

A UTILIZAÇÃO DE BIOINDICADORES COMO INSTRUMENTO DE PERÍCIA AMBIENTAL

BIOINDICATORS AS INSTRUMENTS OF ENVIRONMENTAL REPORTS

Maria Sílvia Galvão Vieira

Graduada em Engenharia Ambiental (UFSCAR), Bacharel em Direito, Especialista em Perícia Ambiental/UNINTER
msilviagvieira@gmail.com

Rafael Lopes Ferreira

Gestor Ambiental (Faculdades Integradas Camões/PR), Especialista em Biotecnologia (Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC/PR), Orientador de TCC do Centro Universitário Internacional Uninter. rafa.gestor_amb@hotmail.com

Fabício Narciso Olivati

Doutor em Saúde Coletiva (FOP/UNICAMP), fabriciolivati@hotmail.com

RESUMO

O atual modelo de desenvolvimento econômico tem influenciado cada vez mais o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida das pessoas, promovendo números crescentes de demandas judiciais relacionadas à questão ambiental. Neste contexto, a perícia ambiental surge como uma importante especialidade da área jurídica, e tem evoluído significativamente com o aprimoramento da legislação ambiental a partir de uma abordagem multidisciplinar, utilizando-se dos bioindicadores com ferramentas de avaliação dos impactos da ação do homem no ambiente. Este estudo busca apresentar conceitos sobre o uso dos bioindicadores na área da perícia ambiental, procurando conhecer os principais tipos e suas aplicações na área da perícia para que a justiça e as partes envolvidas em processos ambientais tenham um maior convencimento e confiabilidade nos laudos técnicos. Podemos concluir que os bioindicadores são instrumentos importantes nos processos de perícia ambiental pela identificação de fatores impactantes ao ambiente como pela possibilidade de promover o monitoramento de áreas expostas aos eventos prejudiciais ao equilíbrio ecológico, permitindo a identificação da relação causa e efeito entre os agentes agressores e o ambiente.

Palavras-chave: Direito Ambiental, Perícia Ambiental, Bioindicadores.

ABSTRACT

The current economic development model has influenced the ecological balance and people's life quality, providing more and more lawsuits related to environmental issues. Thus, environmental forensics has become an important expertise within the legal area, and has evolved significantly with the improvement of environmental legislation by a multidisciplinary approach, using bioindicators as tools to evaluate human environmental impacts. The following paper aims to present bioindicators concepts in environmental forensics, seeking to know the main types and their applications so that justice and the ones involved in environmental processes believe and rely on technical reports. It can be concluded that bioindicators are important tools in environmental forensics processes by identifying factors that affect the environment and the possibility of reinforcing the monitoring of

areas exposed to events that are harmful to the ecological balance, as well as allowing the identification of cause and effect relationships between aggressive agents and the environment.

Key words: Environmental Law. Environmental Forensics. Bioindicators.

INTRODUÇÃO

Os conflitos gerados pelas concentrações populacionais sem planejamento e pelo modelo de desenvolvimento econômico vigente na atualidade têm comprometido cada vez mais o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida das pessoas, promovendo números crescentes de demandas judiciais relacionadas à questão ambiental. Por isso, o esforço em preservar o meio ambiente e solucionar esses conflitos tem demandado, nos últimos anos, a aplicação de teorias, métodos e instrumentos inovadores tanto na área de Direito quanto nas diversas áreas do conhecimento relacionadas ao aprimoramento dos assuntos da área ambiental (Cunha e Guerra, 1999).

Nesse diapasão, o direito ambiental proporciona alguns mecanismos para a proteção ambiental, seja coibindo a ação lesiva, seja impondo regras de conduta e medidas coercitivas, penalidades e a responsabilização aos que infringem os ditames de proteção ambiental. Tais ações, na maioria das vezes, repercutem na esfera judicial e a perícia judicial é utilizada como instrumento para fazer prova da ocorrência de riscos ao meio ambiente ou do dano causado (Mascarenhas, 2009).

A perícia ambiental surge, assim, como uma importante especialidade da área jurídica no Brasil e no mundo, e tem evoluído significativamente com o aprimoramento da legislação ambiental a partir de uma abordagem multidisciplinar voltada para a solução de questões ambientais (Morin, 2002; Cadorin, 2011).

