

UNIVERSIDADE VEIGA DE ALMEIDA
INSTITUTO PEDAGÓGICO DE VITÓRIA
MBA EM GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

SABRINA NOLASCO CARVALHO DE PAULA

**BIOMONITORAMENTO COMO INSTRUMENTO DE
DETECÇÃO DE CONTAMINANTES AMBIENTAIS**

VITÓRIA
2010

SABRINA NOLASCO CARVALHO DE PAULA

BIOMONITORAMENTO COMO INSTRUMENTO DE DETECÇÃO DE CONTAMINANTES AMBIENTAIS

Monografia apresentada ao Curso de MBA em Planejamento e Gestão Ambiental da Universidade Veiga de Almeida, como pré-requisito para a obtenção do título de Especialista em Planejamento e Gestão Ambiental.
Orientador: Cláudia dos Santos Mello.

VITÓRIA
2010

SABRINA NOLASCO CARVALHO DE PAULA

BIOMONITORAMENTO COMO INSTRUMENTO DE DETECÇÃO DE CONTAMINANTES AMBIENTAIS

Monografia apresentada ao Curso de MBA em Planejamento e Gestão Ambiental da Universidade Veiga de Almeida, representada pelo Instituto Pedagógico de Vitória, como pré-requisito para a obtenção do título de Especialista em Planejamento e Gestão Ambiental.

Aprovada em de de 2010

Cláudia dos Santos Mello
Universidade Veiga de Almeida
Orientadora

AGRADECIMENTOS

A toda turma 7 da UVA da Barra, amigos queridos que deram mais alegria aos meus sábados.

Aos professores, que contribuíram para ampliar minha visão do mundo.

“O especialista é um homem que sabe cada vez mais sobre cada vez menos, e por fim acaba sabendo tudo sobre nada”.

George Bernard Shaw

RESUMO

A presença de contaminantes pode qualitativa ou quantitativamente alterar as características naturais do ambiente, e também sua utilização, gerando assim efeitos negativos e constituindo poluição. O foco deste trabalho é a discussão dos conceitos de bioindicação, biomonitoramento e bioindicadores, e a apresentação dos principais métodos e aplicações dos mesmos na avaliação da presença de contaminantes nos ambientes terrestre, aquático e atmosférico. A Bioindicação permite a utilização das respostas de um sistema biológico qualquer a um agente estressor, como forma de se analisar sua ação e planejar formas de controle e monitoramento da recuperação da normalidade. Esse é um tópico novo nas ciências ambientais, que tem sido chamado de Biomonitoramento. Os Bioindicadores podem ser espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas. Suas funções vitais se correlacionam tão estreitamente com determinados fatores ambientais, que podem ser empregados como indicadores na avaliação de uma dada área. Os bioindicadores são importantes ferramentas do biomonitoramento, correlacionando um determinado fator antrópico ou um fator natural com um potencial impactante. Nos últimos anos, o nível de compostos xenobióticos nos diversos ecossistemas vem aumentando de forma alarmante como resultado da atividade antropogênica sobre o meio ambiente. Tal fato tem contribuindo para a redução da qualidade ambiental, bem como para o comprometimento da saúde dos seres vivos que habitam esses ecossistemas. As informações adquiridas através do biomonitoramento podem ser empregadas na identificação de poluentes de origem local ou regional e na avaliação de efeitos com alcance local, regional ou global. Além disso, o biomonitoramento fornece informações importantes que podem ser necessárias na indicação do responsável pelos efeitos provocados, mesmo quando o agente estressor se encontra na faixa de limite aceitável.

ABSTRACT

The presence of contaminants can qualitatively or quantitatively alter the natural environment, and also its use, thereby generating negative and forming pollution. The focus of this paper is to discuss concepts of bioindicator, biomonitoring and bioindicators, and the presentation of the key methods and applications of them in assessing the presence of contaminants in terrestrial environments, aquatic and atmospheric. The bioindication allows the use of a biological system responses to either a stressor as a means of analyzing its action plan and ways to control and monitor the restoration of normality. This is a new topic in environmental science, which has been called biomonitoring. Bioindicators may be the species, species groups or biological communities. His vital functions are so closely correlated with certain environmental factors, which can be used as indicators in evaluating a given area. The biomarkers are important tools in biomonitoring, correlating a particular factor or a natural man-made with a potential impact. In recent years the level of xenobiotic compounds in various ecosystems has increased alarmingly as a result of anthropogenic activity on the environment. This has contributed to the reduction of environmental quality, as well as compromising the health of living beings that inhabit these ecosystems. The information acquired through biomonitoring can be used in identification of pollutants from local or regional origin and evaluation of effects with are local, regional or global. In addition, biomonitoring provides important information that may be needed in the statement of the person responsible for the effects caused even when the stressor is in the range of acceptable limit.

SUMÁRIO

1. Introdução	10
2. Objetivo Geral	12
2.1 Objetivos Específicos.....	12
3. Metodologia	13
3.1 Bioindicação, Biomonitoramento e Bioindicadores	13
3.2 Aplicações do Biomonitoramento	17
3.2.1 Monitoramento das Águas e de Efluentes Industriais.....	17
3.2.2 Monitoramento da Qualidade do Ar.....	24
3.2.3 Outras aplicações do Biomonitoramento.....	29
3.2.3.1 ANIMAIS PECUÁRIOS COMO INDICADORES DO BIOMONITORAMENTO DE POLUENTES AMBIENTAIS EM PROPRIEDADES RURAIS.....	29
3.2.3.2 BIOMONITORAMENTO DA ATIVIDADE TRIPANOMICIDA DE MICONIA FALLAX(MELASTOMATACEAE).....	30
3.2.3.3 VAGA-LUMES DA MATA ATLÂNTICA – BIODIVERSIDADE E USO COMO BIOINDICADORES.....	31
3.2.3.4 BIOMONITORAMENTO OCUPACIONAL DE TRABALHADORES EXPOSTOS A AGROTÓXICOS COM A APLICAÇÃO DO TESTE DE MICRONÚCLEOS E ANÁLISE DE POLIMORFISMOS.....	32
4. Considerações Finais	33
REFERÊNCIAS	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos mensuráveis dos bioindicadores.....	16
--	----

1. INTRODUÇÃO

Contaminante é todo elemento ou composto que ocorre em concentrações mais elevadas que as naturais. Já a definição de poluente é a de qualquer matéria ou energia que interfira na saúde e segurança da população, além de prejudicar suas atividades sociais e econômicas. Porém, a presença de contaminantes pode qualitativa ou quantitativamente alterar as características naturais do ambiente, e também sua utilização, gerando assim efeitos negativos e constituindo poluição. O contaminante torna-se então, um poluente (Rückert, 2010).

Em um ecossistema, energia, matéria e carreadores de informações interagem em uma intrincada rede de processos. Modificações em um compartimento necessariamente induzem alterações em outros. A frequência das alterações no sistema, entre outros, é determinada pelo grau de adaptação e seleção de processos a nível individual e de população. A compreensão dos processos envolvidos é, na melhor das hipóteses, parcial e as ferramentas que utilizamos na compreensão foca aqueles poucos aspectos que conhecemos. As dificuldades surgem com o fato de que um problema pode surgir com significados diferentes dependendo do ponto de vista e da perspectiva de avaliação.

