

BIOINDICADORES COMO FERRAMENTA PARA O MANEJO, GESTÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL

MARCOS CALLISTO¹, PABLO MORENO¹

RESUMO

Este texto retrata o conteúdo oferecido em uma palestra no *II Simpósio Sul de Gestão e Conservação Ambiental “Sociedade e Sustentabilidade”* realizado na URI-Campus de Erechim. Aspectos relacionados a degradação ecológica de bacias hidrográficas urbanas, biomonitoramento de qualidade de água, perda de biodiversidade aquática e qualidade de água são apresentados, utilizando como estudo de caso as pesquisas realizadas na bacia do rio das Velhas (MG). Ênfase especial é dada às comunidades de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água, aspectos metodológicos, enfoques e interpretações ecológicas. A utilização de sub-bacias como áreas de referência é sugerida como um dos requerimentos necessários ao desenvolvimento de Programas de Biomonitoramento de Qualidade de Água.

Palavras-chave: biomonitoramento, bacias hidrográficas, impacto ambiental, poluição, macroinvertebrados bentônicos.

INTRODUÇÃO

A urbanização e seus efeitos

A importância dos rios para abastecimento, como fonte de alimento e recreação é claramente reconhecida, apesar de haver um aumento da evidência de que a degradação dos ecossistemas aquáticos atingiu os níveis máximos já registrados na história (Bernhardt *et al.*, 2005). As taxas de extinção de espécies da fauna de água doce é 5 vezes superior àquela da biota terrestre (Ricciardi & Rasmussen, 1999; Wishart & Davies, 2002).

Mudanças significativas em comunidades biológicas ocorrem associadas ao incremento de atividades de urbanização em bacias hidrográficas (Allan, 2004). A urbanização é a causa provável de desaparecimento de inúmeras espécies nativas de peixes de tributários cujas nascentes são assoreadas. Mudanças relacionadas à retificação de rios, canalizações, impermeabilizações devido a obras de engenharia sanitária levam à redução da área de drenagem de inúmeras bacias hidrográficas reduzindo drasticamente a densidade e diversidade de espécies aquáticas. Além disso, observa-se também a redução da integridade

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Geral, Laboratório de Ecologia de Bentos, CP. 486, CEP. 30.161-970, Belo Horizonte, MG.
www.icb.ufmg.br/~bentos, callisto@icb.ufmg.br, moreno-p@ig.com.br

ecológica em áreas predominantemente agrícolas e ocupadas por adensamentos populacionais mal planejados. Muitas vezes o aumento da urbanização é negativamente correlacionado à qualidade da água, habitats e medidas de diversidade de organismos bentônicos (Palmer *et al.*, 2005).

As principais mudanças relacionadas ao incremento de urbanização são relacionadas ao aumento do lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais, flutuações imprevisíveis do nível d'água em épocas de chuvas levando a sérios problemas de erosão, carreamentos e assoreamento de cursos d'água. Como consequência, observa-se então a elevação da temperatura da água, retirada da vegetação ripária dos rios, redução do canal, desestruturação de habitats para as espécies aquáticas, reduzindo as interações entre os rios e sua bacia de drenagem (Bernhardt *et al.*, 2005).

Biomonitoramento de Qualidade de Água

A avaliação da qualidade dos habitats físicos é etapa fundamental a qualquer programa de biomonitoramento de qualidade de água, uma vez que a biota aquática muitas vezes possui requerimentos específicos de habitats (Hannaford *et al.*, 1997). Nos Estados Unidos e Austrália os órgãos de controle e proteção ambientais têm trabalhado no sentido de desenvolver metodologias rápidas e de baixo custo capazes de descrever a qualidade da água através de parâmetros simples e facilmente aplicáveis. Estes parâmetros são avaliados através de observações visuais e classificados segundo os atributos dos habitats e assinalados em escores numéricos ao longo de gradientes de ótimo a pobre, com um mínimo de medições em campo. Assume-se que estas técnicas são aplicáveis em um contínuo de condições ambientais que podem ser atribuídas a cada atributo, e que este contínuo é facilmente reconhecível, classificável e entendido por biólogos e por pessoas treinadas.

Programas de biomonitoramento podem ser realizados por pessoas treinadas em biologia (ecologia, zoologia, botânica) e informadas sobre conhecimentos locais em sua região e trecho de bacia hidrográfica em que vivem. Grupos de voluntários podem ser treinados para integrar equipes locais para o desenvolvimento de programas de biomonitoramento utilizando metodologias padronizadas (Buss, 2002). As informações obtidas por esses grupos podem ser úteis para (i) sensibilizar para questões de preservação de recursos hídricos motivando a participação e inserção de comunidades no contexto social, político e econômico; (ii) oferecer um alerta imediato quando da ocorrência de acidentes

ambientais (p.ex. derramamentos e fontes pontuais de poluição antrópica) e mortalidades de peixes, contribuindo para medidas mitigadoras imediatas dos órgãos competentes; (iii) desenvolver técnicas e métodos de fácil aplicação para o desenvolvimento de programas de biomonitoramento, possibilitando a replicação da metodologia em outras sub-bacias em uma mesma região geográfica (Hannaford *et al.*, 1997).