Dentre os instrumentos aplicados nos processos de apuração de provas periciais, podemos destacar o uso de bioindicadores, compostos por espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, abundância, distribuição e características morfológicas podem ser indicativos biológicos que refletem o conjunto de impactos ambientais ocorridos num ecossistema, *Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade - v.5, n.3 - 2014*

diferenciando-os dos seus parâmetros de normalidade (Callisto et al., 2004).

Portanto, conhecer os principais bioindicadores e suas aplicações na área da perícia mostra-se importante para que a justiça e as partes envolvidas em processos da área ambiental tenham um maior convencimento e confiabilidade nos laudos técnicos elaborados pelos peritos.

Por isso, esta pesquisa de revisão bibliográfica tem por objetivo discorrer sobre os bioindicadores usados na área ambiental, como um confiável instrumento de perícia.

METODOLOGIA

Esta pesquisa seguiu as seguintes etapas: a identificação do problema, a definição das palavras-chave, a busca da literatura em bases de dados científicas e a análise e seleção dos conteúdos. A identificação do problema partiu da necessidade de discutir sobre quais são e as principais aplicações da utilização de bioindicadores como instrumentos de perícias ambientais. Para a busca na literatura científica foram utilizadas combinações entre as palavras-chave: direito ambiental, perícia ambiental e bioindicadores. Os critérios de seleção e inclusão dos textos foram: artigos em português, espanhol ou inglês, com publicações atuais que apresentassem em sua discussão considerações sobre o tema do estudo.

A importância dos bioindicadores no monitoramento ambiental

A partir do desequilíbrio causado por um agente estressor a um sistema biológico, as complicações observadas no ambiente requerem a avaliação, o diagnóstico e o planejamento de ações visando a responsabilização sobre os efeitos provocados, além de projetos compensatórios para a recuperação da condição ambiental natural prévia (Matsuura, 2000).

A variedade de substâncias químicas tóxicas oriundas de diferentes atividades humanas como resíduos industriais, urbanos e agrícolas, que podem provocar danos

ambientais é muito grande (CETESB, 2014). Para isso, os peritos ambientais têm à sua disposição os instrumentos indicativos de impactos para a sua apuração de provas.

No que se refere aos fatores químicos, o meio ambiente e as populações estão expostas a inúmeros agentes potencialmente tóxicos, através do ar que respiram, da água que bebem e do alimento que ingerem, representando as principais fontes de exposição aos humanos. A avaliação da exposição aos agentes químicos constitui um importante aspecto para a saúde humana e do ambiente, tendo em vista a possibilidade de se prevenir ou minimizar a incidência de doenças e impactos ambientais decorrentes da interação das substâncias químicas com os seres vivos (Grandjean, 1995).

A avaliação da exposição, associada aos conhecimentos relativos aos efeitos e os limites considerados seguros, permite estabelecer as prioridades e as formas de intervenção efetiva para proteger o ambiente dos riscos químicos. O estudo dos efeitos das substâncias químicas possibilita avaliar o risco de exposição e constitui o primeiro passo na fixação de normas ambientais para um contaminador químico presente num meio. E para isso é importante conhecer a solidez e as limitações dos dados toxicológicos, assim como as informações disponíveis provenientes destes estudos (World Health Organization, 2000).

A bioindicação com o foco nas perícias e no monitoramento ambiental não se referem especificamente à indicação da existência ou da intensidade de um fator estressor ambiental, mas, sobretudo da reação do sistema biológico e do reconhecimento de seus efeitos no ambiente (De Paula, 2010).

Os bioindicadores são importantes instrumentos de perícia e monitoramento ambiental, pois correlacionam um determinado fator antrópico, ou natural a fatores potencialmente impactantes e estressantes ao ambiente. Podem ser espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas, que em suas funções naturais se relacionam com fatores ambientais diversos, podendo ser empregados como indicadores na avaliação da qualidade ambiental de uma determinada área (Callisto et al., 2004).

O processo de escolha e validação das diferentes espécies requer cuidado em relação à especificidade e sensibilidade do organismo, assim como a medida da exposição e a manifestação dos efeitos observados. A validação é um processo utilizado para estabelecer a relação quantitativa e qualitativa do bioindicador com a exposição, em função da substância química e do objetivo das análises (World Health Organization, 1993).