Todo sistema biológico, independente se enquanto organismo, população ou comunidade se adaptou a um complexo de fatores ambientais ao longo da sua evolução. Na biosfera, ele conquistou um espaço e um nicho ecológico onde ele encontra as condições necessárias e favoráveis à sua manutenção e reprodução. Frente a fatores que exercem influência sobre cada organismo existe um nível específico de tolerância fisiológica, determinada geneticamente e adquirida filogeneticamente, que regula a capacidade de suportar esses fatores. Se o fator ocorre em intensidade baixa ou elevada demais, porém em nível suportável, o organismo se encontra em um péssimo fisiológico. Somente em níveis limitados, nos quais o fator alcança intensidade especialmente favorável, o organismo atinge seu ótimo fisiológico. A tolerância fisiológica, por regra, não está presente em todas as fases de desenvolvimento de um organismo, como também não se apresenta nos mesmos níveis para todos os indivíduos de uma população.

O desenvolvimento de um organismo depende, com frequência, do fator que ocorre na amplitude mais elevada ou mais estreita, ou seja, no seu péssimo fisiológico. Cada sistema biológico (organismo, população, comunidade) é capaz de

indicar o efeito de fatores ambientais, sejam eles naturais ou antrópicos. A indicação de fatores ambientais bióticos ou abióticos através de sistemas biológicos é chamada frequentemente de Bioindicação (Matsuura, 2000).

2. OBJETIVO GERAL

O principal objetivo deste trabalho é discutir a importância do biomonitoramento como técnica complementar para a avaliação da qualidade ambiental.

2.1 Objetivos específicos

- Discutir os conceitos de bioindicação, biomonitoramento e bioindicadores;
- Apresentar os principais métodos e aplicações dos mesmos na avaliação da presença de contaminantes nos ambientes terrestre, aquático e atmosférico.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou como metodologia a revisão bibliográfica acerca da importância do biomonitoramento na detecção de contaminantes ambientais.

3.1 Bioindicação, Biomonitoramento e Bioindicadores

A Bioindicação não trata predominantemente da indicação da existência, do vigor ou da intensidade de um fator ambiental, mas sim da reação do sistema biológico, ou Bioindicador. Trata-se do reconhecimento do efeito de um fator ambiental. Influências antrópicas são, em parte, novos fatores ambientais, provocando modificações antrópicas em fatores ambientais já existentes e com isso modificações em parâmetros do sistema biológico. Nisso baseia-se a principal diferença entre o monitoramento de parâmetros físicos e químicos da bioindicação de fatores ambientais. No monitoramento físico-químico aborda-se a qualidade e quantidade de fatores, podendo-se eventualmente inferir-se sobre os efeitos biológicos, enquanto que na bioindicação obtêm-se informações sobre os efeitos no sistema biológico, podendo-se eventualmente inferir sobre a qualidade e quantidade do fator estressor (Matsuura, 2000). Um agente estressor é qualquer fator biótico ou abiótico, que atuando isoladamente ou em conjunto, altera o equilíbrio de um sistema biológico, que passa a se expressar de maneira anormal. As implicações práticas desse desequilíbrio são: a necessidade de avaliar através de estudos e medições; a necessidade de prognosticar quanto a frequência, duração, abrangência, etc; a necessidade de mitigar, através de ações; e a necessidade de compensar, através da reposição ou recuperação da condição ambiental anterior. O processo de retorno à condição de equilíbrio pode ser por meio de ações naturais ou antrópicas.

A Bioindicação permite a utilização das respostas de um sistema biológico qualquer a um agente estressor, como forma de se analisar sua ação e planejar formas de controle e monitoramento da recuperação da normalidade (Louzada, 2001). Segundo Lima (2000), esse é um tópico novo nas ciências ambientais, que tem sido chamado de Biomonitoramento. A definição de biomonitoramento mais aceita é o uso sistemático das respostas dos bioindicadores para avaliar e monitorar

mudanças ocorridas no ambiente. Os programas de biomonitoramento são, em geral, utilizados na detecção do problema e posterior controle do mesmo (Souza e Fontanetti, 2007). O biomonitoramento é um instrumento de avaliação da qualidade ambiental dentro de uma escala espacial e temporal definidas. Existem vários níveis de estudos dos efeitos, indo desde a resposta de um indivíduo até da comunidade como um todo. A abordagem vai depender da questão a ser respondida. Conforme esta questão, o período de observação pode variar de poucos dias a vários anos (Lima, 2000).

Com frequência, o biomonitoramento é usado para definir reações, dependentes de uma variável temporal, a um fator ambiental antrópico ou modificado antropicamente, manifestadas através de respostas mensuráveis provenientes do bioindicador. Essas respostas têm que ser comparáveis com situações padronizadas (Matsuura, 2000).

Os Bioindicadores podem ser espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas. Suas funções vitais se correlacionam tão estreitamente com determinados fatores ambientais, que podem ser empregados como indicadores na avaliação de uma dada área. Os bioindicadores são importantes ferramentas do biomonitoramento, correlacionando um determinado fator antrópico ou um fator natural com um potencial impactante. Os bioindicadores mais utilizados são aqueles capazes de diferenciar entre oscilações naturais (p.ex. mudanças fenológicas, ciclos sazonais de chuva e seca) e estresses antrópicos (Callisto et al., 2005).

De acordo com Lima (2000), os tipos básicos de bioindicadores são chamados de "indicadores sensíveis" e "indicadores acumuladores". Matsuura (2000) concorda e acrescenta dizendo que os bioindicadores também podem ser não específicos (quando a mesma reação pode ser provocada por diferentes fatores antrópicos) e específicos (quando somente um fator ambiental provoca a reação). Se o bioindicador reage modificando seu comportamento com um desvio significativo em relação ao comportamento normal, então ele é um bioindicador sensível. Se ele, ao contrário, acumula influências antrópicas sem, contudo, mostrar danos passíveis de serem reconhecidos em um curto espaço de tempo, ele é denominado bioindicador acumulativo.

Ambos indicadores podem ser encontrados entre os organismos testes, organismos monitores e indicadores ecológicos.

Organismos testes são empregados em metodologias de laboratório altamente padronizadas, cujos resultados são também altamente reprodutíveis. Neste grupo são incluídos, entre outras metodologias, os testes com algas, daphnia, peixes, etc. Estas metodologias têm sido amplamente utilizadas no monitoramento da qualidade da água. Esforços recentes no desenvolvimento de metodologias de testes biológicos no controle da qualidade do ar, especificamente no monitoramento de emissões, têm trazido bons resultados.

Organismos monitores são geralmente empregados em metodologias que monitoram condições ambientais e que fornecem informações necessárias ao controle aplicado da poluição, especialmente da poluição do ar. No caso de "monitores biológicos ativos", eles são "introduzidos" padronizadamente no ambiente. A gramínea, por exemplo, é utilizada para avaliar o acúmulo de poluentes como metais pesados; o tabaco é empregado na avaliação do efeito do ozônio; líquens são usados na determinação de efeitos fitotóxicos e acúmulo de poluentes. Procedimentos que estudam diretamente ou coletam amostras de organismos presentes no ecossistema e as transportam para análise no laboratório são chamadas de "monitores biológicos passivos".

Ambos os indicadores, organismo teste e organismo monitor, fornecem apenas resultados auto-ecológicos, isto é, os efeitos observados não podem ser automaticamente transferidos para outros organismos ou para o ecossistema. Para se obter informações sobre as condições ou o comportamento do ecossistema como um todo, indicadores ecológicos precisam ser usados. Estes fornecem informações sobre o estado de um habitat no qual os organismos existem em condições naturais de competição. De acordo com Silvestre et al. (2007), as formigas podem contribuir para estudos deste porte, uma vez que a diversidade do grupo pode indicar o estado de conservação de um ambiente, o manejo do uso do solo, efeitos da fragmentação, da regeneração de habitats e serem indicadores de diversidade.

