CAPÍTULO 6

*Bioindicadores
bentônicos de
qualidade de água*

Córrego Mascates - bacia do rio das Velhas
Serra do Cipó/MG
Foto: Ricardo Solar

CAPÍTULO 6

Estação 3:

DOI: 10.17648/ufmg-monitoramento2019-6

Bioindicadores bentônicos de qualidade de água

Juliana Silva França & Marcos Callisto

CONCEITOS-CHAVE

- 6.1 Biomonitoramento:** metodologia de estudo ecológico de avaliação de qualidade ambiental utilizando organismos, que considera escalas temporais e espaciais.
- 6.2 Bioindicadores:** organismos que indicam a qualidade ecológica de ecossistemas dentro de limites de tolerância a alterações ambientais causadas por distúrbios de atividades humanas.
- 6.3 Macroinvertebrados bentônicos:** organismos invertebrados, visíveis a olho nu, que vivem no fundo de ecossistemas aquáticos.
- 6.4 Índices de Qualidade Biológica:** ferramenta de avaliação ecológica que combina fatores ecológicos de comunidades biológicas para responder sobre a qualidade de ecossistemas aquáticos.

E,

enfim, chegamos ao nosso tão esperado Capítulo 6. E tão esperado por quê? Porque representa o fim de um Módulo muito interessante para nós: o de Bases Metodológicas. Mais do que isso, finalmente, completaremos nossa abordagem sobre a Ecologia como a conceituamos no início deste livro: a ciência que estuda as interações dos organismos com seu ambiente. Portanto, estamos aptos a descrever o nosso ambiente físico e químico, e agora trataremos de um parâmetro biológico: os organismos, suas respostas ecológicas e interações com o meio onde vivem. Que venham os nossos parâmetros biológicos! E que sejam muito bem vindos para todos nós!

Por que incluir um parâmetro biológico?

Você já parou para pensar por que seria tão importante incluir um parâmetro biológico em seus estudos ecológicos? Desde o início deste livro, temos abordado a importância de pesquisas em Ecologia como forma de considerar e entender as relações e estruturas ecossistêmicas. E nosso principal objetivo em considerar estes estudos é trazer para vocês uma experiência para torná-los membros atuantes na sociedade na busca pela conservação e manutenção de bens e serviços que os ecossistemas naturalmente nos oferecem. Todas essas discussões e experiências que buscamos ter com vocês e seus professores nesse livro têm como meta ajudá-los a refletir, discutir e enfrentar os problemas ambientais causados pelo progresso da humanidade. É possível parar o progresso e suas consequências? Talvez não, mas temos como enfrentar os problemas desenvolvendo estratégias de utilização dos recursos naturais e buscar, por meio de nossa participação em reuniões com tomadores de decisões, em audiências públicas ou com políticos, que as leis ambientais brasileiras sejam cumpridas. Importante destacar que temos ótimas leis ambientais mas que nem sempre estas leis são adequadamente cumpridas. A sustentabilidade ambiental deve deixar de ser uma discussão em sala de aula e se transformar em uma meta de toda a sociedade, no Brasil e no mundo! Mas o começo tem que ser a partir de cada um de nós e os conhecimentos sobre Ecologia são imprescindíveis para entender a composição e funcionamento dos ecossistemas. E para entender este funcionamento por que não considerar os seus moradores? Ou os usuários dos recursos naturais? Afinal, a manutenção da qualidade ambiental é indispensável apenas para a população humana? Claro que não! A manutenção de

um equilíbrio ecológico, envolvendo desde os organismos até os ecossistemas, é fundamental para a manutenção de toda a biosfera. E, a partir dos conhecimentos adquiridos no Módulo I deste livro, entendemos a ligação de cada estrutura e sua importância na manutenção da ciclagem de nutrientes e matéria orgânica, fluxo de energia, produtividade... enfim, na manutenção ecológica e do bom funcionamento dos ecossistemas. Neste contexto, os organismos, sua presença, distribuição, estrutura de suas populações e comunidades são ótimos indicadores da qualidade ecológica e integridade de ecossistemas terrestres e aquáticos, uma vez que eles também são moradores e usuários diretos dos serviços oferecidos pelos ecossistemas.

Mas vocês podem pensar: se somos capazes de descrever a qualidade de água através de parâmetros físicos e químicos e relacioná-la com o entorno, já não temos argumentos suficientes para chamar a atenção de nossos governantes? Pois bem, vamos falar um pouco das vantagens e desvantagens dessas medidas. As medidas de impacto local e regional que avaliamos no Capítulo 4 são importantes sim, mas elas, provavelmente, já são bastante conhecidas pelos moradores da região e, inclusive, pelos tomadores de decisão, pelo prefeito e pelos vereadores de seu município. Se a região sofre com aglomeração urbana e tem pouca ou nenhuma infraestrutura de descarte de resíduos ou se tem pouco ou nenhum controle sobre a retirada de águas para agricultura ou utilização de agrotóxicos, já temos uma boa noção de como isso afeta nossos ecossistemas. Mas tudo isso não tem sido suficientemente convincente para identificarmos os problemas relacionados aos serviços ecossistêmicos que estamos perdendo nos ecossistemas aquáticos. Afinal, se ainda há água nas torneiras ou disponível para a irrigação, pode parecer ainda que não há um problema aos gestores ambientais. Então vocês logo pensam: mas podemos argumentar utilizando dados que obtivemos de parâmetros físicos e químicos de coluna d'água, avaliados do Capítulo 5. Sim, esses são argumentos fortes para discutir sobre qualidade ambiental. São, inclusive, bastante utilizados em programas de monitoramento ambiental, através de um índice de qualidade de águas (IQA), como abordamos no Capítulo 5. E sim, acreditem, são parâmetros bastante vantajosos por apresentarem uma identificação imediata de modificações de qualidade ambiental, por representarem detecção precisa da variável modificada (dados numéricos) e, também, por permitirem a determinação precisa de mudanças ambientais (p. ex. alterações nas concentrações de oxigênio que era 8,0 mg/L e que hoje é 5,0 mg/L). Mas, também, apresentam algumas desvantagens, como a descontinuidade em escalas temporal e espacial das amostragens (não conseguiremos medir com frequência diária abrangendo uma grande área geográfica). Portanto, elas nos fornecem uma fotografia instantânea do momento, afinal os ecossistemas aquáticos possuem uma situação dinâmica e fluxo unidirecional e, por conta disso, com uma alta capacidade de autodepuração (Figura 6.1).