A vantagem do uso de bioindicadores comparados aos métodos convencionais de avaliação da qualidade ambiental está em seu custo reduzido, podendo ser utilizado para a avaliação acumulativa de eventos ocorridos num determinado período de tempo, resgatando um histórico ambiental não passível de detecção ou medição por outros métodos (CETESB, 2014).

Bioindicadores ambientais

A utilização de espécies para indicação das condições ambientais de um determinado local remonta o século XIX (Revolução Industrial), quando canários foram colocados em minas de carvão como monitoramento da qualidade do ar (Buss et al., 2003).

Um indicador ambiental é uma importante ferramenta que fornece informações por um determinado período de tempo, ou seja, consiste numa maneira de observação ambiental, avaliação do impacto e direcionamento para a solução da questão ambiental (Gomes, 2011).

Os bioindicadores são, portanto, organismos utilizados como ferramentas para obtenção de informações, processos, eventos ou tendências sobre uma dada realidade, servindo como instrumento de previsão medindo, comparando e determinando decisões (Lopes, 2008).

Os efeitos dos contaminantes podem variar conforme os níveis de organização biológica dos bioindicadores, apresentando-se entre os mais baixos como respostas bioquímicas, celulares, moleculares, até respostas em níveis de tecido, sistêmico, organismo, população, comunidade e ecossistema. Os níveis que

manifestam mais rapidamente respostas aos agentes estressores são os mais baixos, pois normalmente são mais sensíveis aos efeitos antrópicos ou naturais (Arias et al., 2007).

A escolha de um determinado bioindicador deve-se a sua sensibilidade ou tolerância a alguns parâmetros poluentes. As espécies integram as condições ambientais durante todo seu ciclo vital, de modo que a avaliação biológica é capaz de avaliar eficientemente dados de poluição aguda ou contínua. Nesse contexto, os indicadores biológicos mostram-se muito eficientes na evidenciação de certos impactos ambientais, em razão de sua especificidade a determinados poluentes (Buss et al., 2003).

A resposta de cada organismo está fortemente influenciada, seja pelas condições físicas, químicas e biológicas do ambiente (temperatura, umidade, ventos e radiação) assim como pelas condições fisiológicas, morfológicas estruturais e nutricionais. Desse modo, os bioindicadores podem agregar elementos ou substâncias como forma de resposta a eventuais desequilíbrios ambientais por contaminação (Bagliano, 2012).

Segundo Lima (2000), quando o bioindicador apresenta uma modificação significativa de seu comportamento em relação ao normal, ele é considerado sensível ao agente impactante. Porém, se acumula influências naturais sem apresentar danos reconhecidos em um curto prazo, ele é denominado acumulativo.

Existem diferentes classificações dos bioindicadores, sendo elas baseadas em características como sensibilidade, potencial acumulativo, organismo teste, organismo monitor, autoecológicos, ecológicos, dentre outros (Lima, 2000; Louzada et al., 2000; De Paula, 2010).

Conforme Arias et al. (2007) os bioindicadores podem ser representados por medidas de fluidos corporais, células, tecidos ou mensurações realizadas sobre um organismo completo, indicando em termos bioquímicos, celulares, fisiológicos, compartimentais ou energéticos, a presença de substâncias contaminantes ou a resposta do organismo ao impacto sofrido.

Para a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), os bioindicadores são seres vivos, de natureza diversa, e normalmente são utilizados para avaliação de variáveis da qualidade ambiental em determinado tempo e local. Podem ser utilizados de uma forma passiva, a partir de uma avaliação dos seres que habitam a área de estudo, ou de uma forma ativa, expondo-se nos ambientes espécies previamente preparadas para as análises programadas. Além disso, recomenda-se a utilização de bioindicadores específicos para cada poluente atmosférico, de forma a permitir sua identificação através dos sinais característicos apresentados pelos diferentes organismos (CETESB, 2014).

Já Matsuura (2000), refere os tipos de bioindicadores como: organismos testes, que são empregados em metodologias de laboratório padronizadas, cujos resultados são facilmente reprodutíveis. Exemplos deste grupo são os testes com algas, peixes, dentre outros, e são usados frequentemente no monitoramento da qualidade da água. Outro tipo de grupo bioindicador, chamado de organismos monitores, são normalmente utilizados em métodos de monitoramento de condições ambientais e fornecem informações específicas para o controle da poluição do ar (Matsuura, 2000).