Louzada (2001) adota outra nomenclatura para classificar os bioindicadores. Segundo ele, os tipos mais comuns seriam:

- Espécies sentinelas – introduzidas para indicar
- Espécies detectoras – ocorrem naturalmente e respondem ao stress de forma mensurável
- Espécies exploradoras – reagem positivamente ao distúrbio ou agente estressor

- Espécies acumuladoras – acumulam agentes estressores permitindo avaliar a bioacumulação
- Espécies bio-ensaio – usados na experimentação

Ambas as classificações são corretas e correspondem aos bioindicadores usados no Biomonitoramento.

Os Bioindicadores fornecem sinais rápidos sobre problemas ambientais, mesmo antes de o homem perceber sua ocorrência e amplitude; permitem que se identifiquem as causas e efeitos entre os agentes estressores e as respostas biológicas; oferecem um panorama da resposta integrada dos organismos a modificações ambientais; permitem avaliar a efetividade de ações mitigadoras tomadas para contornar os problemas criados pelo homem.

Os atributos mensuráveis dos bioindicadores são (Louzada, 2001):

Tabela 1 - Atributos mensuráveis dos bioindicadores

Bioquímico	Fisiológico	Histológico	Indivíduo	População	Comunidade	Ecosistema
Integridade de DNA	Atividade enzimática	Necrose de tecidos	Crescimento	Abundância	Diversidade de espécies	Taxa de decomposição
Metabólitos biliares	Nível de cortisona	Agregados de macrófagos	Acúmulo de gordura	Distribuição etária	Dominância	Produtividade
Enzimas antioxidantes	Triglicerídeos	Lesões feitas por parasitas	Lesões	Razão sexual	Estabilidade	Quantidade de nutrientes
	Hormônios	Tumores	Anomalias	Movimento	Estrutura trófica	Exportação de matéria

A partir da identificação do tipo e nível das alterações e do comportamento do bioindicador frente ao agente estressor, é possível construir uma metodologia para o biomonitoramento em cada situação ambiental específica.

3.2 Aplicações do Biomonitoramento

3.2.1 Monitoramento das Águas e de Efluentes Industriais

Segundo documento da Organização das Nações Unidas (ONU), *Agenda 21* (CNUMAD, 1992:333), “a utilização da água deve ter como prioridades a satisfação das necessidades básicas e a preservação dos ecossistemas”. Dessa forma, é de fundamental importância o desenvolvimento de estudos para um diagnóstico atualizado dos recursos hídricos, aplicando metodologias que permitam o estabelecimento de planos de ações e de investimentos para atender às metas de qualidade (Souza e Fontanetti, 2007).

Para avaliar as conseqüências da poluição sobre os ecossistemas aquáticos continentais são necessários vários tipos de informações. Programas de biomonitoramento são os mais indicados para detectar o nível de comprometimento da vida aquática e avaliar o nível de degradação ambiental (Callisto et al., 2005).

A primeira abordagem visando à determinação de bioindicadores da qualidade das águas, com bases científicas, foi feita com bactérias, fungos e protozoários na Alemanha. Como praticamente qualquer grupo pode ser utilizado em programas de biomonitoramento, foram desenvolvidas metodologias de avaliação para macrófitas aquáticas, peixes e macroinvertebrados. A utilização da comunidade de peixes com essa finalidade tem sido extensamente implantada, principalmente nos Estados Unidos, inclusive com proposta de uso em programas em todo o país (Buss et al., 2003).

Nos últimos anos, o nível de compostos xenobióticos nos ecossistemas aquáticos vem aumentando de forma alarmante como resultado da atividade antropogênica sobre o meio ambiente. Tal fato tem contribuindo para a redução da qualidade ambiental, bem como para o comprometimento da saúde dos seres vivos que habitam esses ecossistemas. A biota aquática está constantemente exposta a um grande número de substâncias tóxicas lançadas no ambiente, oriundas de diversas fontes de emissão. A descarga de lixos tóxicos provenientes de efluentes industriais, os processos de drenagem agrícola, os derrames acidentais de lixos químicos e os esgotos domésticos lançados em rios e mares contribuem para a

contaminação dos ecossistemas aquáticos com uma ampla gama de agentes tóxicos como metais pesados, agrotóxicos, compostos orgânicos, entre outros.

Arias et al. (2010) estudou a contaminação do rio Paraíba do Sul por resíduos agrícolas, como fertilizantes e agrotóxicos, utilizando peixes como bioindicadores (acarás e tilápias). Para avaliar o grau de impacto, foi utilizada uma bateria de bioindicadores baseados em três níveis distintos de organização: individual, celular e molecular. Foram determinados os seguintes parâmetros:

- Ao nível individual: analisando peso/ comprimento padrão. A tilápia é uma espécie exótica invasora enquanto o acará é autóctone destes ecossistemas, o que torna interessante comparar estas espécies na avaliação do impacto da poluição.

- Ao nível celular: foi realizada a contagem de micronúcleos por cada mil eritrócitos. Ao nível celular, pode ser utilizado o teste do micronúcleo como bioindicador de genotoxicidade, uma vez que associações positivas entre exposição a misturas de pesticidas e a presença de micronúcleos tem sido observada em diversos estudos realizados com estes compostos. Os micronúcleos são massas de cromatina citoplasmática com o aspecto de pequenos núcleos, constituídos principalmente por fragmentos cromossômicos ou por cromossomos retardados durante a migração anafásica, que se detectam em células interfásicas mediante técnicas simples de coloração, aparecendo no citoplasma como pequenos fragmentos basófilos. Os micronúcleos podem aparecer por várias causas, entre elas por falha mitótica, tanto de fragmentos acêntricos de cromossomos, gerados por ruptura (clastogenicidade), quanto de cromossomos completos (aneuploidia), como consequência, geralmente, de enfermidades genéticas.

- Ao nível molecular: Como exemplo deste tipo de bioindicador podemos citar a enzima acetilcolinesterase (AChE) que pode ser utilizada na avaliação da contaminação ambiental por agentes anticolinesterásicos, pois estes compostos se ligam à enzima gerando propagação contínua do impulso nervoso e inibem sua atividade. Vários são os agentes anticolinesterásicos conhecidos, sendo os mais importantes os organofosforados e carbamatos, pesticidas largamente utilizados em atividades agrícolas e campanhas de saúde pública como "mata-mosquitos".

Ao aplicar a bateria de bioindicadores, o índice que foi utilizado para avaliar o nível mais elevado (individual), ou seja, o fator de condição, já indicou uma diferença

entre o estado de saúde dos peixes nos diferentes pontos. Os peixes com o estado mais saudável estão na região supostamente mais limpa, que utilizamos como controle. Porém, o fator de condição nos indica apenas o efeito geral da condição dos peixes, não apontando como ou em que nível os peixes estariam sendo afetados pela poluição. Descendo um nível de organização (celular), observando o bioindicador utilizado, ou seja, a presença de micronúcleos e/ou núcleos bilobados, não foram encontrados resultados que forneçam informações na avaliação dos locais estudados. Isto é, não foram encontrados dados que representem danos genotóxicos nos espécimes analisados, nem foram encontradas diferenças entre os pontos de amostragem. Ao utilizarmos os indicadores mais específicos (moleculares), pôde-se ver, através da inibição da atividade da AChE, que possibilita a avaliação do efeito dos agrotóxicos organofosforados e carbamatos na biota, que Barra Mansa e Paty do Alferes são as regiões onde os peixes estão sendo mais afetados por estes poluentes, evidenciando principalmente o efeito dos cultivos agrícolas em Paty do Alferes e mostrando que Barra Mansa, apesar de ser uma região fundamentalmente industrial, também sofre com efeitos de agrotóxicos.