Biomonitoramento Participativo

Devido a limitações na formação dos grupos de voluntários, é possível que hajam diferenças nos resultados levantados e que, portanto, devem ser utilizados de forma cautelosa. No entanto, o envolvimento de voluntários é uma contribuição importante às atividades de pesquisas, uma vez que permite a internalização dos habitantes como “moradores da bacia”, favorecendo um incremento em ações e propostas relacionadas à restauração da qualidade ecológica dos cursos d’água.

A realização de programas de monitoramento participativo permite avaliar o sucesso ecológico da restauração de rios urbanos através de mudanças de componentes físico-químicos e biológicos (p.ex. macroinvertebrados bentônicos e peixes) de uma situação severamente impactada para uma imagem posterior. A utilização de indicadores ecológicos tem sido uma grande área de atuação da pesquisa aplicada em Ecologia, e listas de propriedades de bons indicadores existem na literatura. No contexto de monitorar a restauração de rios urbanos, acreditamos que os indicadores devam ser facilmente mensuráveis, sensíveis a estresses nos ecossistemas, demonstrar respostas previsíveis a estresses (p.ex. intervenções de restaurações) e, idealmente, integradores. Nossa experiência no Biomonitoramento da bacia do rio das Velhas tem demonstrado que bentos e peixes são comunidades biológicas que oferecem estas propriedades (Pompeu *et al.*, 2005). O reestabelecimento de populações localmente extintas de peixes, melhoria da transparência das águas e sua qualidade, e o estabelecimento de meandros sazonais de inundação são sinais evidentes de restauração (Palmer & Allan, 2006). Como sumarizado por Petroski (1985), “ninguém deseja aprender com seus erros, mas aprender com o sucesso não é o suficiente para transpor o estado da arte”. Na restauração de rios urbanos é fundamental inovar, buscar parcerias comunitárias e desenvolver protocolos calibrados, de baixo custo e replicáveis.

A necessidade de ligação entre medidas de manejo e programas de biomonitoramento de ecossistemas aquáticos reflete a mudança de necessidades ambientais da sociedade humana

em regiões industrializadas (Bonada *et al.*, 2006). Desde a última metade do século XIX, a industrialização em muitas partes do mundo levou ao aumento das populações humanas e ao incremento da produção de esgotos e efluentes produzidos, acarretando inúmeros problemas de saúde e doenças (p.ex. cólera, disenteria, febre tifóide, malária, hepatite, etc). Na Alemanha, desde 1900 os ecossistemas aquáticos têm aumentado sua importância higiênica (saúde pública) e econômica, fortalecendo o crescimento das pesquisas limnológicas e a utilização de comunidades biológicas (chamadas biocenoses, que incluem macrófitas, plâncton, macroinvertebrados e peixes) como indicadores do status de poluição ambiental. Logo em seguida, com os estudos clássicos de August Thienemann, as primeiras listas de insetos aquáticos indicadores do grau de poluição e, em particular, do potencial autodepurador de corpos d'água foram propostos.

Na década de 1970 o conceito de “saúde de ecossistemas” começou a ganhar valor na Europa, com o aumento da participação do público, dos políticos (partidos “verdes”) e com a colaboração de especialistas em limnologia e engenharia sanitária (Callisto *et al.*, 2001). Como resultado, houve um aumento da pressão popular por tomadas de atitude pelas autoridades para restaurar a saúde ecológica de ecossistemas aquáticos, e atualmente grandes montantes de recursos são utilizados em projetos ambientais. Hoje o montante anual gasto mundialmente no manejo de recursos hídricos excede os US\$ 100 bilhões (Statzner *et al.*, 2001).

Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores

Programas de biomonitoramento utilizam parâmetros biológicos para avaliar um ambiente (Rosenberg & Resh, 1993). A primeira etapa do biomonitoramento é a pesquisa pelo indicador ideal (ou bioindicador) cuja presença, abundância, e/ou comportamento refletem os efeitos estressores sobre a biota. Um indicador pode ser utilizado para biomonitorar em diferentes níveis de organização, desde o nível sub-organizacional (p.ex. genes, células, tecidos) a organismos e populações, comunidades, e até mesmo ao nível de ecossistemas (Niemi & McDonald, 2004).

O biomonitoramento de comunidades bentônicas, com ênfase em insetos aquáticos tem uma longa tradição histórica em países de primeiro mundo (Rosenberg & Resh, 1993), iniciado com alguns poucos enfoques e ampliado para um grande número de diferentes métodos utilizados em vários países ou regiões no mundo. Esta diversificação de métodos

ocorreu devido a: (i) tipo de informação que os diferentes métodos oferecem quanto aos vários tipos de impactos antrópicos; (ii) variações de prioridades entre os limnólogos; (iii) complexidade espacial e temporal dos ecossistemas aquáticos, que requerem adaptações dos métodos existentes a diferentes áreas de estudo; (iv) diferenças na precisão necessária de diferentes tipos de avaliações de impacto ambiental. Além disso, o desenvolvimento do biomonitoramento com insetos aquáticos foi muitas vezes devido à implementação de leis e regulações governamentais (p.ex. U.S. Clean Water Act, Canadian Protection Act, European Water Framework Directive) (Niemi & McDonald, 2004).

