



Macroinvertebrados Aquáticos como Bioindicadores no Processo de Licenciamento Ambiental no Brasil

Daniel F. Buss¹, Fabio de Oliveira Roque², Kathia Cristhina Sonoda³, Paulino Barroso Medina Junior⁴, Mauricio Stefanés⁴, Hélio Rubens Victorino Imbimbo⁵, Mônica Luisa Kuhlmann⁵, Marta Condé Lamparelli⁵, Leandro Gonçalves Oliveira⁶, Joseline Mollozzi⁷, Mônica de Cássia Souza Campos⁸, Marília Vilela Junqueira⁸, Raphael Ligeiro⁹, Timothy P. Moulton¹⁰, Neusa Hamada¹¹, Riccardo Mugnai¹² & Darcilio F. Baptista¹

Recebido em 08/04/2015 – Aceito em 27/01/2016

RESUMO – Licenciamento ambiental no Brasil é um procedimento com vários níveis e etapas, concebido como ferramenta preventiva aos potenciais danos ambientais causados pela implantação de empreendimentos. Embora este procedimento seja obrigatório desde meados da década de 1980, ainda é limitado no que diz respeito ao uso de informações biológicas para a avaliação e o monitoramento de ambientes aquáticos. Neste processo, o órgão licenciador (federal, estadual ou municipal) define as variáveis a serem medidas, tendo como referência o tipo e a magnitude do empreendimento e as características específicas do local proposto para sua instalação. Respostas biológicas devem ser usadas para medir os impactos sobre ecossistemas aquáticos e os macroinvertebrados constituem um grupo que apresenta vantagens como bioindicadores, sendo os mais utilizados para este fim. Em 2011, o Grupo de Trabalho Intersectorial em Biomonitoramento foi criado para discutir o uso de macroinvertebrados em programas de monitoramento. Este trabalho apresenta as reflexões e propostas deste grupo e fornece subsídios para a inclusão destes organismos nos termos de referência a serem aplicados nos processos de licenciamento ambiental no Brasil.

Palavras-chave: avaliação ambiental; biomonitoramento; ecossistemas aquáticos; gestão ambiental; insetos aquáticos.

Afiliação

- 1 Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental, Instituto Oswaldo Cruz, FIOCRUZ. Av Brasil, 4365, Manguinhos, Rio de Janeiro–RJ, CEP 21.045-900.
- 2 Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Cidade Universitária, Campo Grande–MS, CEP 79.070-900.
- 3 Embrapa Meio Ambiente. Rodovia SP 340, km 127,5, Tanquinho Velho, Jaguariúna–SP, Caixa Postal 69, CEP 13.820-000.
- 4 Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Dourados–MS, CEP 79.804-970.
- 5 Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB. Avenida Professor Frederico Hermann Jr., 345, São Paulo–SP, CEP 05.459-900.
- 6 Laboratório de Análise e Gerenciamento Ambiental e de Recursos Hídricos, LAMARH-ICB-UFG, Goiânia–GO, CEP 74.001-970.
- 7 Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Laboratório de Ecologia de Bentos. Rua da Baraúnas, Bairro Bodocongó, Campina Grande–PB.
- 8 Centro de Inovação e Tecnologia SENAI FIEMG – Campus CETEC. Av José Cândido da Silveira, 2000, Belo Horizonte–MG, CEP 31.035-536.
- 9 Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Laboratório de Ecologia e Conservação. Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, Belém–PA, CEP 66.075-110.
- 10 Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Departamento de Ecologia. Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro–RJ, CEP 20.550-013.
- 11 Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Biodiversidade, INPA/CBio. Avenida André Araújo 2936, Petrópolis, Manaus–AM, CEP 69.067-375.
- 12 Laboratório de Sistemática e Ecologia de Organismos Aquáticos, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha–MA.

E-mails

dbuss@ioc.fiocruz.br, roque.eco@gmail.com, paulinojunior@ufgd.edu.br, maustefanes@gmail.com, himbimbo@sp.gov.br, mkuhlmann@sp.gov.br, mlamparelli@sp.gov.br, lego@ufg.br, jmollozzi@gmail.com, msouza@fiemg.com.br, ligeirobio@gmail.com, mugnai.riccardo@gmail.com

ABSTRACT – In Brazil, the environmental licensing process has many stages, and it was designed as a tool to identify the potential and to prevent environmental damages caused by enterprises. Although this procedure is required since the mid-1980s, it is still limited regarding the use of bioassessment and biomonitoring of aquatic ecosystems. In this process, the agency responsible for the licensing (federal, state or local) is the responsible for defining the parameters to be measured. Those parameters are required based on the type and magnitude of the project, and the specific environment and location proposed for its installation. We recommend that biological responses should be used to assess and monitor stressors on aquatic ecosystems. Macroinvertebrates have been used worldwide as bioindicators because they have some advantages over other biological groups for this purpose. In 2011, the ‘Intersectoral Working Group on Biomonitoring’ was created to discuss the use of macroinvertebrates in biomonitoring programs. This paper presents proposals and recommendations aiming to stimulate and provide guidance for the use of this group in the context of the environmental licensing process in Brazil.

Keywords: aquatic ecosystems; aquatic insects; biomonitoring; environmental assessment; environmental management.

RESUMEN – En Brasil, el proceso de licenciamiento ambiental tiene varios niveles y etapas. Fue diseñado como una herramienta de prevención de posibles daños ambientales causados por la ejecución de proyectos. Aunque este procedimiento exista desde la década de 1980, sigue con limitaciones en relación al uso de la información biológica para la evaluación y control de los ecosistemas acuáticos. En este proceso, la agencia de licenciamiento (federal, estadual o local) es la que define las variables a mensurar en función del tipo y la magnitud del proyecto y las características específicas del lugar propuesto para su instalación. Las respuestas biológicas deben ser utilizadas para evaluar los impactos a los ambientes acuáticos, y el grupo de los macroinvertebrados tienen ventajas sobre otros grupos biológicos y son los más utilizados para este fin. En 2011, el ‘Grupo de Trabajo Intersectorial de Biomonitorio’ fue creado para discutir el uso de los macroinvertebrados en los programas de monitoreo ambiental. Este artículo presenta reflexiones y propuestas de este grupo y ofrece subsidios para la inclusión de estos organismos en los términos de referencia que serán aplicados en el proceso de licenciamiento ambiental en Brasil.