Souza e Fontanetti (2007) estudaram uma região do rio Paraíba do Sul sob influência de uma refinaria de petróleo. O método de biomonitoramento usado foi o meio do ensaio do cometa, o qual detecta possíveis lesões no DNA (genotoxicidade) de organismos expostos a poluentes. Essas lesões podem, a longo prazo, constituir mutagenicidade, carcinogenicidade ou letalidade. O ensaio do cometa foi aplicado em eritrócitos de peixes *Oreochromis niloticus* (Perciformes, Cichlidae), expostos em laboratório às amostras de água oriundas do rio e possibilitou constatar lesões pré-mutagênicas.

O biomonitoramento, como método de avaliação do nível de poluição dos rios, também tem sido implantado no Brasil permitindo medir a pureza das águas a partir da observação de outro tipo de fauna da região. Rios em cujas águas ou margens há grande variedade de espécies de macroinvertebrados (como insetos e moluscos) e diversidade vegetal são pouco poluídos. Em contrapartida, a presença de larvas de certos insetos pode ser vestígio de poluição. A avaliação do rio é feita segundo uma escala em que os macroinvertebrados são classificados em função do grau de tolerância com que vivem em ambientes pouco oxigenados. Isso se deve à redução dos níveis de oxigênio causada pela grande proliferação de bactérias na poluição orgânica (como o esgoto doméstico). Se, ao monitorar um rio, o pesquisador notar a

predominância dos invertebrados tolerantes sobre os poucos resistentes, isso pode significar baixa oxigenação da água e, portanto, poluição. Como a vida dos animais não se renova de um dia para o outro, a amostra recolhida em um dia é suficiente para identificar a qualidade da água da região - e basta uma peneira para fazer a coleta. O monitoramento tradicional representa apenas a situação no exato momento da tomada das amostras (Abrantes, 2002).

Os macroinvertebrados bentônicos têm sido amplamente utilizados como bioindicadores de qualidade de água e saúde de ecossistemas por apresentarem as seguintes características: ciclos de vida longo, comparando-se com os organismos do plâncton que em geral tem ciclos de vida em torno de horas, dias, 1 ou 2 semanas; os macroinvertebrados bentônicos podem viver entre semanas, meses e mesmo mais de 1 ano; em geral, são organismos grandes (maiores que 125 ou 250 µm), sésseis ou de pouca mobilidade, ou seja, são relativamente sedentários e mais fáceis de serem amostrados do que os organismos nectônicos, como os peixes; fácil amostragem, com custos relativamente baixos; elevada diversidade taxonômica e de identificação relativamente fácil (ao nível de família e alguns gêneros); organismos sensíveis a diferentes concentrações de poluentes no meio, fornecendo ampla faixa de respostas frente a diferentes níveis de contaminação ambiental (Callisto, 2005).

Hepp (2007) coloca que dentre os inúmeros macroinvertebrados bentônicos, pode-se destacar:

- 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 ostrácodes, decápodes, copépodes e cladóceros, sendo, os primeiros, os mais freqüentes, e grandes consumidores de bactérias, detritos e algas;
- Insetos: os mais freqüentes. Grande número de espécies de insetos é 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.

O nível de adaptação morfológica e comportamental dos invertebrados que os permite explorar os diversos recursos alimentares pode ser obrigatório ou facultativo. As formas especialistas obrigatórias (espécies com dieta alimentar muito restrita), são mais rapidamente deslocadas do que as generalistas facultativas (espécies que se alimentam de várias fontes – vegetal e/ou animal). Estas últimas são mais tolerantes sob condições de distúrbio, pois conseguem se adaptar mais facilmente a mudanças no tipo e na disponibilidade de alimento. De acordo com a natureza do alimento e seu modo de captura (e conseqüentemente da adaptação de seu aparelho bucal para tal função), temos algumas classificações bastante comuns, como por exemplo: filtradores, coletores, coletores-filtradores (estas três categorias se alimentam de partículas livres no substrato ou na água, menores do que 1 mm); raspadores (alimentam-se de material preso ao substrato, como algas); fragmentadores (alimentam-se de partículas maiores do que 1 mm, como folhas), predadores (alimentam-se de outros animais). Como exemplos da classe Insecta dentro dessas categorias de alimentação temos: filtradores e coletores – larvas de Diptera (Sub-Família Orthocladiinae), alguns gêneros ordem Ephemeroptera (Família Baetidae); raspadores – Família Psephenidae (Coleoptera - besouros); fragmentadores – larvas de Lepidoptera – borboletas e mariposas (família Pyralidae); predadores - ninfas de Odonata (libélulas) (Silveira 2004).

É constatado que, em locais considerados com água de má qualidade, não é encontrado nenhum táxon pertencente às ordens Ephemeroptera, Trichoptera e Plecoptera, espécies altamente intolerantes de poluição (Hepp, 2007). Segundo Salles et al. (2004), os Ephemeroptera estão também entre os grupos mais utilizados em programas de biomonitoramento de qualidade da água, em função das distintas respostas apresentadas por suas espécies à degradação ambiental. Para Martins-Silva (2008) a ordem Trichoptera representa um importante componente dos ecossistemas de água doce, participando da transferência de energia e nutrientes através de todos os níveis tróficos, apresentando pouca seletividade alimentar, mas com alta especialização na obtenção de alimento. Apresentam grande diferença específica em relação à tolerância aos poluentes e outros tipos de distúrbios

ambientais, o que dá ao grupo grande importância em programas de monitoramento biológico.

Por outro lado, há organismos muito adaptados a ambientes altamente impactados, como é o caso da família Chironomidae (Diptera). As espécies dessa família são muito tolerantes a condições adversas, tendo preferência por habitar locais com grande disponibilidade de substâncias húmicas e fúlvicas, além de serem muito comuns em ambientes altamente eutrofizados. Dessa forma, desenvolveram mecanismos fisiológicos para sobreviverem em ambientes com baixas taxas de oxigênio dissolvido (Hepp, 2007).

Avelar et al. (1998) avaliaram uma possível contaminação do Rio Pardo (SP) por compostos organoclorados de efluentes domésticos urbanos usando como bioindicador o bivalve *Anodontites trapesialis*. Os compostos organoclorados são muito lipossolúveis, tendo grande capacidade de acumular-se no tecido adiposo de animais. No caso deste estudo, o uso deste macroinvertebrado no biomonitoramento é indicado porque eles são sedentários, se enterram no sedimento e filtram grandes quantidades de água. Estes moluscos costumam se enterrar na lama ou argila em áreas de remanso, e se alimentam de partículas em suspensão na água, principalmente fitoplâncton.

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.

Os macroinvertebrados bentônicos também são bastante utilizados na avaliação de ecossistemas marinhos e costeiros.

Bellotto et al. (2004) usaram mexilhões transplantados da espécie *Perna perna* para avaliação da evolução temporal da bioacumulação de metais e das respostas biológicas a ela associada, em uma área de descarga de efluente de uma Planta industrial de beneficiamento de aço. Os moluscos bivalves, entre eles os mexilhões, são reconhecidamente os melhores biomonitores em ambientes aquáticos e utilizados em programas nacionais e internacionais de monitoramento ambiental. Estes biomonitores podem ser usados para determinar variações espaciais e/ou temporais na biodisponibilidade de metais pesados no ambiente marinho, oferecendo medidas das frações da carga total de metais no ambiente que são relevantes do ponto de vista ecotoxicológico.

Segundo Castilho-Westphal (2008) o caranguejo Uça, o *Ucides cordatus*, pode ser um importante bioindicador de qualidade ambiental, pois além de ser encontrado em grande parte do litoral brasileiro, demonstra sensibilidade a diversos poluentes. Eles ressaltam a eficiência do *U. cordatus* como bioindicador de genotoxicidade em áreas de manguezal, propiciando a conservação e o biomonitoramento ambiental. Indicam o *U. cordatus* como um excelente bioindicador da presença de óleo em manguezais. O benzeno, composto químico largamente utilizado como solvente industrial, é uma fonte em potencial de contaminação de áreas de manguezais. A utilização de *U. cordatus* como bioindicador parece viável, pois uma breve exposição ao benzeno é capaz de causar mudanças metabólicas significativas, podendo comprometer processos vitais. A utilização de *U. cordatus* como bioindicador também pode ser realizada para avaliação da presença de poluentes contendo metais pesados. A ação de metais pesados no organismo de *U. cordatus* revelou sinais de comprometimento do sistema hormonal.

