

**UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES  
PÓS-GRADUAÇÃO “LATO SENSU”  
AVM FACULDADE INTEGRADA**

**GESTÃO AMBIENTAL ASSOCIADA AO USO DE  
BIOINDICADORES AMBIENTAIS**

**Por: Andrea Ferreira Monte Novo**

**Orientador**

**Prof. Maria Esther**

**Rio de Janeiro**

**2012**

**UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES  
PÓS-GRADUAÇÃO “LATO SENSU”  
AVM FACULDADE INTEGRADA**

**GESTÃO AMBIENTAL ASSOCIADA AO USO DE  
BIOINDICADORES AMBIENTAIS**

Apresentação de monografia à AVM Faculdade Integrada  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
especialista em Gestão Ambiental

Por: Andrea Ferreira Monte Novo

## AGRADECIMENTOS

...à minha família, meus amigos e em especial à Maria Genoveva.

## DEDICATÓRIA

.....dedico esse trabalho aos meus pais,  
amigos e em especial à Maria Genoveva por  
todo apoio.

## RESUMO

Bioindicador é um organismo ou grupo de organismos que traduz o estado biótico ou abiótico de um ambiente, os impactos que incidem, ou incidiram, sobre determinado ambiente ou ecossistema, ou ainda indicam a biodiversidade de uma região. As alterações reveladas por esses organismos podem ser genéticas, bioquímicas, fisiológicas, morfológicas, ecológicas ou comportamentais.

Os bioindicadores tem relevância para indicar um possível problema de contaminação de um ecossistema através de bioacumulação, que reflete o acúmulo de poluentes nos organismos devido à presença de poluentes no solo, na água e no ar atmosférico. A posição do indicador na cadeia trófica é uma característica quanto ao grau de importância do seu uso como indicador biológico, ou seja, quanto mais baixo o nível trófico do organismo bioindicador e mais ele servir de alimento para outros, maior a sua relevância como indicador biológico.

Este estudo tem por finalidade analisar o uso dos bioindicadores de ecossistemas aquáticos na gestão dos recursos hídricos, levando em consideração que a água é componente indispensável para os seres vivos, e a concepção de preservação dos recursos hídricos tem apontado para um gerenciamento mais eficiente.

O uso de bioindicadores de qualidade de água são importantes pois refletem a qualidade do recurso hídrico em questão, uma vez que o uso da análise físico-química apenas não é suficiente para traduzir a qualidade do ecossistema, sendo necessário também um estudo biológico da água da região em estudo.

## **METODOLOGIA**

A metodologia utilizada para o estudo foi a revisão bibliográfica, baseada em artigos acadêmicos sobre o assunto consultados em livros, periódicos e revistas, e em sites na internet. Foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre o tema tendo como foco os ecossistemas aquáticos tentando relacionar à gestão ambiental dos recursos hídricos.

## **SUMÁRIO**

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>08</b>
<b>CAPÍTULO I - O que são bioindicadores.</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II - Princípio da bioindicação</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO III – Monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos.</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO IV – Bioindicadores de qualidade e impacto ambiental</b>	<b>31</b>
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>38</b>
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b>	<b>39</b>

## INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades em nome do progresso e desenvolvimento nos últimos tempos tem provocado um aumento do consumo antrópico dos recursos naturais, e hoje em dia praticamente não existe nenhum ambiente ou ecossistema que não tenha, ou esteja, sofrendo ação das atividades antrópicas resultando na contaminação aquática e terrestre, introdução de espécies exóticas, perda de biodiversidade perda e destruição de habitats. O que acontece é a busca desenfreada por matérias-primas para produção de bens utilizados no crescimento econômico que retornarão capital para o desenvolvimento do sistema produtivo, que devolve efluentes sólidos e líquidos, e degradação do meio ambiente em nome do desenvolvimento.

Hoje tem aumentado a preocupação com o meio ambiente, mas ainda existe certa limitação por parte dos setores empresariais e consumidor. O setor empresarial, mesmo buscando o desenvolvimento sustentável, ainda faz uso de atividades que degradam muito o ambiente e o setor consumidor parece que só agora está tendo consciência da importância de um pensamento mais ecológico, mas por outro lado o mercado não incentiva o consumo de produtos reciclados ou com certificação ambiental devido ao seu alto custo.

Este estudo tem com objetivo estudar como os bioindicadores funcionam e como eles podem ser úteis para aplicar a gestão ambiental.

O uso de bioindicadores pode ser uma ferramenta útil na aplicação dos princípios da gestão ambiental, uma vez que eles podem indicar tanto a ocorrência de um impacto em determinado ambiente assim como ser um indicativo de que uma determinada ação ou medida compensatória está funcionando.

Bioindicador é todo organismo, ou comunidade de organismos que tem as funções vitais estreitamente relacionadas aos fatores ambientais, e que por isso pode ser usado como fator de indicação na avaliação de um determinado ecossistema, permitindo que possamos avaliar suas características apenas pela presença ou ausência dos mesmos.

Também podem ser definidos como comunidade de organismos que tem suas condições vitais, sua composição química, ou ambas, alteradas em resposta às condições ambientais, podendo ser indicativos de poluição do meio. Os bioindicadores são utilizados para se obter informações do seu

ambiente ou de parte dele, pois são capazes de fornecer indicações sobre a qualidade de seu ambiente.

Os índices bióticos são importantes em estudos de monitoramento ambiental. Biomonitoramento (monitoramento biológico) é a utilização de respostas biológicas como indicativos de mudanças ambientais visando controlar a qualidade e a ação antropogênica do meio. É a observação de determinado ambiente, através de bioindicadores (neste caso, biomonitores), estabelecendo uma avaliação e comparação quantitativa dos resultados.

## **CAPÍTULO I**

### **O QUE SÃO BIOINDICADORES**

Bioindicadores são fatores bióticos empregados para o reconhecimento de condições (passadas, presentes ou futuras) de ecossistemas. De fato o ecologista se utiliza constantemente de organismos como indicadores na exploração de novas situações ou na avaliação de grandes áreas ( Odum, Eugene P., 1996). São organismos ou comunidades de organismos que produzem alguma resposta à algum tipo de mudança nas condições ambientais. Essa resposta pode ser uma alteração nas suas funções vitais, alteração na sua composição química ou um acúmulo de toxinas, produzidas por essa comunidade de organismos em condições adversas à sua normalidade.

Como os processos bioquímicos vitais são praticamente os mesmos em vários organismos, podemos utilizar como indicadores de alterações ambientais aqueles que possuem uma resposta mais rápida que os seres humanos à impactos causados ao ambiente. Indicadores nesse caso são as reações bioquímicas, morfológicas e fisiológicas apresentadas por esses organismos. Suas funções vitais estão tão intrinsecamente relacionadas aos fatores ambientais que qualquer alteração produz uma resposta que pode ser utilizada como parâmetro para avaliação de determinada área ou parte dela. A presença de cada tipo de organismo indica determinadas características físicas, químicas e estruturais únicas do ambiente em que se encontra, o que permite que sejam utilizadas como indicativos das condições ambientais normais de onde vivem.

## 1.1 - PORQUE USAR BIOINDICADORES

Grandes centros urbanos têm oferecido condições desfavoráveis para uma boa qualidade de vida devido ao cotidiano de trânsito intenso, rios, solos e ar poluídos por lançamento de resíduos líquidos e sólidos, da problemática questão da oferta de água potável, queimadas e outros. Tudo isso vem recebido maior atenção por conta da veiculação de doenças pela água, esgoto, lixo e à presença de vetores no espaço urbano (FORATINI, 1992).

Diversos autores, como Hamonnd et al. (1995), Bell S. e Morse, S. (2003), escreveram sobre indicadores na área ambiental. Hoje a preocupação com o desenvolvimento sustentável e preservação de um ambiente natural para as gerações futuras vem aumentando e deve combinar a conservação do ambiente natural com o crescimento econômico e desenvolvimento fazendo a sociedade pensar em qualidade de vida sustentável.

Segundo Carneiro, R.M.A.(2004), além desses fatores, outras questões sociais e econômicas tem chamado à atenção de agentes políticos, o que acaba favorecendo a promoção da qualidade de vida e uma maior conscientização da importância da qualidade ambiental para o homem. O uso de bioindicadores de qualidade ambiental não é assunto novo, surgiu com o desenvolvimento de estudos em diferentes áreas das ciências nos meados do século passado.