Os macroinvertebrados bentônicos são considerados bons bioindicadores da qualidade de água por serem geralmente mais permanentes no ambiente e viverem de semanas a alguns meses no sedimento. Por este motivo, o seu monitoramento torna-se mais eficiente que o monitoramento baseado apenas na mensuração de parâmetros físicos e químicos (Lenat & Barbour, 1994; Alba-Tercedor, 1996). Um programa ideal de biomonitoramento ambiental é o que integra medições físicas, químicas e biológicas, permitindo a caracterização físico-química dos ecossistemas aquáticos de uma bacia hidrográfica e o estudo da ecologia dos organismos bioindicadores de qualidade de água (Callisto *et al.*, 2005, Callisto & Gonçalves, 2005, Moreno & Callisto, 2006).

Bonada *et al.* (2006) em sua revisão comparativa dos enfoques da utilização de insetos aquáticos em programas de biomonitoramento propuseram 12 critérios para a definição de uma ferramenta ideal de biomonitoramento. Quanto à adequação: (I) relação com conceitos teóricos em ecologia; (II) relação com uma predição *a priori*; (III) potencial para avaliar funções ecológicas; (IV) potencial para discriminar impactos ambientais antrópicos difusos; (V) potencial para discriminar diferentes impactos ambientais pontuais. Quanto à implementação: (VI) baixo custo para amostragem e triagem (metodologias em campo) ou para a padronização experimental (metodologias laboratoriais); (VII) protocolos de amostragem simples; (VIII) baixo custo para identificação taxonômica (especialistas em taxonomia não fundamentais). E quanto à performance: (IX) aplicabilidade em grande escala (entre ecorregiões ou áreas biogeográficas); (X) confiabilidade de bioindicação de mudanças devido a impactos antrópicos difusos; (XI) confiabilidade de bioindicação de mudanças devido a impactos antrópicos pontuais; (XII) indicador de impacto antrópico em escala linear.

Com base nesses critérios, Bonada *et al.* (2006) discutem a utilização das ferramentas mais modernas em Programas de Biomonitoramento, considerando as necessidades

taxonômicas, o montante de recursos humanos e financeiros disponíveis, a abrangência da área de estudos e a riqueza taxonômica existente.

Ferramentas para manejo, gestão e conservação ambiental

No fim da década de 80, Inglaterra e Austrália investiram na construção de modelos preditivos e um dos enfoques utilizados é o de Condições de Referência. Este enfoque mede a variabilidade da biota entre locais em condições de referência. Estes locais de referência são locais minimamente expostos a fontes antrópicas de estresse como descarga de efluentes ou mudanças nas áreas de entorno e degradação de ecossistemas. Segundo Bailey *et al.* (2004) a utilização de Condições de Referência apresenta como vantagens: (i) define e quantifica saúde de ecossistemas; (ii) explica certa variação entre ecossistemas saudáveis; (iii) a mensuração da diferença de um local teste em relação a um local em condição de referência é a medida do efeito das fontes de estresse no ecossistema.

Mais recentemente, a utilização desse enfoque tem proporcionado o desenvolvimento de metodologias de modelos preditivos utilizados em alguns programas de biomonitoramento, tais como: RIVPACS “River Invertebrate Prediction and Classification System” (Wright, 1995) utilizado no Reino Unido, e o AUSRIVAS “AUStralian RIVER Assessment System” (Simpson & Norris, 2000) aplicado na Austrália (Norris & Hawkins, 2000; Clarke *et al.*, 2002). Esta metodologia, em síntese, permite estimar a relação entre os *taxa* encontrados e aqueles que seriam esperados no ecossistema, indicando, desse modo, as condições ambientais do local em estudo (Clarke *et al.*, 2003; Sloane & Norris, 2003). Embora sejam desenvolvidos e de ampla aplicação na Europa e na Austrália, tais programas ainda são incipientes no Brasil (Barbosa, 1994; Eaton, 2003).

No Brasil o enfoque de bioindicadores de qualidade de água começa a ser discutido apenas agora em vários estados brasileiros (p.ex. Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, Goiás) por representantes de ONGs, governo, órgãos de fiscalização e empresas. As informações técnico-científicas que vêm sendo geradas por Universidades e Instituições de Pesquisa representam importante subsídio e embasamento para a incorporação da abordagem dos bioindicadores de qualidade de água na legislação e na implementação de Programas de Biomonitoramento Ambiental (Callisto *et al.*, 2005, Callisto & Gonçalves, 2005, Moreno & Callisto, 2006). Os debates sobre as ferramentas a serem utilizadas nestes Programas passam a tomar importância ambiental e social no Brasil após as bacias

hidrográficas serem consideradas unidades espaciais de estudo para o planejamento, gerenciamento e desenvolvimento humano na paisagem. Entender as características e o funcionamento dos corpos hídricos passou a ser fundamental para o desenvolvimento sustentável, uma vez que refletem sua bacia hidrográfica considerando-se a qualidade e a quantidade de água e as atividades antrópicas existentes (Pires & Santos, 1995; Rocha *et al.*, 2000).

Portanto, tendo em vista a importância ecológica, econômica e social dos ambientes aquáticos continentais, a proteção de suas bacias de drenagem, ou parte delas, pode melhorar as suas características ecológicas como um todo (Fennessy & Cronk 1997; Wallace *et al.*, 1997). Áreas protegidas podem ser de fundamental importância para a preservação dos ecossistemas aquáticos continentais e conseqüentemente dos organismos aquáticos que neles vivem. Além disso, estas áreas protegidas podem ser utilizadas como áreas de referência, ou seja, que conservam suas características ecológicas bem preservadas, permitindo a avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica ao compará-las com as demais áreas.