Dias et al. (2008) avaliaram as variações ambientais na lagoa da Conceição, em Florianópolis – SC através da análise de foraminíferos, microorganismos unicelulares heterotróficos, componentes da microfauna bentônica ou planctônica marinha e salobra. Em áreas da lagoa com despejo de esgoto doméstico e conseqüente aumento da disponibilidade de matéria orgânica, foi observado um aumento da densidade populacional de foraminíferos.

A fauna aquática pode ser um instrumento de biomonitoramento, mas não é o único. Em estudos de ecossistemas em águas continentais, a análise da comunidade fitoplanctônica é de significativa importância para que se obtenha uma compreensão adequada das condições existentes no meio aquático, tendo em vista que o fitoplâncton representa a unidade básica de produção de matéria orgânica nos ecossistemas aquáticos. Esses organismos respondem rapidamente (em dias) às alterações ambientais decorrentes da interferência antrópica ou natural, que provocam mudanças na sua composição, estrutura e taxa de crescimento. Um dos maiores problemas em reservatórios é a eutrofização que é causada geralmente pelo aporte excessivo de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Como conseqüência desse processo, ocorre um desenvolvimento excessivo de organismos planctônicos, entre eles espécies que podem ser tóxicas, como as cianofíceas, sobre as quais se estima uma toxicidade de 50%. Carvalho (2003) utilizou a comunidade fitoplanctônica como instrumento de biomonitoramento em reservatórios de água no

estado de São Paulo em sua tese de doutorado e concluiu que essa comunidade mostrou ser uma boa ferramenta em programas de biomonitoramento.

Macrófitas aquáticas também são utilizadas em programas de biomonitoramento devido à sua propriedade de bioacumulação. Bento et al. (2007) reforça que as propriedades das macrófitas aquáticas na retenção física de materiais particulados, sejam inorgânicos ou não, são bem reconhecidas na literatura, bem como a absorção de nutrientes e metais pesados.

Programas de Biomonitoramento utilizam-se de métodos úteis na avaliação da eficiência de estações de tratamento de esgotos e efluentes industriais e subseqüentes lançamentos em corpos d'água, impactos de assoreamentos, chuva ácida, práticas agrícolas, remoção de vegetação ciliar nas margens de rios e efeitos na introdução de espécies exóticas sobre populações naturais (Callisto et al., 2005).

3.2.2 Monitoramento da Qualidade do Ar

O desenvolvimento industrial e urbano tem originado, em todo o mundo, um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos. O acréscimo das concentrações atmosféricas de tais substâncias é responsável por danos na saúde, e a sua deposição no solo, nos vegetais e nos materiais, causa redução da produção agrícola, danos nas florestas, degradação de construções e obras de arte e, de uma forma geral, origina desequilíbrios nos ecossistemas (Véras et al. 2007).

Caracteriza-se como poluição do ar a presença ou o lançamento de uma substância na atmosfera que se apresenta acima de um limite de aceitabilidade para o bem-estar de seres humanos, animais, infra-estrutura e meio ambiente, seja ela de origem antrópica ou natural. No Brasil, o órgão que regulamenta os padrões de lançamento é o CONAMA expresso na forma de lei pela Resolução CONAMA nº. 3, de 28/06/1990. Ela define poluentes do ar como sendo:

“(...) qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e a flora (...) e às atividades normais da comunidade”.

Visando o controle dessas emissões, o biomonitoramento apresenta-se como ferramenta para mensurar os danos ocasionados aos seres vivos, oriundos da poluição atmosférica (Martins, 2009). As medidas e registros efetuados por redes convencionais de monitoramento da qualidade do ar permitem verificar se normas e limites estabelecidos ou recomendados pela legislação, agências ambientais e órgãos de promoção da saúde humana estão sendo respeitados. Entretanto, tais medições não permitem conclusões imediatas sobre as conseqüências de poluentes nos seres vivos. Assim, o biomonitoramento deve ser considerado como um método complementar na análise de poluentes, podendo constituir-se em um terceiro sistema de informações, além dos inventários de emissões e de concentrações ambientais (Carneiro, 2004).

Com o objetivo de sensibilizar a população europeia em relação à poluição atmosférica, visando uma mudança de comportamento na população, foi lançado, em 1999, a Rede europeia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (Martins, 2009). Para monitorar a qualidade do ar as plantas são muito úteis por apresentarem fácil manuseio, cultivo, cuidados e custos relativamente baixos, mostrando respostas conservativas e de fácil avaliação (Lira et al., 2008).

O programa envolveu as seguintes cidades: Edimburgo e Sheffield (Reino Unido), Copenhagen (Dinamarca), Düsseldorf (Alemanha), Grande Nancy e Grande Lyon (França), Klagenfurt (Áustria), Verona (Itália) e Catalunha/Barcelona (Espanha), mais a cidade de Ditzingen (Alemanha), apresentando duração de 3 anos, consistindo na maior rede de monitoramento da Europa.

Para o biomonitoramento da qualidade do ar foram escolhidas 5 espécies de plantas, essas divididas em dois grupos: as plantas de acúmulo (aquelas que acumulam substâncias em seus tecidos, tais como metais pesados e enxofre) e as plantas de alteração (aquelas que apresentam mutações genéticas em sua formação). As plantas utilizadas foram, o tabaco (*Nicotina tabacum*), o choupo (*Populus nigra*), a *Tradescatia* (hibrido entre *Tradescatia subicaulis* e *T. hirsutifolia*), gramíneas (*Lolium multiflorum*) e a couve (*Brassica oleracea*). Essas foram expostas no período de 30 horas até 8 semanas dependendo da espécie.

O tabaco devido à concentração de ozônio apresentou necrose foliar, este foi exposto no período de 2 semanas. O choupo também apresentou alta concentração de ozônio com posterior necrose foliar, crescimento e perda de folhas, e foi exposto

durante 14 semanas. As gramíneas apresentaram acúmulo de metais pesados, e foram expostas no período de 4 semanas. A *Tradescantia* apresentou mutações genéticas na célula mãe, foi exposta durante 30 horas. A couve apresentou acúmulo de hidrocarbonetos aromático e ficou exposta no período de 8 semanas. Verificou-se que o biomonitoramento apresenta-se como um processo complementar ao monitoramento tradicional, o qual não substitui os métodos já. Sendo assim o biomonitoramento é uma ferramenta no controle de poluição, pois "torna visível" seus aspectos negativos (Martins, 2009).

No Brasil, O interesse na utilização de angiospermas para a detecção de agentes ambientais com potencial mutagênico tem sido crescente. *Tradescantia* é uma espécie que apresenta fácil adaptação em qualquer ambiente e pode se desenvolver durante todo o ano. É uma espécie muito comum encontrada facilmente em canteiros e jardins de várias cidades.

O teste de micronúcleo realizado com *Tradescantia* é um dos ensaios mais comumente utilizados para a detecção de efeitos genotóxicos em organismos. O teste é fundamentado na formação de micronúcleos, que são resultantes de quebras nos cromossomos durante a meiose dos grãos de pólen das inflorescências da *Tradescantia* ssp.