As metodologias baseadas em parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos são pouco eficientes na avaliação real do ambiente, tornando necessário um número grandioso de análises, o que aumenta o custo e acaba inviabilizando o uso das mesmas. Os bioindicadores nos permitem uma avaliação mais completa do que as medidas físico-química, que são apenas pontuais, da qualidade do ambiente, o que torna o seu uso mais vantajoso.

A qualidade de um ambiente é o somatório de vários fatores e os bioindicadores respondem ao acúmulo de todas as alterações por um período

de tempo maior, por exemplo os líquens, formados pela simbiose de uma alga e um fungo, funcionam como bons indicadores de poluição atmosférica, pois são bastante sensíveis aos poluentes e podem desaparecer com o aumento significativo da poluição do ar, através da sua utilização podemos avaliar tipos de poluição e contaminação, seja de pequenas áreas e até mesmo avaliar grandes impactos globais, como a destruição da camada de ozônio.

Atualmente as pesquisas á respeito de bioindicadores se tornaram tema prioritário. Tem-se estudado em laboratório e em campo a sensibilidade versus tolerância de algumas espécies visando a seleção das mais adequadas ao biomonitoramento, quer dizer que respondam melhor à impactos e situações que causem danos às outras espécies e ao próprio homem. Os bioindicadores fornecem um sinal mais rápido sobre impactos antes mesmo do homem ter conhecimento de sua proporção. Permitem-nos identificar causas e efeitos da ação de agressores e as referentes respostas biológicas, fazendo uma integração entre a modificação do ambiente e suas respostas. E fazendo uma menção ao tema deste estudo, estes organismos permitem avaliar se determinadas medidas mitigadoras estão sendo eficientes para minimizar a ação antrópica no ambiente.

Os micro-organismos indicadores devem ser característicos e estar em quantidade expressiva no ambiente em questão, de fácil amostragem, deve responder rapidamente às alterações ambientais. Monitora-se a qualidade de ambientes terrestres utilizando plantas e líquens, e a qualidade de ambientes aquáticos pela presença de algas e macrófitas e ainda pela ausência de peixes.

Os bioindicadores são importantes para o alerta precoce de impactos e/ou danos ambientais indicando que medidas devem ser tomadas para mitigação dos mesmos e restaurar o ambiente natural da melhor maneira possível.

## 1.2- PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS BIOINDICADORES:

Para que possam ser usados como bioindicadores os organismos devem possuir um limite de tolerância estreito, para que respondam às pequenas variações que possa ocorrer no meio; estar presentes em abundância no ambiente estudado para que se possa quantificar e tornar possível a avaliação. Também é necessário que a espécie indicadora seja de fácil e rápida identificação e ser ecologicamente e biologicamente bem conhecida, e ter pouca mobilidade para que possa ser representativa do meio avaliado.

## 1.3 - PRINCIPAIS TIPOS DE BIOINDICADORES:

É possível definir indicadores para ambientes aquáticos, terrestres e também para o atmosférico. Atualmente temos indicadores para os cinco reinos existentes, sendo os tipos principais as **sentinelas**, que indicam os níveis de degradação e também servem para prever ameaças; **detectoras**, que respondem de maneira mensurável à mudanças ambientais; **acumuladoras**, que acumulam substâncias permitindo posterior verificação; exploradoras, que reagem positivamente à perturbações; as de **bio-ensaio**, que são usadas para experimentação e as **sensíveis**, que modificam muito o seu comportamento.

## 1.4 - CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A BIOINDICAÇÃO:

De acordo com Maristela Zamoner (2007), as espécies bioindicadoras podem ser classificadas de acordo com a sua bioindicação, sendo assim temos as espécies **indicadoras de saúde ambiental**, que apontam efeitos poluentes ou ambientais que possam afetar a saúde ( ex. filtradores capazes de acumular poluentes – bioacumulação ); **indicadoras de populações**, que sinalizam as condições do ambiente ( ex. morte de aves marinhas jovens, que indica baixa temperatura de água ); **indicadoras de biodiversidade**, espécies cuja existência indicam ou não a presença de outras espécies a partir do

conhecimento da cadeia alimentar ( A presença de determinado tipo de inseto pode indicar a presença de determinados pássaros); as **indicadoras guarda-chuva**, que são espécies que requerem uma área muito extensa e que acolhem outras, podendo ser utilizadas no planejamento da conservação de um ambiente.

### **1.5 – Bioindicadores de qualidade da água:**

Segundo resolução CONAMA 357/ 05, artigo 8º, parágrafo 3º, qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos utilizando-se organismos ou comunidades aquáticas. A ideia de que o simples tratamento da água resolve todas as situações tem mudado para a concepção de um gerenciamento mais eficiente, enfatizando a preservação dos recursos hídricos.

Os principais organismos utilizados para avaliar impactos ambientais em ambientes aquáticos são macroinvertebrados bentônicos, peixes e comunidade perifítica. Macroinvertebrados bentônicos são organismos que vivem no fundo de ecossistemas aquáticos durante pelo menos parte de seu ciclo de vida, associado aos mais diversos tipos de substratos orgânicos e inorgânicos (Rosenberg & Resh, 1993) e existem diversos motivos para a utilização desses organismos:

- Esses animais possuem hábito sedentário, sendo representativos da área coletada;
- Apresentam ciclo de vida geralmente curtos, refletindo rapidamente as modificações ambientais através das mudanças em suas estruturas;
- Esses animais se alimentam próximos dos sedimentos onde podem ocorrer o acúmulo de toxinas;
- Elevada diversidade biológica, significando maior variabilidade de respostas;

- Eles são importantes componentes dos ecossistemas aquáticos , sendo um elo entre os produtores primários e alimentação de vários peixes. (Rosenberg & Resh, 1993; Ward et al., 1995; Reece & Richardson, 1999; Callisto et al., 2001).

### **1.6 – Bioindicadores de qualidade de ar:**

Os indicadores são utilizados para apontar a probabilidade de um contaminante causar problemas para o ambiente e para as populações. Os agentes agressores podem ser gases poluentes emanados das indústrias, chaminés, veículos e gases vulcânicos, sendo quase em toda sua totalidade resultado de ações antrópicas.

As leveduras do gênero *Sporobolomyces* são sensíveis ao dióxido de carbono e enxofre, gases poluentes atmosféricos. Sua presença em folhas de Ipê é indicadora de menores índices de poluição atmosférica.

A presença de líquens, associação simbiótica de algas e fungos, indica estresse ambiental, podendo indicar a qualidade do ar e até mesmo de metais pesados em áreas industriais. Sua presença serve de referência para baixo índice de poluição e seu desaparecimento indica alta poluição ambiental (Souza, Janete N.D.; Viana, E. e Negreiros, E.2009). Estes organismos têm uma alta longevidade, permitindo sua utilização como indicadores, em longo prazo, da deposição atmosférica do ambiente em questão.

### **1.7 – Bioindicadores de qualidade do solo:**

A qualidade do solo se refere à sua capacidade de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade da água e do ar e promover a saúde humana, das plantas e dos animais de um ecossistema. As dificuldades encontradas para o uso de indicadores para qualidade do solo se deve aos

inúmeros fatores físicos, químicos e biológicos que controlam seus processos biogeoquímicos e a complexidade dos tipos de solo.

Podem ser utilizados como indicadores bactérias e fungos que permitem a verificação da qualidade do solo, pois fazem parte da biota do solo, sendo responsáveis pelos processos de formação, decomposição, ciclagem de nutrientes, biorremediação de poluentes e agrotóxicos poluentes. Uma alta estabilidade microbiana no ecossistema do solo garante uma estabilidade do mesmo, diminuindo os efeitos das agressões ambientais geradas pela ação antrópica.

Na abordagem feita no capítulo, observa-se o conceito de bioindicadores, os principais tipos de bioindicadores, que são organismos empregados para avaliar a qualidade ambiental de determinado ecossistema ou parte dele e porque se fazer uso desses organismos. Foram abordados também os principais tipos de bioindicadores da qualidade do ar, da água e do solo.