Na busca de contribuir no debate nacional sobre os Programas de Biomonitoramento Ambiental, o Laboratório de Ecologia de Bentos do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais vem realizando, em parceria com o Projeto Manuelzão-UFMG, um Programa de Biomonitoramento. Este Programa é baseado no levantamento de parâmetros físicos, químicos e no inventário taxonômico das comunidades de fitoplâncton, zooplâncton, macroinvertebrados bentônicos e peixes nos córregos e rios nas bacias elementares da Região Metropolitana de Belo Horizonte e ao longo da calha do rio das Velhas, até o encontro com o Rio São Francisco. O objetivo principal é avaliar a saúde ambiental e integridade biológica dos recursos hídricos. Com base nestas informações e considerando-se que o Rio das Velhas é o principal afluente do Rio São Francisco em termos de aporte de poluentes, será possível levantar informações capazes de subsidiar a implementação de atividades de proteção das águas do “Velho Chico” e subsidiar intervenções para recuperar áreas degradadas.

A bacia do rio das Velhas

A bacia do rio das Velhas está localizada na região central do estado de Minas Gerais, entre as latitudes 17° 15' e 20° 25' S e longitudes 43° 25' e 44° 50' W, apresentando uma forma alongada na direção norte-sul. O rio das Velhas é o maior afluente em extensão da bacia do rio São Francisco, tendo sua nascente no município de Ouro Preto, desaguando no

rio São Francisco, a jusante da barragem do Três Marias. Possui 761 km de extensão, 38,4 m de largura média, drenando uma área de 29.173 km² (Polignano *et al.*, 2001).

Integram a bacia do rio das Velhas 51 municípios, e a população total abrangida é de 4,5 milhões de habitantes. Estes municípios têm uma importância econômica (42% do PIB mineiro) e social significativa devido à sua localização que inclui a maior parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (Polignano *et al.*, 2001). Além disso, boa parte do rio das Velhas, juntamente com algumas de suas cabeceiras, está encaixada no Quadrilátero Ferrífero, sendo por isso uma das áreas mais críticas devido aos inúmeros empreendimentos de mineração (p.ex. ferro, ouro, manganês, recursos hídricos).

A região metropolitana de Belo Horizonte, apesar de ocupar apenas 10% da área territorial desta bacia, é a principal responsável pela degradação ecológica do rio das Velhas, devido à sua elevada densidade demográfica (mais de 70,8% de toda a população da bacia), processo de urbanização e atividades industriais.

As altitudes da bacia variam de cerca de 1500m na Serra do Jorge (região de cabeceira) a aproximadamente 500m na sua foz no rio São Francisco. A temperatura média anual é de 20°C, com precipitação média de 1400mm. A vegetação natural predominante é a de campos rupestres, cerrado e fragmentos de mata atlântica, sendo que 90% da região da bacia apresentam sua vegetação modificada devido a ocupação antrópica crescente e desenfreada.

A bacia do rio das Velhas é dividido em trechos alto, médio e baixo, onde:

- Alto rio das Velhas: compreende a porção do rio que vai da Cachoeira das Andorinhas, em Ouro Preto, até a jusante da foz do Ribeirão da Mata, em Santa Luzia;
- Médio rio das Velhas: depois da foz do Ribeirão da Mata até a foz do Paraúna;
- Baixo rio das Velhas: do Paraúna até a foz no rio São Francisco.

Metodologia utilizada

O Programa de Biomonitoramento da Bacia do rio das Velhas vem sendo realizado desde 2003 com 4 coletas anuais intensivas concentradas nos períodos de chuvas e seca. Este Programa conta com uma rede amostral de 37 pontos ao longo da bacia hidrográfica do rio das Velhas, sendo 4 no trecho alto do rio das Velhas, 13 na região metropolitana de Belo Horizonte, 9 no trecho médio e 11 no trecho baixo do rio das Velhas.

O programa de monitoramento ambiental realizado também avalia: 1- a ictiofauna, pela equipe do Departamento de Zoologia da UFMG; 2- as condições ecológicas através da

aplicação de um Protocolo de Caracterização de condições ecológicas de trechos de bacia, proposto por Callisto *et al.* (2002); 3- a composição granulométrica e teores de matéria orgânica do sedimento; 4- a composição e estrutura das comunidades bentônicas; 4.1- descrição das populações e comunidades características; 4.2- identificação de diferenças entre as populações e comunidades em sítios distintos; 4.3- Risco Ambiental. Este último enfoque é realizado com base na avaliação de respostas biológicas a poluentes; na obtenção de informações técnico-científicas para as tomadas de decisão; utilização do conceito de bacia hidrográfica como unidade de estudos; na avaliação de riscos para a saúde humana e identificação de riscos ecológicos; no oferecimento de ferramentas para comparar com as condições esperadas na ausência de atividades antrópicas; na obtenção de informações para ações de manejo buscando minimizar fontes de risco biológico identificadas e de interesse ambiental.

Abordagens de Estudos na Bacia do Rio das Velhas

Para o programa de Biomonitoramento da qualidade das águas da bacia do rio das Velhas são realizadas coletas em 37 trechos de córregos e rios, espalhados nos 29.173 km² da bacia (Figura 1). Para este programa buscou-se utilizar o enfoque de áreas de referência, na tentativa de propor esta metodologia para futuros programas ambientais. Desta forma, além do biomonitoramento nas áreas que sofrem diferentes níveis de pressão antrópica também buscou-se avaliar áreas preservadas.