Campos Junior e Kerr utilizaram essa técnica para avaliar a qualidade do ar do município de Uberlândia, MG, alegando que a cidade se tornou nos últimos anos o maior centro atacadista da América Latina, o que lhe trouxe uma significativa deterioração da qualidade ambiental do ar devido ao aumento do tráfego de veículos, especialmente os de grande porte, que são movidos a diesel. A atmosfera urbana da cidade passou a conter complexas misturas de poluentes, incluindo substâncias mutagênicas e carcinogênicas.

A Secretaria de Estado do Mato Grosso, no âmbito da Coordenadoria de Vigilância em Saúde Ambiental também realizou o teste de genotoxicidade no projeto piloto de Biomonitoramento com *Tradescantia pallida* em municípios com alto Risco Ambiental. Além de avaliar os poluentes convencionais PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂ e O₃, esses vegetais superiores podem avaliar os elementos bioacumulados, tais como metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos e compostos halogenados, aferindo a estes a estimativa do impacto à saúde (Lira et al, 2008).

Martins et al. (2006) utiliza o tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) para o biomonitoramento da poluição atmosférica no município de Uruguaiana, RS. O tabaco é um bioindicador do ozônio, padronizado e utilizado internacionalmente. O ozônio (O₃), na estratosfera, representa o importante papel de proteger a Terra dos raios ultravioletas do sol, mas quando se encontra na camada mais próxima do solo (a troposfera, onde vivemos) é altamente tóxico mesmo em pequenas concentrações.

Após exposição na região de interesse, as folhas do tabaco são analisadas visualmente quanto á presença de necroses foliares, padrão de crescimento e teor de clorofila. Esses sintomas são resultantes da interação do ozônio com alguns componentes da célula do tecido foliar; colapso da célula e água concentrada na vizinhança da interação; branqueamento da clorofila dentro da célula injuriada e colapso da estrutura foliar em torno da célula danificada. Essa espécie desenvolve primeiramente lesões bifaciais e mostram diferenças nas quantidades de injúrias agudas e crônicas, quando expostas a diferentes doses de exposição em ambientes controlados e sob condições de campo.

Outro bioindicador, a *Mangifera indica* L. (mangueira), tem sido bastante empregada no biomonitoramento passivo, pois além de possuir reações específicas, mensuráveis e conhecidas a determinados poluentes, é acumuladora de enxofre, um dos poluentes mais presentes nas cidades de tráfego automotivo intenso. Vêras et al. avaliaram o conteúdo de enxofre de folhas de mangueira, como metodologia integrante do Programa de Biomonitoramento da Qualidade do ar de Salvador, BA. No Programa também foi avaliado, através do biomonitoramento ativo, o musgo *Sphagnum* sp, padronizado internacionalmente, que sendo utilizado no biomonitoramento de metais pesados e enxofre em várias pesquisas, pois apresenta um grande número de grupos funcionais aniônicos protonados (sítios de troca iônica) e na forma de ácidos urônicos, que conferem a ele a capacidade de bioacumular os poluentes.

Na região do Vale do aço, MG, pesquisas com a briófito *Sphagnum* sp. vem sendo propostas para avaliar a presença de metais e elementos tóxicos presentes no ar. Lopes et al. analisou os teores de metais nos ar e comparou os teores obtidos nas amostras de regiões mais próximas e mais distantes das principais indústrias metalúrgicas da região. Foi possível assim comprovar a eficiência da bioacumulação de metais pelas amostras de briófitas, podendo utilizá-la em um biomonitoramento

extensivo da poluição atmosférica em regiões industriais. Drumond (2010) também vem estudando o potencial de bioacumulação de metais das briófitas na região através da metodologia moss-bag. O método “moss-bag” consiste na exposição de saquinhos de nylon, contendo o musgo, em áreas industriais. Henriques et al. (2007) utilizaram o método para a detecção de cádmio, metal que causa impactos a saúde e meio ambiente, sendo comprovadamente um agente cancerígeno, teratogênico e que pode ocasionar danos ao sistema reprodutivo, na atmosfera do distrito industrial do município de Rio Grande-RS, através do biomonitoramento ativo com o musgo *Sphagnum sp.*

Além de Fanerógamas e Criptógamas, associações de algas e fungos como os líquens podem ser usados como bioindicadores da qualidade do ar, devido à sensibilidade dos mesmos aos poluentes. Lemos et al. (2004) apresentam o método de monitoramento passivo com o uso de líquens, aplicado na área da Usina Termoeletrica de Canoas, RS, objetivando avaliar possíveis impactos da poluição atmosférica. O método consiste na constatação, observação e análise de danos ocasionados na liquenoflora local relacionando-os com as condições do ambiente. Para tanto, foram analisados dados através do levantamento da frequência, cobertura e diversidade das espécies de líquens que ocorrem nas áreas de influência direta e indireta da usina. Espécies liquênicas consideradas medianamente tolerantes à poluição apresentaram maiores índices de cobertura e frequência, enquanto as mais sensíveis foram encontradas em 3 das 5 estações, porém com tamanho reduzido.

Carneiro (2004) realizou um trabalho que teve por objetivo identificar, por meio de revisão sistemática de literatura desenvolvida por dois revisores independentes, espécies vegetais (vasculares, musgos e líquens) utilizadas como bioindicadores, referente ao período de janeiro de 1997 a junho de 2003, em estudos experimentais e observacionais, associando-as a poluentes atmosféricos. De um total de 4547 trabalhos científicos sobre bioindicadores, foram pré-selecionados 279 estudos referentes ao uso de vegetais bioindicadores de poluição atmosférica, publicados nos idiomas inglês, espanhol e português, realizados em 34 diferentes países. Constatou-se que o uso da metodologia de revisão sistemática permitiu levantar o conhecimento das experiências acadêmicas nesta área de estudo, ampliando o conhecimento sobre esse tema. Os resultados ainda revelaram a utilização de 112 espécies vegetais, sendo 64 espécies pertencentes à divisão

Angiospermae; 11 espécies da divisão Coniferophyta; 22 espécies de líquens e 15 espécies de musgos, relacionadas ao monitoramento de um ou mais dos seguintes poluentes atmosféricos: metais pesados, ozônio, material particulado, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, fluoretos, compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos. Constatou-se, assim, a existência de uma quantidade significativa de estudos dessa natureza, principalmente nos países europeus, baseados na padronização de ensaios e biomonitores, desde o ano 2000.

Seguindo uma outra proposta de estudo, Coronas (2008) resolveu monitorar áreas que recebem as emissões atmosféricas do complexo petroquímico do sul, Triunfo (RS), de uma refinaria de petróleo em Esteio (RS) e, para comparação, uma área urbana em Porto Alegre (RS) utilizando a população humana como bioindicador de poluição. Amostras de sangue e mucosa oral de homens residentes e/ou trabalhadores na área influenciada pela refinaria de petróleo foram avaliadas quanto ao dano no DNA através do ensaio do cometa e micronúcleo, respectivamente. Este grupo de indivíduos foi comparado a um grupo de referência similar entre os habitantes do município de Santo Antônio da Patrulha (RS), caracterizado como fora das principais áreas industriais do Estado. Não houve diferença entre a frequência de células micronucleadas entre os grupos. No entanto, o ensaio do cometa se mostrou sensível na detecção de dano ao DNA em indivíduos do grupo exposto. Todos os locais estudados apresentaram respostas positivas para mutagenicidade e indicaram a presença de mutágenos diretos e indiretos, e de nitrocompostos, como nitroarenos, aminas aromáticas e nitro-PAHs. Os ensaios biológicos utilizados no diagnóstico ambiental e no biomonitoramento da população foram ferramentas úteis na avaliação de áreas influenciadas por atividades humanas. Esses resultados indicam que os atuais parâmetros de qualidade do ar não são suficientes para evitar efeitos adversos ao ambiente e à saúde humana na região estudada.