Na sequência, serão abordados como tema a bioindicação e o biomonitoramento de comunidades biológicas, que refletem a integridade ecológica total do ecossistema, avaliando-se os efeitos de diferentes agentes impactantes. Serão discutidos também os princípios da bioindicação e biomonitoramento, assim como os diferentes tipos e formas de bioindicação.

## **CAPÍTULO II**

### **PRINCÍPIO DA BIOINDICAÇÃO**

De acordo com Maristela Zamoner (2007), a biota de uma região reflete características ambientais de maneira mais abrangente do que os métodos tradicionais e muitas vezes os métodos de bioindicação são mais úteis e econômicos do que os métodos tradicionais físico-químicos, pois as espécies estão adaptadas às condições específicas, e qualquer alteração nessas condições reflete no comportamento dessas espécies. O princípio da bioindicação é usado para o reconhecimento das condições ambientais de um ecossistema baseado nessas alterações no comportamento dos indivíduos (fauna/flora) de determinado ecossistema, garantindo uma medida do nível de poluição do local.

#### **2.1 – Bioindicação e biomonitoramento:**

Todo sistema biológico possui seus níveis de energia e matéria adaptados à uma complexa junção de fatores ambientais, como se fosse uma rede, e interagem intimamente a cada modificação de um dos seus parâmetros naturais induzindo alterações em outros aspectos devido ao grau de adaptação e seleção de cada organismo do meio em questão. Os índices bióticos tem se tornado uma ferramenta primordial para o monitoramento das condições ambientais de um modo geral considerando que determinadas espécies possuem maior ou menor tolerância à poluição e agressões no meio.

Bioindicação consiste na utilização de organismos (os bioindicadores) como forma de se avaliar a qualidade do seu ambiente ou parte dele, e biomonitoramento é o controle contínuo de um ambiente, utilizando os bioindicadores (biomonitores), estabelecendo uma comparação diária da variação de determinados índices, como por exemplo a taxa populacional de determinado organismo (bioindicador), a produção de determinadas

substâncias ou toxinas produzidas por determinada espécie (bioindicador também).

Dizer que um sistema biológico está em estado de normalidade significa que ele está funcionando de forma a atender as atividades e a produtividade biológica, as condições para o crescimento saudável dos organismos e de conservação do mesmo. Os seres vivos mantem relação entre si e com o ecossistema, e se algum fator estressor afetar uma espécie pode acarretar sérias consequências para todo o ecossistema, pois a manutenção das funções biológicas de cada espécie mantém a funcionalidade do ecossistema inteiro, causando um desequilíbrio ambiental.

Uma das principais habilidades de um organismo vivo, inclusive do homem, é a capacidade de responder a estímulos do ambiente, que ativam processos que são necessários à sua sobrevivência. Poluentes ambientais podem ser caracterizados como estímulos e provocar respostas nos organismos, o que pode ser usado como medida de indicação na determinação da presença dos mesmos no meio ambiente. O fundamento do biomonitoramento está no fato que esses estímulos ambientais (sejam eles fatores naturais – luz, suprimento de água, por exemplo; ou poluentes) provocam reações em organismos, causando alterações em seu funcionamento ou comportamento, fato este que é utilizado na avaliação da qualidade do local onde este organismo está presente e analisando o conjunto de reações bioquímicas e fisiológicas de um organismo frente a determinado estressor natural ou antropogênico, comparando-se a um ambiente controle podemos obter informações sobre o grau de poluição de determinada região, mesmo sem o aparecimento de reações visíveis.

De acordo com Simone Wiens e Christian Luiz da Silva (s/d), o tema qualidade ambiental é bastante complexo, assim como seus padrões e indicadores, pois eles levam em conta fatores subjetivos, que tem por base a percepção do indivíduo em relação ao seu ambiente e, além disso, também existem fatores econômicos, sociais, culturais e políticos, manifestados

diferentemente no espaço, possibilitando várias interpretações. A bioindicação é fundamentada no princípio de sistemas biológicos possuem estabilidade e equilíbrio dinâmico e está adaptado a um conjunto de fatores ambientais e condições necessárias e favoráveis à sua manutenção e reprodução, mas qualquer alteração em suas condições ou fatores estressores antrópicos modificam esse estado de estabilidade. Os organismos reagem, se adaptam, mas quando chegam ao extremo da sua capacidade de adaptação podem apresentar sintomas visíveis, que nestes casos podem ser reconhecidos como reações de indicação. Indicações neste contexto são as reações bioquímicas, morfológicas e fisiológicas. Alterações na concentração de ácido ascórbico, proteínas, amidos, enzimas, produção de  $O_2$  de protoplastos isolados de plantas superiores, fluorescência de clorofila de algas são alguns exemplos de parâmetros que podem ser avaliados no biomonitoramento para informações da qualidade do ecossistema. (Redação Ambiente Brasil, 2011)

A bioindicação trata da avaliação de biosistemas com base nas interações e estruturas dos ecossistemas, definindo reações dependentes de uma variável ou fator, que pode ter sido modificado por ação antrópica, através de respostas que possam ser mensuradas e comparadas com situações padronizadas. É a medida da reação de um sistema biológico, reconhecimento do efeito de um fator ambiental. Ela existe quando os valores de determinado fator ambiental se difere dos valores padrões, o que acaba estabelecendo a principal diferença entre o monitoramento físico-químico e a bioindicação. O primeiro mensura a qualidade e quantidade de fatores, podendo também avaliar os efeitos biológicos, enquanto que na bioindicação os efeitos no sistema biológicos são avaliados, podendo eventualmente obter informações sobre a qualidade e quantidade de fatores estressores (Matsuura, 2000). Na bioindicação os fatores ambientais antrópicos e naturais respondem sinergicamente, considerando a totalidade do ambiente.

De acordo com Sabrina Nolasco Carvalho de Paula (2010), um agente agressor é qualquer fator biótico ou abiótico, que isoladamente ou em conjunto, altera o equilíbrio de um ecossistema ou sistema biológico, fazendo com que

este se apresente de forma anormal. As implicações desse desequilíbrio são a necessidade da avaliação por meio de estudos e medições a frequência, duração, abrangência e a necessidade de medidas compensatórias e/ou mitigadoras através da reposição e recuperação das condições ambientais anteriores.

A bioindicação é baseada em reações visíveis do organismo indicador, nesse caso, indicação sensitiva (que faz uso de indicadores sensíveis) ou através da seleção de espécies que acumulam a substância a ser monitorada, indicação acumulativa (que faz uso de indicadores acumuladores). Segundo Mariana S. Guerra Moura e Silva (EMBRAPA, s/d), a bioindicação consiste em usar as respostas biológicas para avaliar as mudanças ambientais (geralmente antropogênicas) para controlar a qualidade do meio e que essa avaliação pelo biomonitoramento deve ser feita em conjunto com a avaliação físico-química, pois os organismos também respondem a fatores abióticos, mas uma das vantagens do biomonitoramento está no custo mais baixo, que é interessante para países em desenvolvimento.

## 2.2 - Diferentes tipos de Bioindicação :

Existem diferentes formas de bioindicação, segundo Maristela Zamoner (2007): a **bioindicação não-específica**, quando a reação pode ser provocada por diferentes fatores antrópicos; a **bioindicação específica**, que acontece quando somente um fator ambiental provocar a reação; a **bioindicação direta**, se um fator antrópico atuar diretamente sobre o sistema biológico; a **bioindicação indireta**, quando se manifesta como resultado de diversas alterações nas condições ambientais provocando respostas diferentes; a **bioindicação primária**, primeira reação de um organismo, e **bioindicação secundárias**, todas as demais reações de um organismo, diferentes da primeira. Uma bioindicação temporã, em tempo hábil para se tomar providências de controle, pode ser possível com o uso de indicadores muito sensíveis, que respondem em curto prazo a pequenas alterações provocadas no ambiente em nível de processos moleculares e bioquímicos.

Na abordagem capítulo foram discutidas as definições de bioindicação, como a utilização de organismos vivos para avaliação do desequilíbrio ambiental e o reconhecimento de condições (passadas, presentes ou futuras) de ecossistemas, bem como os princípios da bioindicação e biomonitoramento, que é um monitoramento contínuo de um ambiente e a classificação de acordo com as formas de bioindicação.