Palabras clave: biomonitorio; ecosistemas acuáticos; evaluación ambiental; gestión ambiental; insectos acuáticos.

Introdução

Reconhecendo a importância da incorporação de ferramentas de avaliação biológica na gestão de recursos hídricos no Brasil, e interessados na aproximação entre ciência e tomada de decisão, especialistas de vários setores (instituições de pesquisa e ensino superior; Ministérios do Meio Ambiente, da Pesca e Aquicultura e de Minas e Energia; unidades técnicas estratégicas, como Agência Nacional de Águas (ANA), Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); órgãos ambientais estaduais e empresas de consultoria), de 15 estados brasileiros, vêm debatendo o tema “Planejamento Estratégico para a Implantação de Programas de Monitoramento Biológico e Ecologia de Águas Doces”, desde a primeira oficina realizada em 2011 na FIOCRUZ/RJ. A partir deste primeiro encontro, foram realizadas outras oficinas, reuniões técnicas e publicações conjuntas, culminando com o reconhecimento, pela Associação Brasileira de Limnologia, como sendo este o seu “Grupo de Trabalho Intersectorial sobre Biomonitoramento” (GT).

Este documento reúne análises e recomendações do GT sobre o uso de dados biológicos, em especial da comunidade de macroinvertebrados, em Roteiros e Termos de Referência (TR) das diferentes modalidades de estudos nos processos de Licenciamento Ambiental (LA), cujos empreendimentos ou atividades interfiram diretamente em ambientes aquáticos. O GT também considera fundamental o amplo debate técnico sobre a incorporação destes procedimentos nas rotinas dos órgãos licenciadores e organizações que lidam com a questão. Não é objetivo deste documento padronizar a elaboração de TRs e tampouco sugerir que todos os estudos ambientais voltados ao processo de licenciamento ambiental tenham a mesma estrutura, procedimentos e

medidas. Entretanto, consideramos essencial uma melhor definição de critérios e diretrizes na geração e uso de informações sobre macroinvertebrados no contexto de tomadas de decisão em LAs.

O presente manuscrito está organizado da seguinte forma: 1) síntese do processo de licenciamento ambiental no Brasil e alguns problemas identificados no uso de informações biológicas neste processo; 2) apresentação do potencial da adoção de macroinvertebrados aquáticos como bioindicadores da condição ecológica de ecossistemas para fins de LA; 3) considerações do GT sobre a operacionalização do uso de macroinvertebrados no processo de LA de ambientes aquáticos no Brasil e suas perspectivas, incluindo a identificação de algumas dificuldades a serem superadas.

Processo de licenciamento ambiental no Brasil

Segundo a Resolução CONAMA n° 237/97, licenciamento ambiental é um “procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso”.

Segundo a Resolução CONAMA n° 001/86, em seu artigo 1º, impacto ambiental é definido da seguinte maneira: “...qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afete: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.”

A mesma Resolução apresenta, em seu artigo 2º, uma lista das tipologias de empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental, mediante a execução de Estudos de Impactos Ambientais. Essa lista foi, anos depois, complementada pela Resolução CONAMA n° 237/97. Acrescidas a essas, há outras leis, decretos e resoluções que tratam de temas específicos, como classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e padrões de lançamento de efluentes (Resoluções CONAMA n° 357/2005 e n° 430/2011), proteção de áreas de preservação permanente (APPs), como as de matas ciliares (Lei Federal n° 12.651/2012), entre outras, bem como seus desdobramentos em nível estadual e municipal quando o tipo de licenciamento pode ser concorrente nessas esferas.

A necessidade de licenciamento, assim como o tipo de licenciamento a ser efetuado, é definida pelos potenciais impactos causados pelo empreendimento, sua magnitude e medidas de mitigação e controle. Por exemplo, atividades cuja instalação e/ou operação tem menor potencial de degradação e acarretam impactos de baixa magnitude ou que são amplamente conhecidos podem ser avaliadas por meio de processos de licenciamento simplificados. No entanto, atividades com elevado potencial de degradação, que podem causar impactos ambientais significativos ou cujos processos de instalação e operação não permitem prever os impactos ambientais associados, estão sujeitas ao licenciamento ambiental, através de Estudos de Impacto Ambiental (EIAs).

De modo geral, o procedimento de LA é dividido em três fases: licenciamento prévio, instalação e operação, cada uma com seu papel e suas particularidades. Um detalhamento das etapas de elaboração de um EIA e seus diferentes papéis nas fases do licenciamento pode ser encontrado em Sánchez (2008).

Levando-se em consideração que podem existir particularidades de procedimentos em diferentes regiões do país, na fase prévia deve ser apresentado o estudo ambiental que permitirá ao órgão licenciador decidir pela viabilidade ambiental (ou não) do empreendimento

no local proposto. O estudo ambiental deve conter, dentre outros itens, a descrição técnica do empreendimento, a definição da área de influência dos potenciais impactos do empreendimento proposto e o diagnóstico ambiental da área de influência. Neste diagnóstico deve constar uma caracterização da área de inserção do empreendimento, por meio de levantamento de dados secundários e primários, de acordo com o entendimento do órgão licenciador, de forma a abranger os meios antrópico (socioeconômico), físico e biótico.

Para o meio antrópico são levantados dados referentes à sociedade local, como demografia, economia, saúde, cultura, educação, entre outros, e se há potencial arqueológico na área. O diagnóstico do meio físico consiste na coleta e análise de dados referentes à geologia, geomorfologia, pedologia, clima, hidrologia, hidrogeologia, entre outros. Cada localidade, em função de suas características ou em função da tipologia do empreendimento proposto, exigirá maior ou menor detalhamento nos levantamentos a serem efetuados. A caracterização do meio biótico é efetuada a partir de estudos sobre a fauna e flora, dos ambientes terrestres e aquáticos. As características do local de estudo e as intervenções sobre o meio previstas pelo empreendimento determinarão os estudos e níveis de detalhamento necessários. Podem ser efetuados, em campo, levantamentos botânicos e fitossociológicos, levantamentos de fauna terrestre qualitativos e quantitativos, análise da paisagem, caracterização das comunidades aquáticas, entre outros, conforme solicitado.