3.2.3 Outras aplicações do Biomonitoramento

3.2.3.1 ANIMAIS PECUÁRIOS COMO INDICADORES DO BIOMONITORAMENTO DE POLUENTES AMBIENTAIS EM PROPRIEDADES RURAIS.

Nesse estudo de Marçal et al., bovinos e eqüinos foram utilizados como bioindicadores, para se avaliar a poluição ambiental ocasionada por uma indústria metalífera, numa localidade rural no estado do Paraná. Os animais eram criados nas circunvizinhanças de uma fábrica produtora de grande quantidade de baterias para veículos automotores. Análises laboratoriais da água de beber, solo, capim e sal mineral foram efetuadas para se investigar as fontes de toxidez dos animais. Um total de 25 animais foram monitorados por meio de análises hematológicas, para se investigar a presença de chumbo inorgânico, considerado como elemento metálico prioritário e/ou essencial na manufatura de baterias automotivas. Os resultados demonstraram haver comprometimento da saúde dos animais pela poluição ambiental nos efluentes industriais líquidos e gasosos incorporados às pastagens e fontes de água.

3.2.3.2 BIOMONITORAMENTO DA ATIVIDADE TRIPANOMICIDA DE *MICONIA FALLAX* (MELASTOMATACEAE).

O objetivo do trabalho de Martins, Cunha e Albuquerque consiste em investigar quimicamente a espécie vegetal *Miconia fallax* e avaliar a atividade tripanomicida dos extratos brutos e substâncias isoladas.

O *Trypanossoma cruzi* é um protozoário, agente etiológico responsável pela doença de Chagas, e vem sendo um sério problema em países sul americanos, dentre eles o Brasil. A doença é normalmente transmitida através de seu vetor, um inseto hematófago popularmente conhecido como “barbeiro”, o qual, após a sua picada, é capaz de inocular o *T. cruzi* no sangue de hospedeiros. Segundo o Ministério da Saúde, esse modo de transmissão está sob controle em nosso país, restringindo-se apenas a algumas áreas endêmicas. Entretanto, uma outra maneira de se contrair a doença, ainda mais preocupante por atingir grandes centros urbanos, é através de transfusões de sangue contaminado. Além de testes sorológicos, a adição de substâncias químicas no sangue armazenado é realizada com a finalidade de se eliminar o parasita. A violeta genciana tem sido o agente profilático usado em bancos de sangue, mas há sérias restrições ao seu uso. Por esta razão, um comitê de especialistas da Organização Mundial de Saúde recomenda a procura por outras substâncias ativas que possam ser empregadas

como agentes quimioprofiláticos. Nos últimos anos um esforço na tentativa de se encontrar novos tripanomicidas, mais ativos e menos tóxicos, levou ao ensaio de aproximadamente 1000 drogas existentes no mercado, mas nenhuma substituiu a violeta genciana. Por outro lado, diferentes classes de produtos naturais revelaram-se ativos contra *T. cruzi*, porém estas substâncias naturais ativas apresentaram o inconveniente da insolubilidade em água, o que impossibilita a sua adição ao sangue e, portanto, sua utilização. Desta forma, a busca por novos tripanomicidas para a profilaxia da transmissão transfusional da doença de Chagas ainda continua.

3.2.3.3 VAGA-LUMES DA MATA ATLÂNTICA – BIODIVERSIDADE E USO COMO BIOINDICADORES

Dada a importância dos organismos bioluminescentes, sua conservação é prioridade para Vadim Viviani, professor do campus de Sorocaba da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Ele investiga, há mais de dez anos, o mecanismo de funcionamento da bioluminescência e as possibilidades de aplicação como agentes bioanalíticos, bioindicadores e biossensores. Segundo o pesquisador “Com os impactos ambientais, a riqueza desses organismos está se perdendo. Para utilizar espécies como o vaga-lume para essas finalidades, é necessário preservá-las, principalmente conservando seus ambientes naturais”.

Nesse estudo, a equipe orientada pelo pesquisador está catalogando a biodiversidade de vaga-lumes na Mata Atlântica do Estado de São Paulo, estudando sua evolução sob o aspecto molecular e avaliando algumas espécies-chave como indicadores ambientais de áreas palustres e ribeirinhas.

A Mata Atlântica é um dos ecossistemas mais ricos em vaga-lumes no mundo. Em um único trecho, em Salesópolis (SP), por exemplo, foram catalogadas 50 espécies. Segundo Viviani, embora o Brasil concentre cerca de 25% das 2 mil espécies descritas, não se aproveita o potencial do vaga-lume como bioindicador de impacto ambiental. Existem espécies que vivem em ambientes palustres (aquáticos). Quando a água está poluída desaparece o caramujo, que é o alimento do vaga-lume, e, com isso, a espécie some. Já em locais em que os cursos de água (brejo) estão preservados, o inseto permanece ou volta. “No Japão, vaga-lumes são muito usados como bioindicadores na recuperação de cursos de água”, comentou.

Tais insetos também são bons modelos para entender o impacto da poluição luminosa. Eles usam seu sinal luminoso para fins de reprodução – é um padrão de comunicação sexual. Quando o nível de iluminação de fundo aumenta, macho e fêmea não conseguem se localizar pelo sinal. De acordo com Viviani, o impacto da poluição luminosa ocorre em diversos organismos, principalmente os noturnos. Pode afetar a relação predador-presa, tornando um ou outro mais visível.

3.2.3.4 BIOMONITORAMENTO OCUPACIONAL DE TRABALHADORES EXPOSTOS A AGROTÓXICOS COM A APLICAÇÃO DO TESTE DE MICRONÚCLEOS E ANÁLISE DE POLIMORFISMOS

Segundo Pessoa et al., o Brasil é um dos países líderes no uso de agrotóxicos, que incluem uma numerosa e diversificada gama de produtos com diferentes composições. A utilização destes pesticidas, sem os cuidados básicos para a proteção dos trabalhadores, leva a uma série de efeitos adversos a saúde humana. Eles realizaram um estudo de Biomonitoramento Toxicogenético de trabalhadores expostos a agrotóxicos, caracterizado como pesquisa citogenética. A amostra utilizada neste estudo consta de 100 trabalhadores - do sexo masculino - expostos a pesticidas, que trabalham em lavouras de milho, feijão, melancia, limão e manga. Os controles foram pareados pela idade, sexo, grupo étnico, hábitos de fumar e consumo de álcool. Em conclusão, os achados mostrados neste estudo enfatizam o potencial genotóxico dos pesticidas tendo o teste de Micronúcleos condições para avaliação destes efeitos, como Biomonitoramento Genético de trabalhadores expostos aos efeitos nocivos dos produtos químicos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão se propôs a discutir o biomonitoramento e conceitos relacionados às várias áreas envolvidas na questão da poluição ambiental por contaminantes.

As informações adquiridas através do biomonitoramento podem ser empregadas na identificação de poluentes de origem local ou regional e na avaliação de efeitos com alcance local, regional ou global. Além disso, o biomonitoramento fornece informações importantes que podem ser necessárias na indicação do responsável pelos efeitos provocados, mesmo quando o contaminante se encontra na faixa de limite aceitável. Assim, índices podem ser criados especificamente para detectar derramamento de óleo, poluição orgânica, alteração de pH da água, lançamento de pesticidas, entre outros (Buss, 2003).

A área de monitoramento biológico é jovem, tendo a Europa como palco principal de desenvolvimento, com enfoque na avaliação da poluição atmosférica. No Brasil esta metodologia começa a despertar interesse para questões voltadas à avaliação de impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, Antonio. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro – Redetec, 2002. Disponível em <http://www.redetec.org.br/inventabrasil/biomon.htm>. Acesso em 16/06/2010.