A bacia do rio das Velhas possui atualmente mais de 20 unidades de conservação, distribuídas em Parques Nacionais, Estaduais, APAs, RPPNs e Estações Ecológicas. Dentre estas unidades o programa de Biomonitoramento vem amostrando em 8 diferentes rios situados, pelo menos parcialmente, em alguma unidade de conservação. As áreas de referência vêm apresentando os maiores valores de riqueza e diversidade de organismos bentônicos na bacia, corroborando a sua escolha. Ao avaliar trechos impactados, alterados e preservados, o Programa de Biomonitoramento passa a utilizar o conceito de bacia hidrográfica como unidade de estudos. A partir deste prisma é possível integrar o homem e a natureza, a diversidade social e biológica no espaço, importante no estudo de áreas urbanizadas, como é o caso da bacia hidrográfica do rio das Velhas.

A utilização bioindicadores de qualidade de água na bacia do Rio das Velhas vem mostrando que esta bacia apresenta situações extremas, com áreas muito degradadas apresentando pouquíssimas *taxa* em elevadas densidades, e áreas bem preservadas com uma

elevada riqueza taxonômica. Estes resultados evidenciam a má distribuição demográfica na bacia, sendo que a concentração populacional situa-se no trecho alto da bacia do rio das Velhas com 3.082.407 de habitantes (70% da população da bacia, Camargos, 2005).

Esta mancha demográfica traz inúmeras conseqüências ambientais e a urbanização desordenada das cidades aumenta a pressão antrópica sobre os ecossistemas aquáticos. Rios e córregos recebem elevadas cargas de esgotos domésticos e efluentes industriais sem tratamento, diminuindo drasticamente a qualidade dos serviços que os ecossistemas nos oferecem (Figura 2). As alterações ambientais causaram alterações qualitativas e quantitativas na composição de espécies e sua biodiversidade, como é o caso da região Metropolitana de Belo Horizonte, onde os cursos d'água foram fortemente alterados e apresentam reduzida qualidade de água.

Biomonitoramento e participação político-social

Levantar meios para a recuperação e gerência de ecossistemas aquáticos continentais não são fáceis, uma vez que não se trata apenas de interesses científicos, mas interesses muitas vezes econômicos e políticos (Zandbergen, 1998). Medidas de saneamento e tratamentos de esgotos podem melhorar consideravelmente as condições da qualidade das águas da bacia do rio das Velhas, permitindo a revitalização das comunidades aquáticas. Resultados obtidos pelo Programa de Biomonitoramento já apontam para uma sensível melhora da qualidade das águas a jusante da região metropolitana de Belo Horizonte. Foi detectado o aumento da riqueza taxonômica e a presença de organismos menos tolerantes tanto de macroinvertebrados aquáticos (p.ex. Trichoptera e Plecoptera - Figura 3) quanto de peixes (p.ex. Curimatá, Piau e Dourado).

Esta melhora é resultado das medidas que vêm sendo implementadas para revitalizar e melhorar a qualidade das águas na região metropolitana de Belo Horizonte. Existe hoje um compromisso celebrado entre atores governamentais, usuários de água da bacia e a sociedade civil organizada de atuar em várias frentes para que seja possível navegar, pescar e nadar no Rio das Velhas em sua passagem pela região metropolitana de Belo Horizonte em 2010, denominada META 2010 do Projeto Manuelzão-UFMG (Figuras 4 e 5).

As obras de recuperação na bacia iniciam-se em 2006, fato que estimula os movimentos e abre a possibilidade de obtenção de avanços na qualidade da participação comunitária, agora não mais em torno apenas de demandas ao poder público de melhorias

ambientais, mas também, através da responsabilização com o cuidado e gestão das sub-bacias. O projeto de recuperação ambiental de Belo Horizonte prioriza intervenções em aproximadamente 35 km de cursos d'água, correspondentes a 8 sub-bacias urbanas. Estas sub-bacias totalizam uma área de influência de aproximadamente 23,5 km² (7,0% da área de Belo Horizonte), com uma população diretamente beneficiada estimada em 86.160 habitantes (4,0% da população de Belo Horizonte). Cada projeto está formado por um conjunto integrado de intervenções referentes a uma sub-bacia hidrográfica nos aspectos de saneamento urbano, drenagem pluvial, melhoria viária, recuperação das áreas e uso social, remoção e reassentamento de famílias, determinadas em função das peculiaridades e carências das respectivas bacias elementares.

Além destas medidas é importante a manutenção do monitoramento biológico a longo prazo. Os resultados obtidos servirão como base sólida para apontar medidas corretas para efetuar a exploração racional dos recursos hídricos pela sociedade, incluindo a pesca e o abastecimento doméstico e industrial. Esse tipo de manejo sustentado prevê a diminuição dos riscos à saúde das populações que vivem ou dependem das águas e biodiversidade do rio das Velhas, contribuindo para a garantia de recursos para as gerações futuras.