As informações sobre o local de implantação do empreendimento, juntamente com informações detalhadas sobre as atividades a serem desenvolvidas para sua instalação e operação, permitem uma avaliação dos potenciais impactos ambientais do empreendimento. Com base nesta avaliação, o órgão licenciador pode solicitar a realização de programas ambientais na região de influência, a execução de medidas de mitigação de impactos, bem como planos de monitoramento para mensurar se as medidas de controle propostas estão gerando os efeitos esperados.

Uma vez definido que o empreendimento tem viabilidade ambiental, o projeto segue para a fase de instalação. Nesta fase, devem ser detalhadas as atividades a serem desenvolvidas para a implantação do empreendimento. Também são detalhados os programas ambientais a serem implantados, definidas as metodologias e cronogramas de aplicação. Os dados de campo destinados ao monitoramento do empreendimento devem ser iniciados nesta fase, antes de qualquer intervenção na área. Uma vez aprovado o material apresentado pelo interessado, o empreendimento recebe a Licença de Instalação e tem permissão para tal.

Por fim, na fase de solicitação da licença ambiental de operação são detalhados os procedimentos a serem adotados durante a operação do empreendimento e apresentados os resultados dos programas implementados nas fases anteriores, com destaque para os resultados do monitoramento ambiental. Nesta fase são efetuados os monitoramentos previstos e elaborados os relatórios de acompanhamento do empreendimento. Após aprovados, o empreendimento tem permissão de operar. Em decorrência dos resultados dos levantamentos e monitoramento realizados nas fases anteriores e dos impactos esperados, podem ser estabelecidos programas de monitoramento a serem desenvolvidos após o início de operação do empreendimento. Os mesmos devem ser enviados ao órgão licenciador que decide pela emissão ou não da renovação da licença de operação do empreendimento.

Roteiros e Termos de Referência

Roteiros e Termos de Referência (TR) são documentos com a função de estabelecer as diretrizes, a abrangência e o conteúdo mínimo dos estudos a serem exigidos ao empreendedor. Neste artigo, trataremos de roteiros e TRs para o EIA. O escopo do estudo ambiental e nível de detalhamento que serão avaliados são definidos pelo órgão ambiental, por vezes, em conjunto com o interessado – nos casos de TRs para EIA – conforme previsto nas Resoluções CONAMA nº 001/86 e 237/97. A equipe executora dos estudos pode ampliar o escopo e detalhamento

previstos nos TRs, mas não reduzi-los, exceto em situações tecnicamente justificadas e autorizadas pelo órgão ambiental. A ampliação do escopo pela equipe raramente ocorre, mas quando se dá, é feita de forma voluntária pela preocupação técnico-científica do grupo e, principalmente, pela forma dos coordenadores conduzirem os estudos. Portanto, a elaboração destes TRs é fundamental para garantir a qualidade esperada dos estudos ambientais e, conseqüentemente, da tomada de decisão.

Avaliações biológicas no processo de licenciamento ambiental

Os roteiros e TRs para os EIAs devem ter base técnico-científica conciliada com as demandas de tomadas de decisão (*i.e.* fornecendo informações precisas, compreensíveis e úteis para a tomada de decisão) e viabilidade (*i.e.* levando em consideração o tempo e os custos para levantamento e análise das informações). Segundo Roque *et al.* (2014), esta não é uma tarefa simples, pois há um distanciamento entre os interesses e ritmos das instituições de pesquisa, das empresas de consultoria e dos órgãos ambientais. Isto tem provocado um descompasso entre o tipo de informação necessária para a tomada de decisão e o que é efetivamente apresentado nos estudos ambientais. Situações em que os dados biológicos fornecidos pelo empreendedor não são adequados à tomada de decisão podem decorrer de uma solicitação inadequada ou insuficiente por parte do órgão licenciador, ou por negligência ou imperícia daquele que apresenta o estudo. Uma forma de minimizar tais situações é o estabelecimento nos TRs de informações claras sobre os indicadores biológicos a serem usados, métodos de coleta e análise dos dados e de apresentação dos resultados. As sugestões apresentadas aqui não devem ser entendidas como uma proposta de padronização universal, mas como critérios mínimos para orientar as discussões das equipes responsáveis pela elaboração e execução dos TRs, estimulando a melhoria, adequação e atualização contínua do processo.

Macroinvertebrados como bioindicadores para avaliação de impactos em ambientes aquáticos

No caso do licenciamento de empreendimentos que potencialmente podem afetar ambientes aquáticos, é indispensável caracterizar esses ambientes e avaliar os impactos do empreendimento sobre a biota. Em geral, dada a impossibilidade de se fazer um levantamento ou avaliação de todas as espécies presentes no local, são utilizados um ou mais grupos de indicadores cuja resposta fornece uma estimativa adequada do impacto sobre o ecossistema. Diversos conceitos de indicadores foram propostos, mas recomendamos o proposto por Heink & Kowarik (2010), devido ao seu caráter abrangente e de interface entre ciência e tomada de decisão: “Um indicador em estudo e planejamento ambiental é um componente ou uma medida de um fenômeno ambientalmente relevante usado para descrever ou avaliar condições ambientais, mudanças ambientais ou um conjunto de objetivos”. Fenômenos ambientalmente relevantes são pressões, estados e respostas (OECD 2003).

Há diversos organismos que podem ser utilizados como indicadores biológicos (bioindicadores) por sua relevância ecológica e por apresentarem respostas previsíveis a mudanças ambientais em diferentes níveis de organização biológica (molecular, celular, morfológica, indivíduos, populações e comunidades) (Niemi & McDonald 2004). Para as avaliações de impactos ambientais, o nível de comunidades é o mais recomendado e os macroinvertebrados (grupo de organismos invertebrados aquáticos visíveis a olho nu, como insetos, crustáceos, moluscos, entre outros) são os mais usados em programas de monitoramento em todo o mundo por apresentarem respostas identificáveis a impactos múltiplos ou específicos, difusos ou pontuais, podendo ser estabelecidas relações de causa-efeito entre os estressores ambientais e a composição e estrutura desta comunidade (Rosenberg & Resh 1993, Barbour *et al.* 1999).

Muitos métodos foram desenvolvidos para a avaliação de impactos ambientais utilizando a comunidade de macroinvertebrados aquáticos. Cada medida biológica (métrica) pode ser utilizada individualmente (e.g. riqueza taxonômica, densidade de organismos, biomassa, índices de diversidade, índices tróficos, índices funcionais, índices bióticos monométricos) ou em conjunto, através de índices multimétricos, multivariados ou modelos preditivos (ver revisão em Bonada *et al.* 2006). Para que os dados sejam confiáveis, comparáveis e reprodutíveis, é fundamental que exista um conjunto de procedimentos (protocolos) padronizados e testados, incluindo informações sobre a coleta, processamento das amostras, identificação taxonômica e aplicação destes indicadores em sistemas de avaliação do estado ecológico dos cursos d'água.