Para Amorim (2003), os indicadores biológicos ou bioindicadores podem ser de exposição, de efeito ou de susceptibilidade. Os indicadores de exposição são substância exógena, ou seu metabólito, que é medido no próprio organismo analisado. Reflete a dose real da substância no sítio de ação ou seu produto de biotransformação.

Os indicadores de efeito são representados por alteração bioquímicas, fisiológicas ou comportamentais de um organismo que dependendo da intensidade pode ser comparada com os padrões de normalidade. Revelam alterações no organismo resultantes da ação do agente químico em qualquer tecido, órgão ou sistema. Já os indicadores de susceptibilidade mostram a capacidade herdada ou adquirida de um organismo em responder à exposição a uma substância específica (Amorim, 2003).

É possível também classificar os bioindicadores em grupos conforme suas principais funções na perícia ambiental, cabendo às suas variáveis de resposta aos eventos aos quais estão expostos diferenciá-los (Barbosa, 2013). A Tabela 1 apresenta exemplos de classificação de bioindicadores e suas características em relação às espécies.

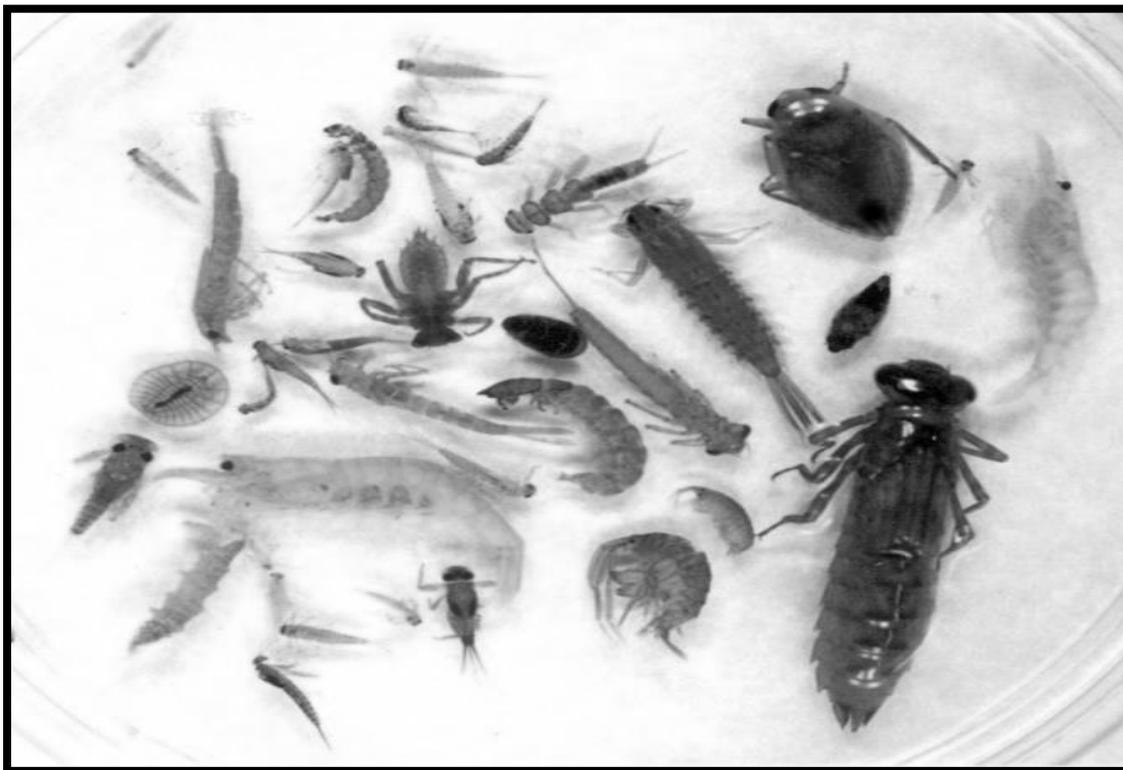
Tabela 1: Descrição dos grupos de bioindicadores e suas principais características.

Grupo Bioindicador	Características das Espécies
Sentinelas	Introduzidos para indicar níveis de degradação e prever ameaças ao <u>ecossistema</u>
Detectores	Espécies locais que respondem a mudanças ambientais de forma mensurável.
Exploradores	Reagem positivamente a perturbações causadas pelos agentes agressores
Acumuladores	Permitem a verificação de bioacumulação de substâncias poluentes
Sensíveis	Modificam acentuadamente o comportamento sob os efeitos dos agentes agressores

Fonte: Adaptado de Barbosa, 2013.