Agradecimentos

Agradecemos o convite do Prof. Luiz Ubiratan Hepp para participar do II Simpósio Sul de Gestão e Conservação Ambiental na URI-Campus de Erechim. Somos especialmente gratos aos colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos e do NUVELHAS pelo apoio nas coletas de campo e processamento de amostras em laboratório. As informações contidas neste manuscrito ilustram as atividades de Biomonitoramento que são realizadas em colaboração com o Projeto Manuelzão-UFMG. Apoio financeiro e logístico foi-nos oferecido através de projetos e parcerias com FAPEMIG, CNPq, CAPES, Petrobrás, Consórcio Capim Branco, AngloGold Ashanti Mineração e Gerdau Açominas. P. Moreno é aluno de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ecológica, Conservação e Manejo de Vida Silvestre e M. Callisto é bolsista produtividade e pesquisa do CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBA – TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del agua en Andaluzia (SIAGA)*, Almeria, v. 2, p. 203-13. ISBN: 84-784.
- ALLAN, J.D. 2004. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 35: 257-284.

- BAILEY, R.C.; NORRIS, R.H. & REYNOLDSON, T.B. 2004. *Bioassessment of Freshwater Ecosystems: Using the Reference Condition Approach*. Kluwer Academic Publishers. Boston. 170pp.
- BARBOSA, F.A.R. 1994. Why a Brazilian programme on conservation and management of aquatic ecosystem? *Acta Limnologica Brasiliensia* 5: 13-18.
- BERNHARDT, E.S., PALMER, M.A., ALLAN, J.D., ALEXANDER, G., BARNAS, K., BROOKS, S., CARR, J., CLAYTON, S., DAHM, C., FOLLSTAD-SHAH, J., GALAT, D., GLOSS, S., GOODWIN, P., HART, D., HASSETT, B., JENKINSON, R., KATZ, S., KONDOLF, G.M., LAKE, P.S., LAVE, R., MEYER, J.L., O'DONNELL, T.K., PAGANO, L., POWELL, B. & SUDDUTH, E. 2005. Synthesizing U.S. River restoration efforts. *Science* 308: 636-637.
- BONADA, N.; PRAT, N.; RESH, V.H. & STATZNER, B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 495-523.
- BUSS, D. F. 2002. Proteção à vida aquática, participação das comunidades e políticas de recursos hídricos. *Ciência e Ambiente* 25: 71-84.
- CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. D. C. 2001. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 6 (1): 71-82.
- CALLISTO, M.; FERREIRA, W.; MORENO, P.; GOULART, M. D. C.; PETRUCIO, M. 2002. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 14 (1): 91-98.
- CALLISTO, M. & GONÇALVES JÚNIOR, J.F. 2005. Bioindicadores Bentônicos. In: Fabio Roland, Dionéia Cesar e Marcelo Marinho (Eds). *Lições de Limnologia*, São Carlos, Ed. Rima, pp. 371-379.
- CALLISTO, M.; GONÇALVES, J.F. & MORENO, P. 2005. Invertebrados Aquáticos como Bioindicadores. In: Goulart, E.M.A. (Eds). *Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais*, 555-567.
- CAMARGOS, L.M.M. 2005. *Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas: resumo executivo dezembro 2004/* Luíza de Marillac Moreira Camargos (coord.). - Belo Horizonte : Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. 228pp.
- CLARKE, R.T.; FURSE, M.T.; JUN, R.J.M.; WINDER, J.M. & WRIGHT, J.F. 2002. Sampling variation in macroinvertebrate data and implications for river quality indices. *Freshwater Biology* 47(9): 1735-1751.
- CLARKE, R.T.; WRIGTH, J.F. & FURSE, M.T. 2003. RIVPACS models for predicting the expected macroinvertebrate fauna and assessing the ecological quality of rivers. *Ecological Modelling* 160(3): 219-233.
- EATON, D.P. 2003. *Macroinvertebrados aquáticos como indicadores ambientais da qualidade de água*. In: L. Cullen, R. Rudran & C. Valladares-Padua (eds.). *Métodos de Estudo em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre*. UFPR. Fundação O Bticário de Proteção à Natureza. Curitiba. Brasil. 43-67pp.
- FENNESSY M.S. & CRONK J.K. 1997. The effectiveness and restoration potential of Riparian Ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 27: 285-317.
- HANNAFORD, M.J., BARBOUR, M.T. & RESH, V.H. 1997. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16(4): 853-860.