Protocolos amostrais usando macroinvertebrados aquáticos provaram ter boa relação custo-eficiência e bom desempenho, por isso, vêm sendo amplamente utilizados em programas de monitoramento em várias regiões do mundo (Bonada *et al.* 2006, Hughes & Peck 2008, Buss *et al.* 2015). Isso permite uma comparação em nível regional e/ou global. No Brasil, protocolos vêm sendo usados nas rotinas de monitoramento de qualidade de água de alguns órgãos ambientais brasileiros (e.g. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul – IMASUL, Centro de Inovação e Tecnologia Senai Fiemg e Instituto Ambiental do Paraná – IAP).

Possibilidades de uso de macroinvertebrados aquáticos nos processos de LA

O uso de informações sobre macroinvertebrados, assim como de outras comunidades terrestres e aquáticas, é importante ao longo do processo de licenciamento, desde a fase de diagnóstico ambiental até as etapas de instalação e operação do empreendimento. O principal objetivo da caracterização da comunidade de macroinvertebrados aquáticos dentro deste processo é informar sobre o estado ecológico dos ambientes direta ou indiretamente influenciados pelo empreendimento. Além de retratar a biota na fase pré-empreendimento, a caracterização permitirá identificar os componentes mais susceptíveis aos impactos previstos e até definir o melhor indicador a ser acompanhado subsequentemente. É também na fase do diagnóstico ambiental que devem ser verificadas as ocorrências de espécies invasoras, vetores de doença e espécies e/ou gêneros em situação de risco, como as endêmicas, raras, ameaçadas e sensíveis aos impactos previstos (e.g. espécies ou gêneros filtradores diante de possível aumento do material em suspensão). Nestes casos, existem legislações específicas que devem ser observadas (e.g. no âmbito Federal – Lei Federal nº 9605/1998, Instruções Normativas do MMA nº 3/2003, para insetos com adulto terrestre e nº 5/2004, para macroinvertebrados aquáticos; no âmbito Estadual – Decreto Estadual nº 60.133/ 2014 do Estado de São Paulo).

Nas etapas seguintes do LA, a comparação dos dados obtidos no levantamento da fase prévia com aqueles referentes aos monitoramentos nas fases de instalação e operação, se as análises forem bem executadas, permitirão conhecer as alterações da qualidade ambiental do corpo d'água frente às intervenções do empreendimento licenciado. Se os resultados do monitoramento demonstrarem a ineficácia das medidas mitigadoras propostas nos programas ambientais ou a ocorrência de impactos não previstos será necessária a tomada de ação corretiva/emergencial e a comunicação ao órgão licenciador.

Deficiências no uso de informações sobre macroinvertebrados nos processos de LA

Embora o processo de licenciamento ambiental tenha escopo e estrutura bastante amplos, seja transparente e tenha sido elaborado para instrumentalizar a tomada de decisão, as medidas biológicas apresentadas nem sempre são adequadas e suficientes para fornecer as informações necessárias para subsidiar os processos decisórios. A ausência de padronização de Termos de Referência por tipo de atividade ou de aspectos gerais para o automonitoramento durante as

etapas de instalação e operação do empreendimento tem permitido as mais variadas formas de apresentação destes relatórios. Em muitos Estudos de Impacto Ambiental para LA é possível identificar as seguintes deficiências envolvendo os dados de macroinvertebrados aquáticos:

- 1) Inadequação da informação gerada: Os dados fornecidos nos processos de LA muitas vezes se restringem a informações descritivas (e.g. listagens de organismos), sendo insuficientes para subsidiar a gestão e tomada de decisão por não avaliarem o estado ecológico dos ecossistemas. Para tal, são necessárias análises que avaliem a relação de causa e efeito, preferencialmente de forma preditiva, algo ignorado na maioria dos estudos ambientais. Além disso, é necessário o desenvolvimento de trabalhos que considerem a diversidade regional específica, por exemplo, por meio de índices ajustados à fauna e tipologias regionais. Em muitos processos observa-se ainda a aplicação inadequada de índices. Por exemplo, o Biological Monitoring Working Party – BMWP, originalmente desenvolvido na Inglaterra na década de 1980, mesmo tendo sido adaptado para algumas regiões do Brasil (Junqueira & Campos, 1998, Monteiro *et al.* 2008), foi criado e testado para fauna de riachos, embora já tenha sido usado equivocadamente em rios de maior porte e reservatórios. Inversamente, o índice desenvolvido pela CETESB para represas e rios de grande porte do estado de São Paulo (Kuhlmann *et al.* 2012) tem sido usado de forma inadequada, por exemplo, para avaliar córregos e áreas alagadas.
- 2) Inadequação dos métodos de amostragem utilizados: Em muitas regiões do Brasil não há protocolos testados e padronizados para a coleta dos organismos. Desta forma, verifica-se uma enorme disparidade nas técnicas de coleta utilizadas (e.g. a respeito do tamanho de abertura da malha do amostrador e do aparelho de coleta a ser usado, os substratos a serem amostrados, o número de amostras por localidade e a frequência de amostragens, entre outros itens fundamentais), dificultando a comparação de resultados entre estudos e o eventual uso de modelos de avaliação preditiva.
- 3) Problemas no nível e em identificação taxonômica: Têm sido detectados não apenas erros de identificação taxonômica nas planilhas apresentadas, como também se constata que o nível taxonômico da identificação nem sempre é adequado para a avaliação ambiental. Além disso, falta padronização do nível taxonômico a ser usado entre os vários estudos.
- 4) Insuficiência de disponibilização de informações sobre controle de qualidade e rastreabilidade dos dados primários: Estas informações são fundamentais para a transparência, checagem e credibilidade dos dados utilizados para a tomada de decisão. Em última análise, a inadequação no cumprimento destes itens deixa o processo fragilizado e a eventual decisão, questionável.