Dando seguimento, será discutido o monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos continentais. Será abordada a utilização dos macro invertebrados bentônicos, que são organismos que habitam o fundo de ecossistemas aquáticos, pelo menos em uma fase de seu ciclo de vida, associado à substratos (Rosenberg & Resh, 1993), como indicadores da qualidade da água e as vantagens do seu emprego.

## **CAPÍTULO III**

### **Monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos**

A água é um recurso precioso que tem sido um dos principais fatores limitantes ao crescimento de várias regiões e a demanda de água doce tem aumentado exponencialmente, enquanto que a qualidade da mesma tem reduzido sua disponibilidade (Redação Ambiente Brasil, 2011). Nos últimos anos, os ecossistemas aquáticos têm sido alterados significativamente em função dos impactos ocasionados pelas inúmeras ações antrópicas (mineração, uso inadequado do solo, introdução de espécies exóticas, entre outras coisas) e isso têm trazido como consequência uma queda na qualidade da água e perda da biodiversidade aquática (Michael Dave C. Goulart, Marcos Callisto, s/d).

A ideia que o tratamento de água resolveria todas as situações tem mudado. Hoje se percebe que os corpos hídricos são ecossistemas complexos, que devem ser analisados com a integração das diferentes áreas de conhecimento e devem ser enfatizados a preservação das fontes de abastecimento e recursos naturais (Buss, Daniel F., Oliveira, Renata B., Baptista, Darcílio F., 2008).

#### **3.1 – Monitoramento biológico de águas continentais**

Os ecossistemas aquáticos continentais tem tido cada vez mais importância na vida moderna, estando relacionado com as mais variadas atividades humanas, como alimentação, abastecimento de água, irrigação, energia elétrica, entre outras coisas tornando-se cada vez mais indispensáveis

(Redação Ambiente Brasil, 2011), mas esse ecossistema tem sofrido ações antrópicas, tendo sua disponibilidade diminuída em função desses impactos.

Os ecossistemas têm sofrido um processo de contaminação crescente provenientes das atividades antrópicas industriais, agrícolas e urbanas, sendo apenas a medida destes contaminantes não oferecem resposta suficiente sobre os efeitos que esses impactos têm trazido para os diversos organismos vivos nestes ambientes, por isso se faz uso de ferramentas biológicas que fornecem respostas sobre o estresse e os efeitos que esses impactos vêm causando, estabelecendo então uma relação de causa-efeito para avaliar a exposição e o efeito causados pelos diferentes contaminantes. Esses biomarcadores utilizados podem detectar de forma precoce os efeitos reais que podem estar ocorrendo em situações de exposição a contaminantes (Freire, Marina Moreira; Santos, Vanessa Gomes; Ginuino, Ione Soares Ferreira; Arias, Ana Rosa Linde, 2008).

Segundo Michael Dave C. Goulart e Marcos Callisto (s/d), os impactos tem sido avaliados através da medida de concentração de variáveis físicas e químicas, que em conjunto com a avaliação das variáveis microbiológicas (coliformes totais e fecais) são ferramentas fundamentais na classificação da qualidade da água de rios e córregos. O monitoramento físico-químico traz vantagens como a identificação imediata de propriedades da água e determinação das concentrações alteradas, entretanto também apresenta desvantagens como a descontinuidade temporal e espacial das amostragens, fornecendo apenas uma situação momentânea, sendo pouco eficiente na detecção e determinação das consequências das alterações da qualidade da água sobre as comunidades biológicas; por outro lado, as comunidades biológicas são capazes de retratar a integridade ecológica total do ambiente, fazendo a integração dos diversos efeitos dos agentes impactantes (Barbour et al., 1999). Essas comunidades biológicas apresentam adaptações e limites de tolerância a determinadas condições e alterações ambientais (Alba-Tercedor, 1996), assim o monitoramento biológico é usado como ferramenta biológica para avaliação das comunidades aquáticas.

### **3.2 – Avaliação ambiental dos ecossistemas aquáticos**

A poluição ambiental aquática ocorre desde o início da história da civilização humana, mas não havia recebido a devida atenção até que atingisse um limite que se pudessem observar seus efeitos e consequências em organismos vivos, a partir disso surge um interesse global pelas questões referentes a poluição aquática (Shahidul Islam & Tanaka, 2004).

Com o crescimento da industrialização e da urbanização os ecossistemas passaram a sofrer uma série de impactos, uma vez que essas atividades são grandes responsáveis pela contaminação dessas águas, que atingem os rios, lagos, nascentes e oceanos, carreando uma infinidade de produtos químicos em concentrações variadas. Outra importante fonte de poluição das águas são os derramamentos de óleo e outros tipos de combustíveis (Fent, 2004), o que é extremamente prejudicial, pois são substâncias tóxicas para os organismos vivos, ameaçando a biodiversidade do ecossistema. É importante lembrar que muitos desses compostos podem sofrer biomagnificação nos diferentes níveis tróficos através da teia alimentar e atingir is distantes, onde não ocorra significativa atividade humana (Sarkar et al. 2006).

O monitoramento e a avaliação dos riscos desses ambientes impactados não podem se basear apenas nas análises químicas, pois estas são insuficientes na indicação dos efeitos trazidos pelos poluentes à biota (Barsiene et al. 2006, Cajaraville et al. 2000). Portanto para avaliar esses impactos na qualidade ambiental se faz necessário mensurar os efeitos causados nos organismos vivos presentes no ecossistema (Wells et al. 2001), para isso se utilizam marcadores biológicos para determinar a condição de saúde do ecossistema em questão e identificar seus agentes estressores e/ou poluentes (Fuentes-Rios et al. 2005), esses marcadores são definidos como as alterações bioquímicas ou fisiológicas em um organismo vivo que indicam exposição a um xenobiótico e seus efeitos (Lam & Gray, 2003).

O monitoramento é realizado através da aplicação de protocolos de avaliação, índices biológicos, tendo por base a utilização desses organismos, o levantamento de modificações na riqueza e diversidade das espécies, resistência, sensibilidade a concentração de substâncias tóxicas, entre outras coisas (Barbour et al, 1999). Os principais organismos utilizados nos estudos de impactos ambientais em ambientes aquáticos são os macroinvertebrados bentônicos, peixes e comunidade perifítica.

Nesses estudos avaliativos é importante fazer a escolha da espécie mais apropriada para indicação da qualidade do ambiente. Os peixes e moluscos têm sido muito empregados como indicadores sentinelas em rotinas de biomonitoramento. Os moluscos são utilizados como biomarcador devido a sua ampla distribuição geográfica e a facilidade de aquisição em campo e a utilização de peixes é importante devido a sua cadeia trófica e valor comercial (Viarengo et al. 2007).

O uso de bioindicadores requer profundo conhecimento das funções biológicas dos organismos utilizados e possíveis variações naturais que possam influenciar seus ciclos de vida para pradonização do processo (Ricciardi et al. 2006). Alguns indicadores vêm sendo utilizados por possuírem metodologia fundamentada, fácil desenvolvimento e fornecimento de respostas em curto espaço de tempo e serem bastante sensíveis.

### **3.3 – Ecotoxicologia e o biomonitoramento de ecossistemas aquáticos**

A Ecotoxicologia Aquática surgiu como suporte nos problemas de contaminação dos recursos hídricos para prever a resposta à toxicidade de compostos químicos sinalizando seus mecanismos de ação em organismos vivos (Magalhães, Danielly de Paiva & Filho, Aloysio da Silva Ferrão, 2008). As análises químicas em conjunto com os ensaios ecotoxicológicos, fisiológicos e biomoleculares são importantes para avaliar as fontes de impacto, mas mesmo estabelecendo os limites de tolerância não é possível prever todos os possíveis

efeitos e reações com os recursos hídricos (Buss, Daniel F., Oliveira, Renata B., Baptista, Darcílio F., 2008).

A inserção da Ecotoxicologia é muito importante, pois alguns fatores não são avaliados pelas variáveis abióticas (por exemplo, a biodisponibilidade e interação entre os efeitos poluentes). Os organismos que funcionam como biosensores conseguem detectar alterações fisiológicas e no comportamento durante a exposição ao agente tóxico/poluidor.