- LENAT, D. R. & BARBOUT, M. T. 1994. *Using benthic macroinvertebrate communities structure for rapid, cost – effective, water quality monitoring: rapid bioassessment*. In: Coeb, S. L. & Spacie, A. (eds) *Biological Monitoring of aquatic systems*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida; p. 187-215.
- POMPEU, P.S.; ALVES, C.B.M.; CALLISTO, M. 2005. The effects of urbanization on biodiversity and water quality in the Rio das Velhas Basin, Brazil. *American Fisheries Society Symposium* 47: 11-22.
- MORENO, P. & CALLISTO, M. 2006. Benthic macroinvertebrates in the watershed of an urban reservoir in southeastern Brazil. *Hydrobiologia* 560: 311-321.
- NIEMI, G.J. & MCDONALD, M.E. 2004. Application of ecological indicators. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35: 89-111.
- NORRIS, R.H. & HAWKINS, C.P. 2000. Monitoring river health. *Hydrobiologia* 435: 5-17.
- PALMER, M.A. & ALLAN, J.D. 2006. *Restoring rivers – the work has begun, but we have yet to determine what works best*. Issues in Science and Technology (in press).
- PALMER, M.A., BERNHARDT, E.S., ALLAN, J.D., LAKE, P.S., ALEXANDER, G., BROOKS, S., CARR, J., CLAYTON, S., DAHM, C.N., FOLLSTAD, J., GALAT, D.L., LOSS, S.G., GOODWIN, P., HART, D.D., HASSETT, B., JENKINSON, R., KONDOLF, G.M., LAVE, R., MEYER, J.L., O'DONNELL, T.K., PAGANO, L. & SUDDUTH, E. 2005. Standards for ecologically successful river restoration. *J. Appl. Ecol.* 42: 208-217.
- PETROSKI, H. 1985. *To engineer is human: the role of failure in successful design*. St Martin's Press, New York, NY.
- PIRES, J. S. R. & SANTOS, J. E. 1995. Bacias Hidrográficas, interação entre meio ambiente e desenvolvimento. *Revista Ciência Hoje* 19: 40-45.
- POLIGNANO, M.V.; POLIGNANO, A.H.; LISBOA, A.L.; ALVES, A.T.G.M.; MACHADO, T.M.M.; PINHEIRO, A.L.D. & AMORIM, A. 2001. *Uma viagem ao projeto Manuelzão e à bacia do Rio das Velhas – Manuelzão vai à Escola*. Coleção Revitalizar. Belo Horizonte. Brasil.
- RICCIARDI A & RASMUSSEN JB. 1999. Extinction rates of North American freshwater fauna *Conservation Biology* 13 (5): 1220-1222.
- ROCHA, O.; PIRES, J.S.R. & SANTOS, J. E.. 2000. *A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento*. In: Espíndola, ELG et al. (Org.). *A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho*. São Carlos: Rima Editora, pp1-16.
- ROSENBERG, D.M: & RESH, V.H., eds. 1993. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. New York: Chapman & Hall, 488pp.
- SIMPSON, J.C. & NORRIS, R.H. 2000. *Biological assessment of river quality: development of AUSRIVAS models and outputs*. In: Wright, D.W.; Sutcliffe, D.W. & Furse, M.T. (eds.). *Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques*. Freshwater Biological Association, Ambleside, UK. pp. 125-142.
- SLOANE, P.I.W. & NORRIS, R.H. 2003. Relationship of AUSRIVAS-based macroinvertebrate predictive model outputs to a metal pollution gradient. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 22(3): 457-471.
- STATZNER, B.; HILDREW, A.G. & RESH, V.H. 2001. Species traits and environmental constraints: entomological research and the history of ecological theory. *Annu. Rev. Entomol.* 46: 291-316.
- WALLACE J.B., EGGERT S.L., MEYER J.L. & WEBSTER J.R. 1997. Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science* 277: 102–104.
- WISHART, M.J. & DAVIES, B.R. 2002. Collaboration, conservation and the changing face of limnology. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 12: 567–575.

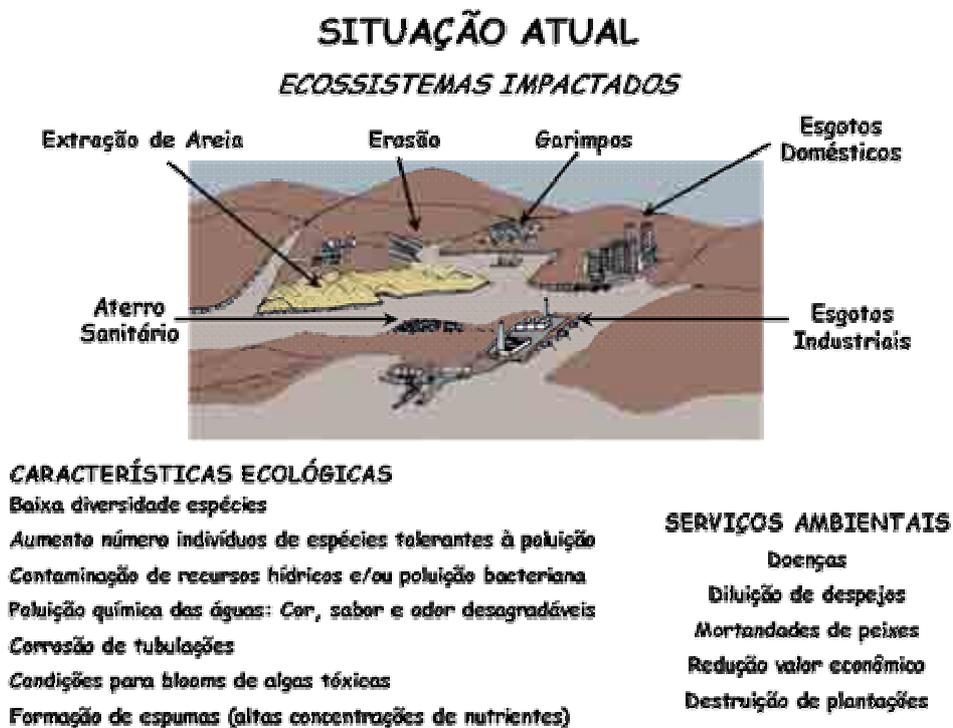


Figura 2 - Resumo da situação atual de degradação ecológica na região metropolitana de Belo Horizonte na bacia hidrográfica do rio das Velhas (MG).