Em Roque *et al.* (2014), estes e outros tópicos discutidos pelo GT são listados. A seguir são apresentadas informações aprofundadas sobre estes quatro tópicos específicos, pois houve avanços na concordância entre os membros do GT Intersetorial sobre Biomonitoramento visando operacionalizar programas de monitoramento biológico mais eficazes e precisos, no âmbito dos processos de LA, utilizando macroinvertebrados como bioindicadores da qualidade ambiental.

Considerações e propostas do GT para a operacionalização do uso de macroinvertebrados no processo de licenciamento ambiental

Considerações e propostas sobre as informações geradas

Diversos índices biológicos foram testados no Brasil e podem ser usados como referência em estudos ambientais. Dentre eles, alguns estudos adaptaram índices bióticos monométricos (e.g. Mugnai *et al.* 2008, Junqueira *et al.* 2010), multimétricos (e.g. Baptista *et al.* 2007) ou

multivariados preditivos (e.g. Moreno *et al.* 2009, Molozzi *et al.* 2012 para reservatórios). Ainda há discussão sobre o melhor modelo geral dos índices a serem usados. Por exemplo, Bonada *et al.* (2006) analisaram dez desses modelos, classificando-os quanto ao cumprimento de doze critérios (e.g. quanto ao potencial para discriminar áreas impactadas e tipos de impacto, custos operacionais, aplicabilidade regional e facilidade de comunicação de resultados, entre outros), para tentar definir o modelo de índice “ideal”. Nenhum modelo cumpre todos os critérios, mas – daqueles que utilizam macroinvertebrados – os índices multimétricos e os índices que avaliam atributos biológicos (*biological traits*) foram os que pontuaram mais alto (cumprindo 10 dos 12 critérios). Buss *et al.* (2015), analisando os principais programas de monitoramento biológico com macroinvertebrados no mundo, também recomendam o uso de índices multimétricos.

A proposta deste GT, alinhando-se com o acima referido, recomenda o uso de índices multimétricos com macroinvertebrados como ferramenta para a avaliação de impactos aquáticos. No Brasil, índices multimétricos com macroinvertebrados foram desenvolvidos nos estados do Rio de Janeiro (e.g. Baptista *et al.* 2007, Baptista *et al.* 2013), Minas Gerais (Ferreira *et al.* 2011, Macedo *et al.* 2016), São Paulo (Kuhlmann *et al.* 2012) e Amazonas (Couceiro *et al.* 2012). Ainda é necessário o desenvolvimento de índices em outras regiões e recomendamos que sejam realizados mais estudos que busquem, sobretudo, testar se há a possibilidade de uso de um conjunto único de métricas que funcione em todos os biomas do país. Isto permitiria a comparação de resultados entre agências ambientais estaduais. Caso não seja possível ter este conjunto de métricas, há que se fazer, pelo menos, uma intercalibração entre os diversos índices (como os países europeus vêm fazendo; e.g. Clarke & Hering 2006), pois, do contrário, em situações onde os rios cruzam as bordas estaduais não é possível determinar se as diferenças nos padrões observados entre os vários estudos são devidas a reais mudanças do estado ecológico dos ecossistemas ou são decorrentes de discrepâncias entre os métodos de avaliação utilizados. Nas regiões onde ainda não existem índices multimétricos, recomendamos o uso da melhor ferramenta disponível, desde que apresente claramente uma avaliação dos impactos.

Considerações e propostas sobre os métodos de amostragem

Buss *et al.* (2015), analisando 13 protocolos usados em larga-escala em diversos continentes, apontam que, apesar de haver diferenças entre eles, alguns itens parecem ser similares. Por exemplo, para córregos são realizadas coletas de amostras compostas por todos os habitats/substratos com diferentes esforços em termos de área, realizados preferencialmente durante a época seca, e utilizando um coletor do tipo “kick-net” com malha de 500 μm ou maior. Os mesmos autores apontam que a maioria desses programas usa subamostragem por número fixo de organismos (variando de 200 a 500 indivíduos) e que as amostras são processadas com o auxílio de microscópio estereoscópico, a identificação taxonômica sendo feita em família ou gênero. Ainda são poucos os estudos no Brasil que buscaram testar os procedimentos de coleta. Dentre os procedimentos, já foram testados o tipo de coletor e malha (Buss & Borges 2008), o número de amostras a serem coletadas no campo (Schneck & Melo 2010), as metodologias de subamostragem (Oliveira *et al.* 2011, Ligeiro *et al.* 2013) e a suficiência taxonômica em estudos de biomonitoramento (Melo 2005, Buss & Vitorino 2010). O uso de procedimentos padronizados para coleta de biodiversidade, incluindo de macroinvertebrados, tem sido proposto em programas como o Programa de Pesquisa em Biodiversidade (Museu Paraense Emílio Goeldi, PPBio 2012), embora ainda careçam de teste em outras regiões fora da Amazônia. Enfim, acreditamos que isto não deva ser visto como uma “receita” a ser seguida sem testes, e por isto, é muito importante que mais estudos sejam realizados, sobretudo em outros biomas que não a Mata Atlântica e em outros ambientes além de córregos (onde todos os estudos sobre o Brasil mencionados acima foram realizados). Ainda assim, o panorama apresentado em Buss *et al.* (2015) pode ser uma boa base para testes pois, uma vez que este protocolo geral seja confirmado através de testes de campo, a comparação com outros programas/regiões fica possível.

Recomendamos também que as agências ambientais, efetivas “usuárias” das técnicas de monitoramento, por serem as responsáveis pelas redes de monitoramento, devam avaliar e disponibilizar seus protocolos de coleta e análise de comunidades para assim dar subsídios ao processo de Licenciamento Ambiental (a exemplo da CETESB, que publicou seu protocolo em Kuhlmann *et al.* 2012). Quando possível, recomendamos que as agências também busquem a utilização de métodos comparáveis entre si – ou, idealmente, os mesmos métodos – para permitir a integração de dados em uma rede nacional.