A Ecotoxicologia tem como objetivo o estudo das formas de contaminação ambiental provocadas pela ação humana, seus mecanismos de ação e efeitos. Os testes ecotóxicológicos têm se tornado muito comum no Brasil, de acordo com Magalhães, Danielly de Paiva & Filho, Aloysio da Silva Ferrão:

“A primeira iniciativa em termos metodológicos se deu em 1975, num programa internacional de padronização de testes de toxicidade aguda com peixes, desenvolvido pelo Comitê Técnico de Qualidade das Águas da International Organization for Standardization (ISO), com participação da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a convite da Associação Brasileira de Normas Técnicas (Zagatto & Bertoletti, 2006)”

### **3.3.1 – Ensaio Toxicológicos**

A aplicação de testes toxicológicos na análise ambiental é de grande importância na medida em que as transformações químicas no meio se tornam mais complexas. A determinação isolada de parâmetros através das análise físico-químicas não informam os efeitos, as respostas nos organismos vivos. Uma abordagem do tema está na Avaliação e Identificação da Toxicidade, AIT,

que associa técnicas de preparo e fracionamento de amostras a testes de toxicidades.

Os testes de ecotoxicidade avaliam a contaminação ambiental por fontes tóxica/poluidoras, abrangendo uma grande variedade de substâncias biológicas em uma amostra ambiental por um único ensaio, detectando os efeitos de novas substâncias que possam surgir no ecossistema (Branco, 1989). Resumindo, os ensaios toxicológicos caracterizam os efeitos provenientes de uma amostra tóxica sem identificar o agente em si. São realizados com biomarcadores, devido ao pequeno limite de tolerância a determinadas substâncias químicas (Magalhães, Danielly de Paiva & Filho, Aloysio da Silva Ferrão, 2008).

### **3.3.2 – Escolha do Biomarcador**

Diversas espécies de organismos vêm sendo utilizados internacionalmente em testes de toxicidade, destacando-se as microalgas, microcrustáceos, equinóides, poliquetas, oligoquetas, peixes e bactérias. Para a escolha do organismo-teste, biomarcador, obedece-se a alguns critérios de seleção, como a abundância e disponibilidade da espécie, sua representatividade ecológica, o conhecimento biológico e fisiológico, bem como a estabilidade genética e uniformidade da sua população, baixo índice de sazonalidade, sensibilidade apurada, importância comercial, facilidade de cultivo em laboratório e se possível a espécie deve ser nativa da região (Rand & Petrocelli, 1995).

### **3.3.3 – Legislação Brasileira para ensaios ecotoxicológicos**

A ecotoxicologia ainda é uma área pouco explorada no país, e nossas leis com referência a esses ensaios ainda estão em construção. A Resolução CONAMA 357/05 regulamenta as condições e os padrões de lançamentos de efluentes, ou seja, os rejeitos líquidos industriais e domésticos devem obedecer aos padrões de emissão estabelecidos. A Resolução é uma legislação federal e permite a formulação de leis mais específicas para cada estado brasileiro,

podendo assim estabelecer os limites de toxicidade próprios de cada região em particular.

No Estado do Rio de Janeiro, a FEEMA-RJ (Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente), através da norma NT-213/1990, estipula os padrões e critérios para controle dos efluentes líquidos industriais, através de testes de toxicidade aguda com organismos aquáticos ou toxicidade crônica, pela NT-202/1986, não sendo permitido o lançamento de efluentes líquidos industriais em corpos hídricos com um número de toxicidade maior que 8 (oito).

Enquanto ainda não estão definidos quais serão os valores adotados pelos órgãos fiscalizadores o uso de biotestes permite às empresas a comunicação de que a água que sai do seu processo de tratamento atende aos parâmetros estipulados e não apresenta efeitos nocivos para o corpo receptor (Magalhães, Danielly de Paiva & Filho, Aloysio da Silva Ferrão, 2008).

Na abordagem do presente capítulo, foi apresentado o monitoramento biológico em ecossistemas aquáticos continentais, a avaliação ambiental dos mesmos. Também foi discutido o uso de ensaios ecotoxicológicos em corpos hídricos, suas aplicações e vantagens.

No seguimento, serão abordados os bioindicadores de qualidade ambiental, bem como os bioindicadores que são utilizados na rotina de avaliação dos impactos ambientais, avaliando as influências exercidas pelas variações naturais provocadas pelos fatores intrínsecos e extrínsecos.

## **CAPÍTULO IV**

### **Bioindicadores de qualidade e impacto ambiental**

Segundo a Resolução CONAMA 01/86, Impacto ambiental é qualquer alteração das condições físicas, químicas e biológicas de um determinado ambiente, resultantes da ação antrópica, que prejudiquem a saúde, segurança e bem-estar, as atividades sócio-econômicas, a biota da região e a qualidade dos recursos naturais ambientais. A avaliação de impacto ambiental tem levado em consideração os efeitos de substâncias tóxicas lançadas por fontes específicas (Karr & Chu, 1997). Os riscos ecológicos são as probabilidades que impactos possam ocorrer como resultado da ação de agentes estressores sobre ambientes naturais (USEPA, 1996) e sua avaliação é realizada através do monitoramento preventivo de determinados ecossistemas que possam estar em risco, que devem envolver monitoramento físico, químico e biológico da água, assim como a avaliação da qualidade dos habitats dos organismos em questão.

#### **4.1 – Uso de macroinvertebrados no biomonitoramento aquático**

Os procedimentos químico analíticos de rotina para as águas continentais fornecem apenas as informações sobre a qualidade da água no momento em que a amostra foi coletada, assim não traz informação sobre os eventos impactantes e poluidores a curto prazo e também não indicam alterações físicas e modificações na complexidade do habitat de um corpo hídrico porque essas avaliações não se levam em consideração sua qualidade química. A visão mais completa leva em consideração a caracterização dos organismos que vivem no próprio corpo hídrico através de ferramentas do monitoramento biológico (Baptista, Darcílio Fernandes, 2008).

Os ecossistemas aquáticos estão inseridos entre os ambientes terrestre e aquático, e com os organismos co-existindo em seus ambientes físico, químico e biológico, tendo suas biomassas, energia e informação biológica constituídas pelos fluxos que circulam internamente pelos compartimentos terrestre e aquático (Cropp & Gabric, 2002). Esses fluxos indicam a biodiversidade local ou regional, produtividade e interação entre os níveis tróficos (Callisto et al., 2001).

Um conceito que justifica a realização do biomonitoramento é o estado ecológico da qualidade da água, que se relaciona diretamente com o desvio das condições de referência do ecossistema (Karr & Chu, 2000, Bailey et al. 1998). Assim uma das características de ecossistemas de referência é a alta resiliência; nesse sentido, as áreas impactadas seriam aquelas onde a intensidade do impacto ultrapassasse a capacidade de regeneração do ecossistema, levando a degradação e muitas vezes a reversão é difícil. Por isso a definição de estado ecológico é muito mais abrangente do que a avaliação físico-química. A análise das comunidades aquáticas informam as condições ambientais durante um período de tempo refletindo possíveis críticas que tenham ocorrido naquele período (Baptista, Darcílio Fernandes, 2008).

#### **4.1.1 – Os Macroinvertebrados bioindicadores da qualidade da água**

Podemos classificar os macroinvertebrados bentônicos em três grupos, os dos organismos sensíveis (ou intolerantes), o dos organismos sensíveis e o dos organismos resistentes. O primeiro grupo são principalmente os representantes dos insetos aquáticos Ephemeroptera, Trichoptera e Plecoptera, caracterizado por organismos que necessitam de elevadas concentrações de oxigênio dissolvido na água. São habitantes de ambientes de alta diversidade. O segundo grupo também é formado por insetos aquáticos (representantes das ordens Heteroptera, Odonata e Coleoptera) e outros invertebrados incluindo moluscos e bivalves, em que a necessidade de oxigênio dissolvido na água é menor (uma vez que uma parte desse grupo, como alguns Heterópteros, Coleópteros e Gastrópodos, utilizam o oxigênio atmosférico) e a necessidade de biodiversidade também diminui em função da plasticidade do grupo. O terceiro grupo é formado por organismos capazes de viver em condição de depleção total de oxigênio, como larvas de Chironomidae, alguns Dípteros e o grupo dos Oligochaeta, que são organismos detritívoros, alimentam-se de matéria orgânica depositada no sedimento, favorecendo sua adaptação, além de serem em sua maioria de hábito fossorial, não possuindo exigências quanto à diversidade de habitats (Callisto.M.; Goulart, M.D.,s/d).

