **Uso de Bioindicadores no monitoramento da qualidade da água**. Rio de Janeiro/RJ; Revinter, 2018. p.101, p.104.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **"Tipos de poluição das águas"**. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-poluicao-das-aguas.htm>> Acesso em 05 de agosto de 2020.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. UEC. 2002. Apostila.

KUHLMANN, M. L.; JOHNSCHER-FORNASARO, G.; OGURA, L. L.; IMBIMBO, H. R. V. **Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de rios e reservatórios do estado de São Paulo** [recurso eletrônico] / CETESB. São Paulo/SP. CETESB, 113 p.: il. color. p.19. 2012.

LOUZADA, J. N. C. **Bioindicadores de qualidade ambiental**. Departamento de Biologia, UFL. V Congresso Brasileiro de Ecologia. Porto Alegre, RS, 2001. p.12.

MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. **Indicações ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo/SP; EDUC, 2001. p.77-81, p.97, p.238-241

NASCIMENTO, C. A.; NAIME, R. **Panorama do Uso, Distribuição e Contaminação das Águas Superficiais no Arroio Pampa na Bacia do rio dos Sinos**. Novo Hamburgo/RS. 2009. Estudos Tecnológicos – Vol. 5, nº 1:101-120. ICET-FEEVALE.

ODUM, P.E. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. p.434.

PASSOS, G. A. **Bioindicadores de Qualidade da Água: uma Ferramenta para Perícia Ambiental Criminal**. Revista Acta da Ciência e Saúde – Nº 05, volume 01. 2016. Brasília/DF. p.136-137.

PAULA, P. M. S. **Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta na avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio das Velhas (MG)**. UFMG. 2008. Belo Horizonte. Tese, p.15-18.

PROJETO ÁGUA. **A Qualidade Ambiental de Um Rio**. Disponível em: <<https://aquaprojeto.files.wordpress.com/2013/10/bioindicadores.jpg>>. Acessado em 31/03/2020.

QUEIROZ, J. F. de; TRIVINHO-STRIXINO, S.; NASCIMENTO, V. M. da C. **Organismos Bentônicos Bioindicadores da Qualidade das Águas da Bacia do Médio São Francisco**. Comunicado Técnico nº 03. EMBRAPA Meio Ambiente. 2000. Brasília/DF. p.31.

RODRIGUES, W. C. **Insetos como Indicadores de Qualidade Ambiental**. Artigo – Instituto Zoobotânico de Morro Azul. 2011. Disponível em:

<[http://www.izma.org.br/newsite/index.php?option=com\\_content&view=article&id=66:artigoInsetosIndicadores&catid=35:curiosidadesfauna&Itemid=78](http://www.izma.org.br/newsite/index.php?option=com_content&view=article&id=66:artigoInsetosIndicadores&catid=35:curiosidadesfauna&Itemid=78)>, acesso em 03/03/2020. p.3.

SÃO PAULO. **Bioindicadores: O uso de bioindicadores vegetais no controle da poluição atmosférica.** CETESB. 2020. São Paulo/SP. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/solo/bioindicadores/>>. Acesso em: 22/01/2020.

\_\_\_\_\_. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo.** CETESB. 2019. São Paulo/SP. p.22-24, p.153-154.

SILVA, M. S. G. M. e; LOSEKANN, M. E.; FRANCO, T. S. G. **Macroinvertebrados Bentônicos como Bioindicadores de Qualidade de Água na produção de jundiara (*Leiarius marmoratus* macho x *P. reticulatum* fêmea) em reservatório do rio Sorriso, MT.** EMBRAPA. 2016. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 65. Jaguariúna/SP. p.07.

SILVA, M. S. G. M. e; QUEIROZ, J. F. de; TRIVINHO-STRIXINO, S. **Organismos Bentônicos Biomonitoramento de Qualidade de Água – Indicadores Biológicos de Qualidade.** EMBRAPA. 2020. Brasília/DF. p.00, p.27.

SILVA, M. S. G. M. **Biomonitoramento.** EMBRAPA. Brasília/DF. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura\\_e\\_meio\\_ambiente/arvore/CONTAG01\\_49\\_210200792814.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_49_210200792814.html)>. Acesso em 22/01/2020.

SILVEIRA, M. P. **Aplicação do Biomonitoramento para Avaliação da Qualidade da Água em Rios.** Documentos – 36. EMBRAPA. 2004. Jaguariúna/SP. P.34, p.36.