Considerações e propostas sobre identificação taxonômica

Em licenciamento ambiental, os macroinvertebrados podem ser utilizados como indicadores *diretos* (e.g. populações de espécies ameaçadas, vetores, endêmicos) ou *indiretos* (uso de medidas de comunidade de macroinvertebrados para indicar o estado ecológico). A definição da resolução taxonômica dependerá dos objetivos do estudo (Quadro 1). No caso de avaliações de populações ameaçadas, invasoras, vetores de doenças e/ou raras é necessário o nível de resolução taxonômica de espécie, mesmo que isto demande amostragem de adultos ou a criação de imaturos para obtenção de adultos, quando os estádios imaturos não permitem identificação específica. Nos casos de avaliação *indireta*, o nível taxonômico dependerá do impacto a ser avaliado e do nível de conhecimento sobre macroinvertebrados naquela região. Em muitas regiões do Brasil, faltam chaves taxonômicas e informação sobre as espécies – sobretudo quanto às formas imaturas de insetos aquáticos, pois as descrições de espécies deste grupo são feitas sobre os animais adultos, nem sempre incluindo informações sobre os imaturos. Em um esforço conjunto de pesquisadores, integrantes do GT, chaves taxonômicas vêm sendo disponibilizadas e seu uso deve ser disseminado para melhorar a qualidade da informação gerada nos processos de LA para os estados de São Paulo (Froehlich 2007; Segura *et al.* 2011; Trivinho-Strixino 2014), Rio de Janeiro (Mugnai *et al.* 2010) e Amazonas (Hamada *et al.* 2014). Ainda assim, na maioria dos casos, o uso de índices ao nível taxonômico de família ou gênero são os únicos viáveis – tanto devido à falta de conhecimento taxonômico quanto pela falta de taxonomistas especialistas nestes grupos. Ademais, em algumas situações, grupos de organismos que sirvam como substitutos (*surrogates*) para a análise de toda a comunidade podem ser adotados (Siqueira *et al.* 2012), de forma a diminuir o tempo da análise.

O GT recomenda fortemente a continuidade e maior estímulo a estudos taxonômicos e à formação de especialistas que possam atuar nesta área em todas as regiões do país. Todavia, acreditamos que o uso de indicadores biológicos não deva ser prejudicado por esta falta momentânea de melhores informações. Alguns estudos no Brasil já demonstraram que índices baseados em nível taxonômico de família possuem bom poder de discriminar condições ecológicas (e.g. Buss & Vitorino 2010), e este pode ser um nível inicial para subsidiar os estudos ambientais para LA no Brasil.

Quadro 1 – Síntese das recomendações do Grupo de Trabalho Intersetorial sobre Biomonitoramento para a geração de informações sobre macroinvertebrados no processo de licenciamento ambiental.

Grupo biológico de interesse	Aplicação	Base Legal (exemplos)	Recomendação do GT sobre nível taxonômico a ser exigido nos TRs	Recomendação do GT sobre informações a serem incluídas nos relatórios
Espécies ameaçadas, raras, endêmicas, chave e/ou migratórias	Quando o empreendimento gera risco a estas populações	Listas de Espécies Ameaçadas Nível Federal: MMA (Instruções Normativas n° 3/03, para insetos com adulto terrestre e n° 5/04 para macroinvertebrados aquáticos) Nível Estadual: Decreto Estadual n° 60.133/14 (São Paulo)	Espécie Obs.: Para se atingir resolução taxonômica de alguns grupos de insetos listados como ameaçados, é necessário exigir a coleta de adultos	1) Projeção dos impactos potenciais sobre estas populações 2) Indicação de padrões e limites aceitáveis de alteração com níveis de tomada decisão e ações associadas (e.g. mitigação, monitoramento, controle e recuperação)
Espécies invasoras	Quando o empreendimento pode introduzir espécies invasoras, tornar o ambiente mais vulnerável à invasão ou aumentar populações de espécies invasoras já existentes (e.g. hidrovias)	Estratégias de Gestão das espécies exóticas invasoras. (Portaria IAP n° 074/2007, do estado do Paraná)	Espécie	
Populações de vetores (e.g. algumas de espécies de Culicidae, Simuliidae e Mollusca)	Quando o empreendimento pode interferir na dinâmica da população de algum vetor (exemplo: reservatórios)	Inexistente	Espécie	
Espécies não descritas cientificamente	Quando o empreendimento pode interferir na dinâmica da população da espécie	Inexistente	Morfoespécie Deve constar o número de depósito do material em coleções do Cadastro Nacional de Coleções Biológicas, segundo Instrução Normativa n° 160/2007	
Métricas de populações e comunidade usadas como indicadores de condição ou qualidade ambiental (ver exemplos de aplicação em <i>Oecologia Brasiliensis</i> , vol 12, número 3, 2008)	Avaliar integridade ambiental ou o efeito dos impactos específicos do empreendimento a ser licenciado	Só há normatização no Estado de Minas Gerais para alguns parâmetros de comunidade e, no contexto ecotoxicológico, para alguns grupos (deliberação COPAM/CERH-MG N.º 1/2008)	Variável (mas precisa ser justificado no contexto de relação entre indicador e fenômeno que se deseja avaliar, pois neste caso os macroinvertebrados são indicadores indiretos)*	Estabelecimento de enquadramento ligado ao processo decisório. Deve constar no Programa de Monitoramento Ambiental, junto com um plano de ação para limites previamente determinados de não aceitação de impacto

*Como não há estudos suficientes sobre precisão, sensibilidade e eficácia do uso de diferentes níveis taxonômicos para detecção de padrões ecológicos na região Neotropical, o GT sugere que a escolha do nível taxonômico seja justificada no relatório.

Os problemas com os erros de identificação taxonômica observados nos processos de LA estão relacionados com a baixa qualificação das equipes das empresas de consultoria que geram os dados e que raramente empregam especialistas. O uso da informação contida no currículo do analista, como por exemplo, obtida na Plataforma Lattes do CNPq, são potenciais indicativos de qualificação e podem ser usados em algumas situações, mas não substituem plenamente um sistema independente de acreditação. Um instrumento interessante que poderia ser desenvolvido no Brasil é aquele oferecido pela *Society for Freshwater Science* do Estados Unidos (<http://www.sfstcp.com/>) que fornece certificações taxonômicas aos níveis de família ou de gênero, mediante a realização de exames. A certificação é válida por cinco anos e o site da Sociedade mantém disponível a lista de taxonomistas certificados para consulta. No Brasil, uma possibilidade seria a criação de programas similares de certificação. O GT reconhece que a Associação Brasileira de Limnologia (ABLimno) tem o potencial de abrigar tal iniciativa por reunir os especialistas existentes no país sobre taxonomia, ecologia de ecossistemas aquáticos e biomonitoramento.