ARIAS, Ana Rosa Linde et al. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. 2010. Disponível em <http://br.monografias.com/trabalhos903/bioindicadorescontaminacao>. Acesso em 16/06/2010.

AVELAR, W. E. P., SOUZA, A. D. G. de LOPES, J. L. C., CASANOVA, I. C. Biological monitoring of organochlorine pesticides using *Anodontites trapesialis* (Lam, 1819), (Bivalvia: Mycetopodidae) in a lotic environment – urban sewage. *Ciência e Cultura*. São Paulo, v. 50, n. 6, p. 452-456, 1998.

BELLOTTO V. R. et al. Biomonitoramento ativo de metais traço e efeito biológico em mexilhões transplantados para área de influência de efluente de Indústria de beneficiamento de aço - Fase I. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 9(2):33-37. ISSN 1808-7035. 2004

BENTO, Luiz et al. O papel das macrófitas aquáticas emersas no ciclo do fósforo em lagos rasos. *Revista Oecologia Brasileira*. Rio de Janeiro, v. 11. n. 4. p. 582-589, 2007.

BUSS, Daniel Forsin; BAPTISTA, Darcílio Fernandes; NESSIMIAN, Jorge Luiz. Conceptual basis for the application of biomonitoring on stream water quality programs. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, 2003.

CALLISTO, M. et al. Bioindicadores de Qualidade de Água. Laboratório de Ecologia de Bentos. Departamento de Biologia Geral, Instituto de Ciências Biológicas. UFMG, 2005.

CAMPOS JUNIOR, E. O.; KERR, W. E. Teste de micronúcleo com *Tradescantia Pallida* aplicado ao Biomonitoramento da qualidade do ar da cidade de Uberlândia.

Departamento de genética e bioquímica, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia.

CARNEIRO, Regina Maria Alves. Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública) - Departamento de Enfermagem Materno-Infantil e Saúde Pública da Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto – USP. Ribeirão Preto, São Paulo, 2004.

CARVALHO, Maria do Carmo. Comunidade fitoplanctônica como instrumento de biomonitoramento de reservatórios no estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2003.

CASTILHO-WESTPHAL, G.G et al. The state of the art of the research on the mangrove land crab, *Ucides cordatus*. Archives of Veterinary Science. Curitiba, PR, v.13, n.2, p.151-166, 2008.

CORONAS, Mariana Vieira. Biomonitoramento de populações humanas em áreas de exposição a poluentes atmosféricos mutagênicos. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2008.

DIAS, Bruna Borba et al. Foraminíferos como bioindicadores de variações ambientais nas áreas marginais da Lagoa da Conceição, Florianópolis/SC. Laboratório de Oceanografia Costeira, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

DRUMOND, Adriana Rocha de Souza. Uso do Método “Moss Bag” para o Biomonitoramento de Metais da Poluição Atmosférica em Ipatinga, Minas Gerais. Projeto de Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Linha de Pesquisa

Avaliação e Mitigação de Impactos Ambientais do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. Ipatinga, MG, 2010.

HENRIQUES, Ariadne et al. Detecção de Cádmiio no Ar Atmosférico através do Biomonitoramento Ativo da Poluição com *Sphagnum sp.* XVI Congresso de Iniciação Científica. IX Encontro de Pós-graduação. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. 2007.

HEPP, L. U., RESTELLO, R.M. Macroinvertebrados Bentônicos como Bioindicadores da Qualidade das Águas do Alto Uruguai Gaúcho. In: Zakrzewski, Sônia B. Conservação e Uso Sustentável da Água: Múltiplos olhares. Edifapes: Erechim – RS, 2007.

LEMOS, Alessandra Bittencourt et al. Biomonitoramento da qualidade do ar, com o uso de líquens, na área de influência da usina termoelétrica de canoas. Fundação Zoobotânica do RS. I Jornada de Iniciação Científica – Meio Ambiente – FZBRS/FEPAM. 2004.

LIMA, J. S. O biomonitoramento como ferramenta complementar na avaliação de impactos ambientais: Discutindo conceitos. EcoTerra Brasil. Junho, 2000. Disponível em <http://www.ecoterrabrasil.com.br/home/index.php?pg=temas&tipo=temas&cd=92>. Acesso em 15/06/2010.

LIRA, et al. Projeto Piloto de Biomonitoramento com *Tradescantia pallida* em municípios com Alto Risco Ambiental. Secretaria de Estado de Saúde de Mato Grosso.o Superintendência de Vigilância em Saúde. Coordenadoria de Vigilância em Saúde Ambiental. Cuiabá, MS, 2008.

LOPES, Gabriela Fernandes et al. Uso da Comunidade Epifítica Terrestre para Biomonitorar a Poluição Atmosférica na região do Vale do Aço - Minas Gerais. IX Semana de Iniciação Científica / Unileste - MG. Coronel Fabriciano, MG, 2008.

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

MARÇAL et al. Animais pecuários como indicadores do biomonitoramento de poluentes ambientais em propriedades rurais. Disponível em: www.abz.org.br/files.php?file=documentos/Animais_pecu__rios...pdf. Acesso em: 15/06/2010.

MARTINS, Camila; CUNHA, Wilson Roberto; ALBUQUERQUE, Sérgio. Biomonitoramento da atividade tripanomicida de *miconia fallax* (melastomataceae). Disponível em: <http://www.s bq.org.br/ranteriores/23/resumos/1343/index.html>. Acesso em: 15/06/2010.

MARTINS, Carlos Roberto et al. Biomonitoramento da Poluição Atmosférica (Ozônio Troposférico) através da Planta do Fumo (*Nicotiana tabacum* L.) no município de Uruguaiana, RS. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras. PUCRS, 2006.

MARTINS, L. F. V. Biomonitoramento da poluição do ar: o caso EuroBionet. 2009. Disponível em: <http://www.eurobionet.com/> Acesso em: 15/06/2010.

MARTINS-SILVA, M. J. et al. Trichoptera imatures in Paranã river basin, Goiás State, with new records for genera. Neotropical Entomology. V. 37. n. 6. Londrina. Nov/Dec. 2008.

MATSUURA, Koishiro. Bioindicadores em Ecossistemas. Unesco, 2000.

PESSOA, Bruna et al. Biomonitoramento Ocupacional de Trabalhadores Expostos a Agrotóxicos com a aplicação do Teste de Micronúcleos e Análise de Polimorfismos. Disponível em: <http://www.ifpi.edu.br/eventos/iencipro/arquivos/SAUDE/d9e569a42abaea658cafa9727ea4085c.pdf>. Acesso em: 15/06/2010.

SALES, F. F. et al. As espécies de Ephemeroptera (insecta) registradas para o Brasil. Biota Neotropical. V. 4. n. 2. 2004. Disponível em

<http://www.biotaneotropica.org.br/v4n2/pt/abstract?inventory+BN04004022004>.

Acesso em: 16/06/2010.

SILVEIRA, Mariana Pinheiro. Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna: 2004.

SOUZA, T. S., FONTANETTI, C. S. Ensaio do Cometa para Avaliação da Qualidade das Águas do Rio Paraíba do Sul, numa área sob influência de uma Refinaria de Petróleo. 4ª PDPETRO. Campinas, 2007.

VÉRAS, Thaís Fernandes et al. Programa de Biomonitoramento da Qualidade do Ar da Cidade de Salvador, BA. Sociedade de Ecologia do Brasil. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007, Caxambu – MG.

VIVIANI, Vadim. Vagalumes da Mata Atlântica – Biodiversidade e uso como bioindicadores. 2009. Disponível em: <http://www.agencia.fapesp.br>. Acesso em: 29/06/2010.

von RÜCKERT, Gabriela. Introdução a Biogeoquímica e ciclos: Notas de aula. Mestrado em Engenharia Industrial. Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste. Ipatinga, 2010.