#### **4.2 – Biomarcadores de avaliação de impactos em ecossistemas aquáticos**

Alguns biomarcadores tem sido utilizados em programas de avaliação de impacto em corpos d'água por possuírem metodologias fundamentadas e de

fácil desenvolvimento, gerarem rápidas respostas, baixo custo e alta sensibilidade (Freire, Marina Moreira; Santos, Vanessa Gomes; Ginuino, Ione Soares Ferreira & Arias, Ana Rosa Linde – 2008). Além da pertinência das respostas biológicas como potenciais biomarcadores, é importante avaliar a influência das variações naturais, causadas por fatores internos e externos, para diferenciar os efeitos causados pela poluição ambiental da influência de outros fatores e variações fisiológicas normais de um biomarcador (Guerlet et al. 2007).

#### **4.2.1 – Biomarcadores utilizados em programas de avaliação de corpos d'água**

##### **1. Membrana lisossomal -**

A estabilidade da membrana lisossomal tem sido utilizada como biomarcador celular de estresse à poluição (Nicholson & Lam. 2005). Lisossomas são organelas celulares envolvidas por uma membrana semipermeável que com muitas enzimas hidrolíticas envolvidas numa série de processos celulares, incluindo digestão, defesa e reprodução (Pipe.1993, Ferreira & Dolder,2003), “além de serem as organelas responsáveis pela remoção de compostos tóxicos do citosol” (Stefanoni & Abessa. 2008).

Algumas substâncias tóxicas, como íons metálicos, hidrocarbonetos heterocíclicos e HPAs, se acumulam nos lisossomas causando perturbação e também danos à membrana lisossomal, afetando a integridade e estabilidade da membrana lisossomal, que é considerada um indicador de celular (Moore et al. 2006). Embora a capacidade de reter contaminantes de locais intracelulares seja um mecanismo protetor essencial, torna a membrana lisossomal sensível a elevadas concentrações de compostos tóxicos e com o excesso de substâncias exógenas o mecanismo de armazenagem pode aumentar a permeabilidade da membrana lisossomal ocasionando efluxo de enzimas hidrolíticas e consequente aumento da atividade autolítica celular (Viarengo,1989; Nicholson, 2001).

Muitos estudos têm demonstrado que a permeabilidade da membrana lisossomal é um útil biomarcador, uma vez que os lisossomas são alvo de vários poluentes e fazem parte de todas as células nucleadas e também são facilmente visualizados com o auxílio de um microscópio.(Viarengo et al. 2007). Logo a avaliação da sua estabilidade pode ser considerada um indicador inespecífico de estresse (Freire, Marina Moreira; Santos, Vanessa Gomes; Ginuino, Ione Soares Ferreira & Arias, Ana Rosa Linde – 2008).

## **2. Metalotioneínas (MTs) -**

São proteínas citosólicas com baixo peso molecular, altos níveis de cisteína, ausência de aminoácidos aromáticos e histidina. Têm estabilidade a altas temperaturas e têm alta afinidade por íons dos elementos dos grupos IB e IIB (Viarengo et al. 2007, Sarkar et al. 2006). Têm como função biológica a homeostase e detoxicação de metais (Montserrat et al. 2006, Viarengo et al. 2007) e através da presença de grupamentos tióis (-SH) tem a propriedade de se ligar ao excesso de metais (poluentes ou não), protegendo o organismo da toxicidade desses compostos inorgânicos, diminuindo a disponibilidade destes cátions no organismo em questão (Montserrat et al. 2006).

A produção dessas proteínas é induzida pelo aumento da entrada de metais na célula, o que torna essas metaloproteínas indicadores de exposição à contaminação por metais (Nicholson & Lam. 2005, Viarengo et al. 2007). São proteínas expressas em tecidos animais e já foram identificadas em diversos peixes e muitos invertebrados aquáticos, por exemplo, moluscos e crustáceos (Sarkar et al. 2006), por isso as MTs são ferramentas importantes na avaliação da contaminação de corpos d'água por metais.

As brânquias, os rins e a glândula digestiva de organismos aquáticos possuem alta capacidade de sintetizar MTs, estando por isso diretamente relacionadas com a entrada, estocagem e excreção de metais (Bebiano et al. 1993). A medida da concentração de MTs nesses tecidos é realizada por diversas metodologias, como avaliação espectrofotométrica, ensaio de substituição metálica, análise eletroquímica e técnicas radioimunológicas (Viarengo et al. 2007).

## **3. Acetilcolinesterase (ACHE) -**

É uma enzima que é responsável pela hidrólise da acetilcolina, que é um neurotransmissor, durante a transmissão colinérgica. A ação dessa enzima é inibida pela presença de dois grupos de pesticidas, os organofosforados e os carbamatos, que se combinam a aminoácidos específicos para inativar a enzima (Jung et al. 2007). Esses compostos, muito utilizados na agricultura, atingem os corpos d'água através de dejetos e despejos agrícolas e urbanos (Viarengo et al. 2007), contaminando rios e mares.

Ainda que esses pesticidas sofram rápida hidrólise no meio ambiente o aumento de seu uso, e conseqüentemente de seus despejos, aumentando sua

concentração no ambiente, ocasiona diversos efeitos tóxicos aos organismos deste ecossistema, dessa forma a avaliação da inibição da atividade dessa enzima (AChE) é uma ferramenta útil dos efeitos da contaminação por pesticidas Op e carbamatos, podendo ser utilizada como um biomarcador (Viarengo et al. 2007), e essa determinação da atividade da AChE é feita por método espectrofotométrico simples e de baixo custo.

#### **4. Micronúcleos -**

“Micronúcleos (MN) são formados por fragmentos acêntricos de cromossomos (efeito clastogênico) ou por cromossomos inteiros que não completaram a migração anafásica da divisão celular (efeito aneugênico)” (Pantaleão et al.2006), não sendo incorporados ao núcleo das células filhas na mitose. Esses fragmentos de cromatina, separados do núcleo principal, farão parte da célula para sempre e indicam a quebra cromossômica ou disfunções mitóticas que podem ser provocadas por compostos tóxicos (Bolognesi et al.2006).

Muitos dos compostos químicos que são lançados em corpos d’água são genotóxicos, capazes de causar mutagênese e carcinogênese e a avaliação desses efeitos através da análise das aberrações cromossomiais é difícil, mas o teste de micronúcleo, que avalia a frequência de formação de micronúcleos, é uma técnica citogenética conhecida e facilmente aplicável para avaliar danos causados por estressores ambientais (Bolognesi et al.2006).

A técnica consiste na contagem de células que apresentam um ou mais micronúcleos citoplasmáticos (Viarengo et al. 2007). Esse teste tem sido muito utilizado em programas de biomonitoramento para avaliar a exposição de organismos aquáticos a substâncias genotóxicas, que podem induzir mudanças no DNA que serão passadas para gerações futuras.

#### **5. Citocromo P-450 –**

O Citocromo P-450 pertence à família de enzimas do sistema monooxigenase de função mista (MFO) – que tem papel central no metabolismo oxidativo e na detoxicação de substâncias naturais e xenobióticas, presentes em inseticidas, pesticidas e outros (Bonacci et al.2007) – que apresenta diferentes isoformas e diferentes funções no metabolismo de compostos endógenos e xenobióticos (Goksoyr & Forlin. 1992).

A enzima EROD, presente em organismos vertebrados e invertebrados, tem o papel de metabolizar xenobióticos lipofílicos em compostos mais hidrofílicos para favorecer a sua excreção, mas muitos desses metabólitos formados no processo de detoxicação são potentemente reativos e podem ser genotóxicos, podendo causar danos ao DNA ou levar a carcinogênese. Após a exposição à xenobióticos os níveis de EROD aumentam e essa é a base da utilização dessa enzima como biomarcador dos efeitos da contaminação de corpos d'água por poluentes orgânicos (Carajaville et al. 2000).