Considerações e propostas sobre controle de qualidade e rastreabilidade dos dados primários

A impossibilidade de envolver um corpo técnico de especialistas para a avaliação de cada processo de LA gera a necessidade de incorporar um sistema que permita assegurar a qualidade dos dados submetidos à análise. No estado de São Paulo, por exemplo, apenas laudos de laboratórios acreditados pela NBR ISO/IEC 17.025 são aceitos pelos órgãos que compõem o SEAQUA (Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais), incluindo a CETESB, responsável pelos processos de LA no estado (São Paulo 2013). O INMETRO é a instituição brasileira responsável pela acreditação e tem listado apenas quatro laboratórios acreditados para a análise de macroinvertebrados aquáticos no país. Nitidamente, existe a necessidade de ampliação deste programa de acreditação e de controle de qualidade dos dados que, juntamente com a criação de um mecanismo de avaliação e verificação da capacitação do analista, poderão dar transparência e credibilidade aos resultados contidos no processo.

No caso da rastreabilidade e acesso aos dados gerados, além do fato de que todos os estudos de impacto ambiental deverem ter acesso público, recomendamos que os TRs explicitamente incluam solicitação de inclusão no relatório do número de depósito do material em coleções de referência, cumprindo exigências da Instrução Normativa IBAMA nº 160/2007, que institui o Cadastro Nacional de Coleções Biológicas. Além de servirem para certificação da identificação e rastreabilidade, há o depósito de táxons novos que podem ser utilizados em outros estudos científicos, como revisões, banco de dados genéticos, estudos sobre distribuição de organismos, entre outras aplicações.

Com relação ao depósito do material coletado em coleções biológicas de referência, é importante notar que atualmente estas são constituídas principalmente por coleções de instituições de pesquisa. As coleções científicas brasileiras sofrem de problemas ligados a falta de espaços adequados para o armazenamento dos espécimes e, em alguns casos, de infraestruturas inadequadas. Além disso, cabe ressaltar que a curadoria do acervo exige pessoal especializado e investimentos financeiros em longo prazo (MCT 2006). Assim, as coleções científicas não estão aptas para receber depósitos de grandes quantidades de material biológico que serão geradas pelo incremento das atividades de biomonitoramento. Neste âmbito, será preciso abrir a discussão sobre credenciamento e utilização de coleções particulares ou de serviços (art. 3º inc. IV e VI da Instrução Normativa IBAMA nº 160/2007).

O atendimento destas propostas ajudará na incorporação de ferramentas de monitoramento biológico utilizando macroinvertebrados no processo de licenciamento ambiental em ambientes aquáticos no Brasil. O GT considera que a inclusão destes itens em Termos de Referência tornará o processo mais transparente, baseado em evidências e focado na avaliação de impactos – alinhando-se e contribuindo diretamente com a tomada de decisão.



Agradecimentos

Os autores deste artigo compilaram informações e comentários durante as reuniões do Grupo de Trabalho Intersetorial sobre Biomonitoramento (GT), redigiram e formataram o texto e avançaram com a revisão bibliográfica e construção do delineamento teórico e argumentativo. Agradecemos aos participantes do GT pelos *inputs* iniciais que originaram este trabalho: Renata Bley da Silveira de Oliveira (Agência Nacional de Águas, Brasília, DF); Regina Mayumi Kikuchi (Ministério da Pesca e Aquicultura, Brasília, DF); Andrea Coelho de Figueiredo (Eletronorte); Mariana Silveira Guerra Moura e Silva (EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, SP); Helena Ferreira (CETEC, MG); Rosana Loyola (IAP, PR); Jorge Luiz Nessimian (UFRJ); Vinicius Lima (UERJ); Deborah Silva (UFMG); Susana Trivinho-Strixino (UFSCar); Marcia Suriano (UFSCar); Luiz Hepp (URI-Erechim, RS); Rozane Restello (URI-Erechim, RS); Adriano Sanches Melo (UFG); Herbet Almeida (UFRN); Sheyla Couceiro (INPA, AM) e Mauricio Anaya (Consultor Ambiental, SP).

Referências bibliográficas

- Baptista, D.F.; Buss, D.F.; Egler, M.; Giovanelli, A.; Silveira, M.P. & Nessimian, J.L. 2007. A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State. **Hydrobiologia**, 575: 83-94.
- Baptista, D.F.; Henriques-Oliveira, A.L.; Oliveira, R.B.S.; Mugnai, R.; Nessimian, J.L. & Buss, D.F. 2013. Development of a benthic multimetric index for the Serra da Bocaina bioregion in Southeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, 73(3): 573-583.
- 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**. 2nd edition. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.
- Buss, D.F. & Borges, E.L. 2008. Application of rapid bioassessment protocols (RBP) for benthic macroinvertebrates in Brazil: comparison between sampling techniques and mesh sizes. **Neotropical Entomology**, 37: 288-295.
- Buss, D.F. & Vitorino, A. 2010. Rapid bioassessment protocols using benthic macroinvertebrates in Brazil: evaluation of taxonomic sufficiency. **Journal of the North American Benthological Society**, 29: 562-571.
- Buss, D.F.; Carlisle, D.M.; Chon, T.-S.; Culp, J.; Harding, J.S.; Keizer-Vlek, H.E.; Robinson, W.A.; Strachan, S.; Thirion, C. & Hughes, R.M. 2015. Stream biomonitoring using macroinvertebrates around the globe: a comparison of large-scale programs. **Environmental Monitoring and Assessment**, 187: 4132. DOI 10.1007/s10661-014-4132-8.
- Bonada, N.; Prat, N.; Resh, V.H. & Statzner, B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. **Annual Review of Entomology**, 51: 495-523.
- Clarke, R.T. & Hering, D. 2006. Errors and uncertainty in bioassessment methods – major results and conclusions from the STAR project and their applications using STARBUGS. **Hydrobiologia**, 566: 433-439.
- Couceiro, S.R.M.; Hamada, N.; Forsberg, B.R.; Pimentel, T.P. & Luz, S.L.B. 2012. A macroinvertebrate multimetric index to evaluate the biological condition of streams in the Central Amazon region of Brazil. **Ecological Indicators**, 18: 118-125.
- Ferreira, W.R.; Paiva, L.T. & Callisto, M. 2011. Development of a benthic multimetric index for biomonitoring of a neotropical watershed. **Brazilian Journal of Biology**, 71: 15-25.
- Froehlich, C.G. (org.). 2007. **Guia on-line: Identificação de larvas de insetos aquáticos do Estado de São Paulo**. <http://sites.ffclrp.usp.br/aguadoce/Guia_online>. (acesso em 22/01/2016)
- Hamada, N.; Nessimian, J.L. & Querino R.B. 2014 (Eds) **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Editora do INPA. 724p.