Praticamente todos os grupos de seres vivos têm o potencial de atuar como um bioindicador, porém, os melhores organismos para o monitoramento biológico são os invertebrados, especificamente os macroinvertebrados (Figura 1), pois são mais simples para a constituição de amostras e de extrema eficácia, pois possuem tolerância e sensibilidade variadas. Da mesma forma, os insetos são considerados bons bioindicadores, como os Odonatas (libélulas), Coleóptera (besouros), Lepidóptera (borboletas e mariposas), Himenópteros (formigas, vespas e abelhas) e os mais usados Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (Hanashiro et al., 2012; Barbosa, 2013).

Figura 1: Organismos macroinvertebrados bentônicos utilizados como indicador biológico.



Fonte: Hanashiro et al., 2012.

Os vegetais também são outro grupo importante de bioindicadores ambientais, em razão de suas características nutritivas e fisiológicas, uma vez que as raízes de plantas absorvem sais minerais e água, que podem estar contaminadas por metais pesados ou outros elementos tóxicos contidos no solo, na água e no ar, sofrendo assim, estresse e diminuindo suas chances de sobrevivência (Bagliano, 2012).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, utiliza a espécie *Cordyline terminallis*, conhecida popularmente como *Dracena* para o monitoramento de poluição do ar (Figura 2).

Figura 2: Bioindicadores da espécie *Cordyline Terminallis*, utilizados para o monitoramento da qualidade do ar pela CETESB.



Outra possibilidade de classificar os grupos ou espécies de bioindicadores é a sua organização conforme o meio natural ao qual o organismo está inserido, proporcionando maior eficiência do bioindicador na sensibilidade a impactos antrópicos ao ambiente. Tal classificação é mais significativa às pesquisas com metodologias onde os organismos são analisados de forma passiva, pois já estão presentes naturalmente nos meios pesquisados. Exemplos desta classificação estão apresentados na Tabela 2 que se segue.

Tabela 2: Meios ambientais expostos à poluição e exemplos de organismos bioindicadores.

Meio ambiental	Bioindicador
Poluentes da água	Protozoários
Poluentes do ar	Leveduras e líquens e plantas
Poluentes do solo	Bactérias, fungos e invertebrados

Fonte: adaptado de Barbosa, 2013.

Segundo Rodrigues (2011), para a escolha de um determinado bioindicador, deverão ser levadas em consideração as seguintes características: fácil amostragem; sensibilidade a pequenas variações ambientais; não prejudicial às pessoas e animais; manipulação segura; adaptação amostragem de acordo com o ecossistema; fácil identificação taxonômica; distribuição cosmopolita; abundância numérica; baixa variabilidade genética e ecológica; grande tamanho de corpo, ciclo de vida longo, mobilidade limitada; características ecológicas conhecidas; estar associado aos grandes processos do ecossistema; evidências de que os padrões observados na categoria indicadora reflitam em outras categorias (polinizadores, predadores de sementes, parasitoides e decompositores); categorias taxonômicas mais elevadas (ordem, família, tribo e gênero) apresentando ampla distribuição geográfica e em diferentes tipos de habitats; categorias taxonômicas inferiores (espécies e subespécies) com alta especialização de forma a serem bem sensíveis a mudanças em seu habitat.

A partir das informações obtidas com o biomonitoramento do ambiente, pode ser possível identificar os poluentes de origem local, regional e a avaliação de seus efeitos e alcances. Da mesma maneira, o biomonitoramento fornece informações importantes na indicação dos responsáveis pelos efeitos provocados, mesmo quando a concentração encontrada dos poluentes se encontre próximo ao limite aceitável (Buss et al., 2003).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta revisão de literatura, conclui-se que os bioindicadores são instrumentos de extrema importância para a realização de uma perícia ambiental, seja pela detecção e identificação de fatores impactantes ao meio ambiente como pela possibilidade de promover o monitoramento de áreas expostas aos eventos prejudiciais ao equilíbrio ecológico, permitindo a identificação da relação causa e efeito entre os agentes agressores e o ambiente.

Além disso, podem fornecer evidências sobre problemas ambientais, mesmo antes dos impactos atingirem os seres humanos e animais, proporcionando um maior convencimento e dando confiabilidade aos laudos técnicos elaborados pelos peritos ambientais.