Na abordagem do presente capítulo, foram descritos os bioindicadores de impacto ambiental. Foi discutido o uso dos macroinvertebrados como indicadores e os principais grupos utilizados, e também foram abordados os biomarcadores de avaliação de impacto em corpos d'água, assim como alguns biomarcadores utilizados em programas de avaliação de impacto em ecossistemas aquáticos.

## CONCLUSÃO

Os sistemas biológicos possuem seus níveis de energia e matéria adaptados ao conjunto de fatores ambientais, e os índices bióticos tem se tornado uma ferramenta para o monitoramento das condições ambientais em geral. O princípio da bioindicação está baseado no fato de que os sistemas biológicos possuem estabilidade e equilíbrio dinâmico, estando adaptado a fatores ambientais e condições necessárias, e que qualquer variação nessas condições ou ação de fatores estressores alteram essa estabilidade. Quando os organismos chegam ao extremo da capacidade de adaptação apresentam sinais visíveis, reações de bioindicação, reações bioquímicas, morfológicas e fisiológicas.

A demanda de água doce tem aumentado enquanto sua disponibilidade na natureza tem diminuindo. Os recursos hídricos vêm sendo impactados pelas ações antrópicas, ocasionando queda da qualidade da água e perda da biodiversidade. Os ecossistemas aquáticos são complexos e as análises físico-químicas devem ser realizadas em conjunto com a análise biológica da água.

Os problemas com recursos hídricos não podem ser tratados de forma isolada, devem estar integrados com os demais recursos ambientais. Pode-se falar em gestão ambiental de recursos hídricos como o controle não só do corpo d'água, mas também de toda região do entorno, que influencia e sofre influência do ecossistema aquático em estudo.

O uso de bioindicadores contribui na gestão dos ecossistemas aquáticos, pois trazem a informação da qualidade do mesmo e das influências que esse recurso hídrico está sofrendo do meio (ambiente do entorno) e também como essa região do entorno está sendo influenciada pelo mesmo. Os indicadores biológicos aquáticos possuem exatamente esse papel: retratar as condições do corpo d'água, permitindo a análise do grau de impacto sofrido e então promover medidas para mitigar esse impacto ou ainda podem ser úteis como parâmetros de monitoramento em determinada região para controlar os impactos gerados por alguma atividade antrópica.

**BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

[http://www.protexto.com.br/texto.php?cod\\_texto=371](http://www.protexto.com.br/texto.php?cod_texto=371), Acesso em 25/03/12

[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos\\_agua\\_doce/qualidade\\_da\\_agua\\_e\\_os\\_bioindicadores.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos_agua_doce/qualidade_da_agua_e_os_bioindicadores.html) . Acesso em 25-03-12.

[http://www.clickciencia.ufscar.br/portal/edicao17/entrevista1\\_print.php](http://www.clickciencia.ufscar.br/portal/edicao17/entrevista1_print.php). Acesso em 29-03-12.

<http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Reinos/biofungos4.php>. Acesso em 01.04.12.

[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura\\_e\\_meio\\_ambiente/arvore/CONTAG01\\_49\\_210200792814.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_49_210200792814.html). Acesso em 23.04.12

ALBA-TERCEDOR, J. 1996. **Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos**. IV SIAGA, Almeria, vol. II: 203-213.

BAILEY, R.C; KENNED, M.G.; DERVISH, M. Z.; & TAYLOR, R.M.. 1998. **Biological assessment of freshwater ecosystems using a reference condition approach: comparing predicted and actual benthic invertebrate communities in Yukon streams**. Freshwater biology, 39: 765-774.

BAPTISTA, DARCÍLIO FERNANDES. 2008. **Uso de macroinvertebrados em procedimentos de biomonitoramento em ecossistemas aquáticos**, Oecologia Brasiliensis, vol. 12, nº 3, pag. 425.

BARBOUR, M.T.; Gerritsen, J.; Snyder, B.D. & Stribling, J.B. 1999. **Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish**, 2a.ed. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.

BARSIENE, J.; LEHTONEN, K.K.; KOEHLER, A.; BROEG, K.; VUORINEN, P.J.; LANG, T.; PEMPKOWIAK, J.; SYVOKIENE, J.; DEDONYTR, V.;

- RYBAKOVAS, A.; VUONTISJARVI, H. & KOPECKA, J. 2006. **Biomarker responses in flounder (*Platichthys flesus*) and mussel (*Mytilus edulis*) in the Klaipeda-Butinge area (Baltic Sea)**. Marine Pollution Bulletin, 53: 422-436.
- BEBIANO, M.J.; NOTT, J.A. & LANGSTON, W.J. 1993. **Cadmium metabolism in the clam *Ruditapes decussate*: the role of metallothioneins**. Aquatic Toxicology, 27: 315-334.
- BOLOGNESI, C.; PERRONE, E.; ROGGIERI, P.; PAMPANIN, D.M. & SCIUTTO, A. 2006. **Assessment of micronuclei induction in peripheral erythrocytes of fish exposed to xenobiotics under controlled conditions**. Aquatic Toxicology, 78 Suppl 1: S93-98.
- BONACCI, S.; IACOCCA, A.; FOSSI, S.; LANCINI, L.; CARUSO, T.; CORSI, I. & FOCARDI, S. 2007. **Biomonitoring aquatic environmental quality in a marine protected area: a biomarker approach**. Ambio, 36 (4): 308-315.
- BUSS, DANIEL F.; OLIVEIRA, RENATA B.; BAPTISTA, DARCÍLIO F. 2008. **Monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos continentais**. Oecologia Brasiliensis, vol. 12, nº 3, pag 339.
- CAJARAVILLE, M.P.; BEBIANO, M.J.; BLASCO, J.; PORTE, C.; SARASQUETE, C. & VIARENGO, A. 2000. **The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula: a practical approach**. The Science of the Total Environment, 247(2-3): 295-311.
- CALLISTO, M.; GOULART, M.D. **BIOINDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA COMO FERRAMENTA EM ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL**. s/d.
- CALLISTO, M.; Moretti, M. & Goulart, M. 2001. **Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos**. Revta. Bras. Rec. Hid. 6 (1): 71-82.
- CARNEIRO, R.M.A. **Vegetalbioindicators of atmospheric pollution: a contribution to community health**. 2004.24p.

CROPP, R. & GABRIC, A. 2002. **Ecosystem adaptation: Do ecosystems maximize resilience.** Ecology, 83 (7): 2019-2026.

FENT, K. 2004. **Ecotoxicological effects at contaminated sites.** Toxicology, 205: 223-240.

FERREIRA, A. & DOLDER, H. 2003. **Cytochemical study of spermiogenesis and mature spermatozoa in the lizard *Tropidurus itambere* (Reptilia, Squamata).** Acta Histochemica, 105: 339-352.

FORATINI, O.P. **Ecologia, epidemiologia e sociedade.** São Paulo: Artes Médicas. Editora da Universidade de São Paulo, 1992. 529p.

FREIRE, MARINA MOREIRA; SANTOS, VANESSA GOMES; GINUINO, IONE SOARES FERREIRA; ARIAS, ANA ROSA LINDE. 2008. **Biomarcadores na avaliação da saúde ambiental dos ecossistemas aquáticos.** Oecologia Brasiliensis, vol.12, nº3, pag 347.

FUENTES-RIOS, D.; ORREGO, R.; RUDOLPH, A.; MENDOZA, G.; GAVILÁN, J.F.; & BARRA, R. 2005. **EROD activity and biliary fluorescence in *Schroederichthys chilensis* (Guichenot 1848): biomarkers of PAH exposure in coastal environments of the South Pacific Ocean.** Chemosphere, 61(2): 192-199.

GOKSOYR, A. & FORLIN, L. 1992. **The cytochrome P450 system in fish, aquatic toxicology and environmental monitoring.** Aquatic Toxicology, 22: 287-312.

GUERLET, E; LEDY, K.; MEYER, A. & GIANBÉRINI, L. 2007. **Toward a validation of cellular biomarker suite in native and transplanted zebra mussels: a 2-year integrative field study of seasonal and pollution-induced variations.** Aquatic Toxicology, 81 (4): 377-388.

JUNG, J.H.; ADDISON, R.F. & SHIM, W.J. 2007. **Characterization of cholinesterases in marbled sole. *Limanda yokohamae*, and their inhibition in vitro by the fungicide iprobenfos.** Marine Environment Research, 63 (5): 471-748.