- Heink, U. & Kowarik, I. 2010. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. **Ecological Indicators**, 10: 584-593.
- Hughes, R.M. & Peck, D.V. 2008. Acquiring data for large aquatic resource surveys: the art of compromise among science, logistics, and reality. **Journal of the North American Benthological Society**, 27: 837-859.
- Junqueira, M.V. & Campos, M.C.S. 1998. Adaptation of the BMWP Method for Water Quality Evaluation to Rio das Velhas Watershed, MG – Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensis**, 10: 125-135.
- Junqueira, M.V.; Friedrich, G. & Pereira de Araujo, P.R. 2010. A saprobic index for biological assessment of river water quality in Brazil (Minas Gerais and Rio de Janeiro states). **Environmental Monitoring and Assessment**, 163(1-4): 545-554.
- Kuhlmann, M.L.; Johnscher-Fornasaro, G.; Ogura, L.L. & Imbimbo, H.R.V. 2012. **Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentônicas de rios e reservatórios do estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB. <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>> (acesso em 22/01/2016)
- Ligeiro, R.; Ferreira, W.; Hughes, R.M. & Callisto, M. 2013. The problem of using fixed-area subsampling methods to estimate macroinvertebrate richness: a case study with Neotropical stream data. **Environmental Monitoring and Assessment**, 185: 4077-4085.
- Macedo, D.R.; Hughes, R.M.; Ferreira, W.R.; Firmiano, K.R.; Silva, D.R.O.; Ligeiro, R.; Kaufmann, P.R. & Callisto, M. 2016. Development of a benthic macroinvertebrate multimetric index (MMI) for Neotropical Savanna headwater streams. **Ecological Indicators**, 64: 132-141.
- Melo, A.S. 2005. Effects of taxonomic and numeric resolution on the ability to detect ecological patterns at a local scale using stream macroinvertebrates. **Archiv für Hydrobiologie**, 164: 309-323.
- MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. 2006. **Diretrizes e estratégias para modernização de coleções biológicas brasileiras e a consolidação de sistemas integrados de informação sobre biodiversidade**. Brasília, DF.
- Molozzi, J.; Feio, J.M.; Salas, F.; Marques, J.C. & Callisto, M. 2012. Development and test of a statistical model for the ecological assessment of tropical reservoirs based on benthic macroinvertebrates. **Ecological Indicators**, 23: 155-165.
- Moreno, P.; Franca, J.S.; Ferreira, W.R.; Paz, A.D.; Monteiro, I.M. & Callisto, M. 2009. Use of the BEAST model for biomonitoring water quality in a neotropical basin. **Hydrobiologia**, 630: 231-242.
- Monteiro, T.R.; Oliveira, L.G. & Godoy, B.S. 2008. Biomonitoramento da qualidade da água utilizando macroinvertebrados: adaptação do índice biótico BMWP à bacia do rio Meia Ponte-GO. **Oecologia Brasiliensis**, 12: 553-563.
- Mugnai, R.; Oliveira, R.B.S.; Carvalho, A.L. & Baptista, D.F. 2008. Adaptation of the Índice Biotico Estesio (IBE) for water quality assessment in rivers of Serra do Mar, Rio de Janeiro State, Brazil. **Tropical Zoology**, 21: 57-74.
- Mugnai, R.; Nessimian, J.L. & Baptista, D.F. 2010. **Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro: Para atividades técnicas, de ensino e treinamento em programas de avaliação da qualidade ecológica dos ecossistemas lóticos**. Technical Books Editora. 176p.
- Museu Paraense Emílio Goeldi, PPBio. 2012. **Protocolo 6 – Invertebrados Aquáticos**. <<http://ppbio.museu-goeldi.br/?q=pt-br/protocolo-6-invertebrados-aquaticos>> (acesso em 22/01/2016)
- Niemi, G.J. & McDonald, M.E. 2004. Application of ecological indicators. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, 35: 89-111.
- OECD, Organisation for Economic Co-Operation Development, (2003). **Core Environmental Indicators. Development Measurement and Use**. OECD, Paris, 37 pp.
- Oliveira, R.B.S.; Mugnai, R.; Castro, C.M. & Baptista, D.F. 2011. Determining subsampling effort for the development of a rapid bioassessment protocol using benthic macroinvertebrates in streams of southeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 175: 75-85.



Roque, F.O.; Buss, D.F.; Abes, S.S.; Stefanos, M.; Juen, L. & Siqueira, T. 2014. Insetos aquáticos no âmbito de instrumentos de gestão ambiental: caminhos ainda pouco explorados, p. 129-140. *In*: Hamada, N.; Nessimian, J.L. & Querino, R.B. (orgs.). **Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora do INPA.

Rosenberg, D.M. & Resh, V.H. (eds.). 1993. **Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates**. New York: Chapman & Hall. 488p.

Sánchez, L.E. 2008. **Avaliação de impacto ambiental – conceitos e métodos**. São Paulo, Oficina de Textos. 495p.

São Paulo, 2013. Resolução SMA Nº 100, de 17 de outubro de 2013. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Seção I, 123 (200) p. 41.

Schneck, F. & Melo, A.S. 2010. Reliable sample sizes for estimating similarity among macroinvertebrate assemblages in tropical streams. **Annales de Limnologie – International Journal of Limnology**, 46: 93-100.

Segura, M.O.; Valente-Neto F. & Fonseca-Gessner A.A. 2011. Elmidae (Coleoptera, Byrrhoidea) larvae in the state of São Paulo, Brazil: Identification key, new records and distribution. **ZooKeys**, 151: 53-74.

Siqueira, T.; Bini, L.M.; Roque, F.O. & Cottenie, K. 2012. A metacommunity framework for enhancing the effectiveness of biological monitoring strategies. **PLoS ONE**, 7: e43626. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0043626>. PMID:22937068

Trivinho-Strixino, S. 2014. Ordem Diptera. Família Chironomidae. Guia de identificação de larvas, p. 457-660. *In*: Hamada, N.; Nessimian, J.L. & Querino, R.B. (orgs.). **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora do INPA.