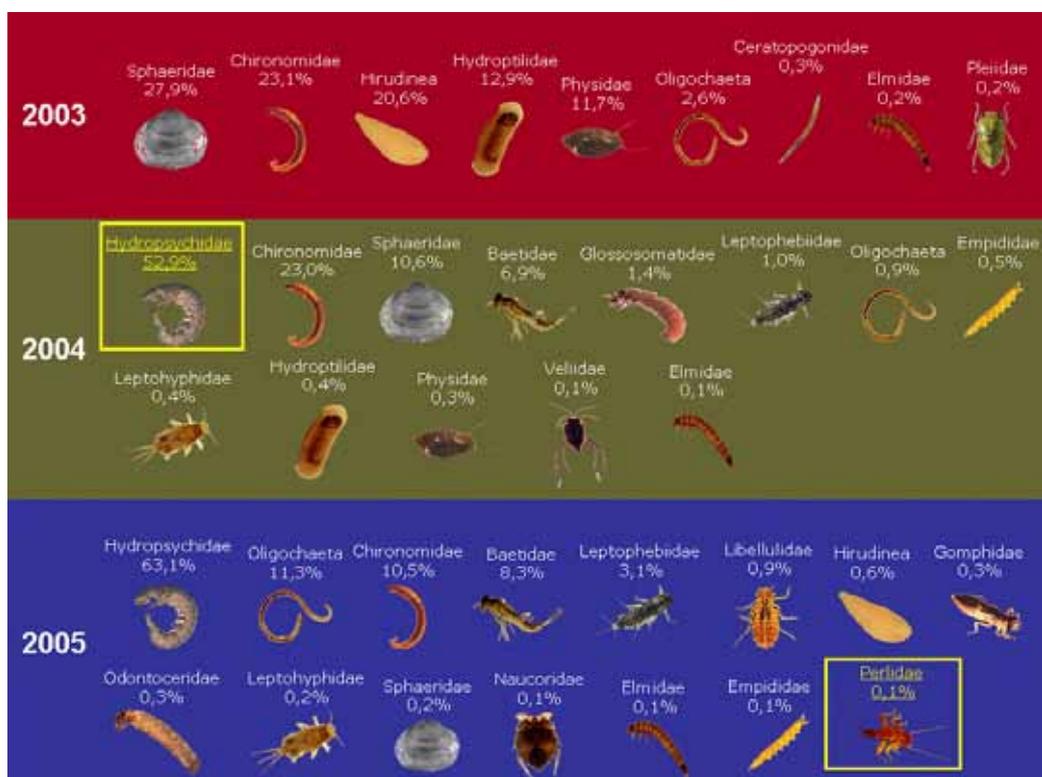


Figura 3 - Riqueza taxonômica e biodiversidade bentônica a jusante Região Metropolitana de Belo Horizonte, avaliadas nos anos de 2003-2005 na bacia do rio das Velhas (MG).

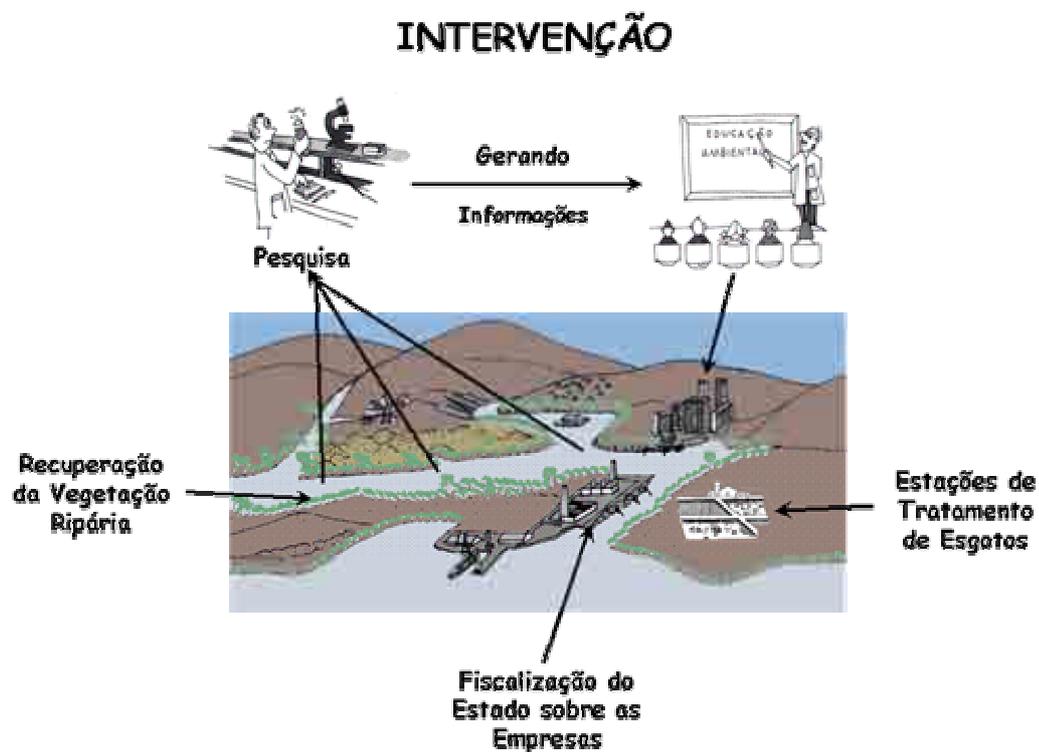


Figura 4 - Resumo de intervenções necessárias para a revitalização dos cursos d'água na região metropolitana de Belo Horizonte, bacia do rio das Velhas (MG).



Figura 5 - Cenário ambiental almejado com a meta 2010 do Projeto Manuelzão-UFMG.