KARR, J. & CHU, E.W. 1997. **Biological monitoring: essential foundation for ecological risk assessment.** *Human and Ecological Risk Assessment*, 3: 993-1004.

KARR, J.R. & CHU, E.W. 2000. **Sustaining living rivers.** *Hydrobiologia*, 422/423: 1-14.

LAM, P.K.S. & GRAY, J.S. 2003. The use of biomarkers in environmental monitoring programmes. *Marine Pollution Bulletin*, 46(2): 182-186.

MAGALHÃES, DANIELLY DE PAIVA & FILHO, ALOYSIO DA SILVA FERRÃO. 2008. **A ecotoxicologia como ferramenta no Biomonitoramento de ecossistemas aquáticos.** *Oecologia Brasiliensis*, vol. 12, nº 3, pag 357.

MATSUURA, KOISHIRO. *Bioindicadores em Ecossistemas.* Unesco, 2000.

MONTSERRAT, J.M.; MARTÍNEZ, P.E.; GERACITANO, L.A.; AMADO, L.L.; MARTINS, C.M.; PINHO, G.L.; CHAVES, I.S.; FERREIRA-CRAVO, M.; VENTURA-LIMA, J. & BIANCHINI, A. 2006. **Pollution biomarkers in estuarine animals: critical review and new perspectives.** *Comparative Biochemistry and Physiology part C: Toxicology and Pharmacology*, 146 (1-2): 221-34.

MOORE, M.N.; ALLEN, J.I.; MCVEIGH, A. & SHAW, J. 2006. **Lysosomal and autophagic reactions as predictive indicators of environmental impact in aquatic animals.** *Autophagy*, 2 (3): 217-220.

NICHOLSON, S & LAM, P.K. 2005. **Pollution monitoring in Southeast Asia using biomarkers in the mytilid mussel *Perna viridis* (Mytilidae: Bivalvia).** *Environment International*, 31(1): 121-132.

NICHOLSON, S. 2001. **Ecocytological and toxicological responses to copper in *Perna viridis* (L.) (Bivalvia: Mytilidae) haemocyte lysosomal membranes.** *Chemosphere*, 45: 399-407.

PANTALEÃO SDE, M.; ALCÂNTARA, A.V.; ALVES JDO, P. & SPANÓ, M.A. 2006. **The piscine micronucleus test to assess the impact of pollution**

**on Jarapatuba river in Brazil.** Environmental and Molecular Mutagenesis, 47(3): 219-224.

PAULA, SABRINA NOLASCO CARVALHO DE. 2010. **Biomonitoramento como instrumento de detecção de contaminantes ambientais.** Universidade Veiga de Almeida, Instituto Pedagógico de Vitória.

PIPE, R.K.1993. **The generation of reactive oxygen metabolites by the haemocytes of mussel *Mytilus edulis*.** Developmental and Comparative Immunology, 16: 111-122.

RAND, G.M. & PETROCELLI, S.R. 1995. **Fundamentals of aquatic toxicology.** Washington. 665p.

REECE, P.F. & Richardson, J.S. 1999. **Biomonitoring with the reference condition approach for the detection of aquatic ecosystems at risk.** In: L. M. Darling (ed.) Proc. Biology and Management of Species and Habitats at Risk. vol. 2. pp. 15-19.

Resolução CONAMA 01/86

Resolução CONAMA 357/05

RICCIARDI, F.; BINELLI, A. & PROVINI,A. 2006. **Use of two biomarkers (CYP450 and acetylcholinesterase) in zebra mussel for biomonitoring of Lake Maggiore (northern Italy).** Ecotoxicology and Environmental Safety, 63(3): 406-412.

ROSENBERG, D. M. & Resh, V.H. 1993. **Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.** In: Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. (eds.) Rosenberg, D.M. and Resh, V.H. Chapman and Hall, New York, pp. 1-9.

SARKAR, A.; RAY, D.; SHRIVASTAVA, A.N. & SARKER, S. 2006. **Molecular Biomarkers: their significance and application in marine pollution monitoring.** Ecotoxicology, 15(4): 333-340.

SHAHIDUL ISLAM & TANAKA, M. 2004. **Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis**. Marine Pollution Bulletin, 48: 624-649.

SOUZA, JANETE N.D.; VIANA, E. e NEGREIROS, E. 2009, **Líquens como bioindicadores de poluição atmosférica**. Saúde & Ambiente em Revista, vol4, nº 02, p.50.

STEFANONI, M.F. & ABESSA, D.M.S. 2008. **Lysosomal Membrane Stability of brown mussel Perna perna (Linnaeus) (Mollusca, Bivalvia) exposed to the anionic surfactante Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS)**. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, 3 (1): 6-9.

US Environmental Protection Agency (USEPA). 1996. Proposed guidelines for ecological risk assessment: Notice. FRL-5605-9. Federal Register, 61, 47552-47631.

VIARENGO, A. 1989. **Heavy metals in marine invertebrates: mechanisms of regulation and toxicity at cellular level**. Critical Reviews in Aquatic Sciences, 1: 295-317.

VIARENGO, A.; LOWE, D; BOLOGNESI, C.; FABBRI, E. & KOEHLER, A. 2007. **The use of biomarkers in biomonitoring : a 2-tier approach assessing the level of pollutant-induced stress syndrome in sentinel organisms**. Comparative Biochemistry and Physiology part C: Toxicology and Pharmacology, 146(3): 281-300.

WARD, D.; Holmes, N. & José, P. 1995. **The New Rivers & Wildlife Handbook**. RSPB, NRA e The Wildlife Trusts, Bedfordshire. 426p.

WELLS, P.G.; DEPLEDGE, M.H.; BUTLER, J.N.; MANOCK, J.J. & KNAP, A.H. 2001. **Rapid toxicity assessment and biomonitoring of marine contaminants – exploiting the potential of rapid biomarker assays and microscale toxicity tests**. Marine Pollution bulletin, 42(10): 799-804.

WIENS, SIMONE; SILVA, CHRISTIAN LUIZ DA. s/d, **Indicadores de qualidade ambiental: Uma análise comparativa.**

ZAGATTO, P.A. & BERTOLETTI, E. 2006. **Ecotoxicologia aquática – Princípios e Aplicações.** Editora Rima, São Carlos. 464p.

# ÍNDICE

FOLHA DE ROSTO	2
AGRADECIMENTO	3
DEDICATÓRIA	4
RESUMO	5
METODOLOGIA	6
SUMÁRIO	7
INTRODUÇÃO	8
CAPÍTULO I	
O que são bioindicadores.	10
1.1 – Porque usar bioindicadores	11
1.2 – Principais características dos biomarcadores	13
1.3 – Principais tipos de bioindicadores	13
1.4 – Classificação de acordo com a bioindicação	13
1.5 – Bioindicadores de qualidade de água	14
1.6 – Bioindicadores de qualidade de ar	15
1.7 – Bioindicadores de qualidade de solo	15
CAPÍTULO II	
Princípio da bioindicação	18
2.1 – Bioindicação e biomonitoramento	18

2.2 – Diferentes tipos de bioindicação	21
--	----

### CAPÍTULO III

Monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos.	23
--	----

3.1 – Monitoramento biológico de águas continentais	23
---	----

3.2 – Avaliação ambiental dos ecossistemas aquáticos	25
--	----

3.3 – Ecotoxicologia e biomonitoramento de ecossistemas aquáticos	26
---	----

3.3.1 – Ensaio toxicológicos	27
------------------------------	----

3.3.2 – Escolha do biomarcador	28
--------------------------------	----

3.3.3 – Legislação Brasileira para Ensaio Toxicológicos	28
---	----

### CAPÍTULO IV

Bioindicadores de qualidade e impacto ambiental	31
---	----

4.1 – Uso de macroinvertebrados no biomonitoramento aquático	31
--	----

4.1.1 – Os macroinvertebrados bioindicadores da qualidade da água	32
---	----

4.2 – Biomarcadores de avaliação de impactos em ecossistemas aquáticos	32
--	----

4.2.1 – Biomarcadores utilizados em programas de avaliação de corpos d'água	33
---	----

CONCLUSÃO	38
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	39
ÍNDICE	46