REFERÊNCIAS

AMORIM, L.C.A. Os biomarcadores e sua aplicação na avaliação da exposição aos agentes químicos ambientais. Rev. Bras. Epidemiol. v.6, supl. 1, 2003.

ARIAS, A.R.L; BUSS, D.F.; ALBUQUERQUE, C.; INÁCIO A.F.; FREIRE, M.M.; EGLER, M. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. Ciência, saúde coletiva, Rio de Janeiro, v.12, n.1, 61-72, 2007.

BAGLIANO, R.V. Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, vol.2, n.1, 2012.

BARBOSA, B.C. Uso de Vespas Sociais (Vespidae: Polistinae) como Bioindicador de Qualidade Ambiental de Fragmento Urbano de Mata Atlântica. Rio de Janeiro: Nelson de Azevedo Branco, 2013.

BUSS, D.F.; BAPTISTA, D.F.; NESSIMIAN, J.L. Conceptual basis for the application of biomonitoring on stream water quality programs. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, 2003.

CADORIN, C.B. Procedimentos de perícia ambiental aplicados na atividade da rizicultura: avaliação de impactos ambientais causados pelo uso de defensivos agrícolas na região sul do estado de Santa Catarina. [Monografia] Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Curso de pós-graduação em Perícia e Auditoria Ambiental. 2011.

CALLISTO, M.; GONÇALVES, Jr., J.F.; MORENO, P. Invertebrados aquáticos como bioindicadores. In: Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2004. v. 1, p. 1-12.

Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade - v.5, n.3 - 2014

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. O uso de bioindicadores vegetais no controle da poluição atmosférica. [internet]. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/informacoes-Básicas/Vegetação/8-Bioindicadores>>. Acesso em: 26 nov. 2014.

CUNHA, S.B; GUERRA, A.J.T. Avaliação e perícia ambiental. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. 1999, p. 261.

De PAULA, S.N.C. Biomonitoramento como instrumento de detecção de contaminantes ambientais. [Monografia] Curso de MBA em Planejamento e Gestão Ambiental Universidade Veiga de Almeida. Vitória, ES. 2010.

GOMES, P.R. Indicadores ambientais na discussão da sustentabilidade: uma proposta de análise estratégica no contexto do etanol de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-25042011-094123/pt-br.php>>. Acesso em: 25 jan. 2015.

GRANDJEAN, P. Biomarkers in Epidemiology. Clin Chem. 1995; (12): 1800-3.

HANASHIRO, F.T.T. et al. Experiências de uma atividade prática de campo na disciplina de biologia geral do curso de engenharia ambiental (ead). I Simpósio Internacional de Educação a Distância da UFSCAR. São Carlos; 2012.

LIMA, J.S. O biomonitoramento como ferramenta complementar na avaliação de impactos ambientais: Discutindo conceitos. [internet]. EcoTerraBrasil, 2000. Disponível em: <<http://www.ecoterrabrasil.com.br/home/index.php?pg=temas&tipo=temas&cd=92>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

LOPES, B.G.C. Levantamento da entomofauna bioindicadora da qualidade ambiental em diferentes áreas do Alto Jequitinhonha – Minas Gerais. 2008. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes. Inconfidentes, Minas Gerais.

LOUZADA, J.N. C.; SANCHES, N.M.; SCHILINDWEIN, M.N. Bioindicadores de qualidade e de impactos ambientais da atividade agropecuária. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 21, n. 202, p. 72-77, 2000.

Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade - v.5, n.3 - 2014

MASCARENHAS, L.M.A. Interdisciplinaridade, instrumentos legais de proteção ao meio ambiente e perícia ambiental. 2009. Disponível em: <https://ciamb.prpg.ufg.br/up/104/o/Luciane_Mascarenhas.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2015.

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

MORIN, E. O método 1. A natureza da natureza. 2002, p. 175.

RODRIGUES, W.C. Insetos como indicadores de qualidade ambiental. 2011. Disponível em:

<http://www.izma.org.br/newsite/index.php?option=com_content&view=article&id=66:artigoInsetosIndicadores&catid=35:curiosidadesfauna&Itemid=78>

Acesso em: 25 jan. 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 155: Biomarkers and risk assessment: concepts and principles. Geneva; 1993.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. International Programme on Chemical Safety (IPCS) – Environmental Health Criteria 214: Human exposure assessment. Geneva; 2000.