Figura 6.1 – Vantagens e desvantagens relacionadas ao uso exclusivo de parâmetros físicos e químicos de coluna d'água na avaliação de qualidade ecológica de um ecossistema fluvial.

Agora, imaginem: e se associarmos a estas medições o estudo de organismos que vivem naquele ecossistema e que sofrem com as interferências que ali ocorrem? Não seria importante incluir um parâmetro biológico em nossos estudos ecológicos? Vocês estão dispostos a incrementar, através de informações sobre a biota aquática, o monitoramento ambiental sobre os ecossistemas aquáticos escolhidos por vocês para o estudo ecológico? Pois esperamos que sim, que ainda haja um fôlego curioso nesse grupo de pesquisas! A partir de agora, o nosso monitoramento se transformará em um biomonitoramento de qualidade ecológica de águas urbanas.

BIOMONITORAMENTO é definido como o uso sistemático de respostas biológicas para avaliar alterações no ambiente com o objetivo de utilizar essa informação em um programa de controle de qualidade (especialmente modificações antropogênicas). Essa definição foi extraída de um livro publicado em 1993 pelos pesquisadores David M. Rosenberg (Canadá) e Vincent H. Resh (EUA). Mas, exatamente onde ela se diferencia de nossa definição de monitoramento ambiental do Capítulo 5? Quando aborda, especificamente, as respostas biológicas. Essas respostas biológicas, ou seja, ligadas à existência de algum organismo, serão nosso foco de avaliação de qualidade ecológica de águas. E essa abordagem será desenvolvida no estudo de um ecossistema aquático urbano de nosso interesse, que visa conservação ou recuperação, melhoria ou manutenção da qualidade ambiental. Vocês topam completar o nosso monitoramento ambiental iniciado nos Capítulos 4 e 5 e transformá-lo em um Programa de Biomonitoramento? Mas, antes de partirmos para o Método Científico, com base na avaliação biológica, sigamos com a complementação de nosso arcabouço teórico.

Em primeiro lugar, vamos pensar juntos exatamente o que queremos responder cientificamente com o nosso biomonitoramento de qualidade ecológica de águas urbanas. De um modo geral, um Programa de Monitoramento Ambiental tenta responder duas questões principais, que vocês poderão utilizar como base metodológica nesse estudo (Tabela 6.1):

Tabela 6.1 – Questões a serem discutidas com a equipe de avaliação de qualidade ecológica de águas na escola para determinar o foco de um biomonitoramento participativo. A segunda coluna descreve previsões que devem ser consideradas.

Questões Ecológicas	Significado para a realidade local
1. Qual o estado de conservação/degradação do ecossistema aquático?	O ecossistema aquático oferece serviços ambientais? (p. ex. abastecimento humano, recreação, pesca, retirada de areia, dessedentação de animais, irrigação de hortas).
2. Qual quantidade de água é possível utilizar modificando o mínimo possível o funcionamento desse ecossistema?	Quanto desse recurso pode ser utilizado, de forma sustentável, para atender à sociedade garantindo os múltiplos usos na bacia hidrográfica?

Temos quase certeza de que essas questões têm fervilhado em suas cabeças enquanto avaliaram as atividades humanas no entorno e a qualidade física e química das águas. Aliás, as respostas para essas questões devem ser quase um senso comum para a comunidade de moradores ribeirinhos se considerarmos a coloração, o odor, e o conhecimento sobre a entrada direta de esgoto e lixo nos ecossistemas aquáticos. Mas, novamente, aplicando técnicas científicas ao nosso conhecimento prévio, que também foi obtido anteriormente por métodos científicos, nós seremos capazes não só de diagnosticar a qualidade ambiental, mas ainda cobrar pela manutenção ou melhoria da qualidade ecológica dos ecossistemas em nosso território. E essa cobrança por manutenção e melhoria de qualidade ecológica passa a ser embasada por conhecimentos adquiridos através de experimentações e aplicação de métodos científicos pelos moradores e usuários desse território. Desse modo, nossa expectativa é que esse programa de biomonitoramento realizado por vocês seja capaz de diagnosticar as consequências de atividades humanas sobre o ecossistema. Esse diagnóstico implicaria se o ecossistema está em equilíbrio ecológico ou se alguma ação de recuperação ambiental é necessária para buscar a melhoria das condições ambientais. Aliás, existem inúmeras respostas que um programa de biomonitoramento de qualidade ecológica de rios urbanos pode nos oferecer. Assim, podemos nos tornar protetores dos ecossistemas aquáticos em nossa região. A partir dessa leitura, vocês confirmarão, através da ciência, suas respostas para muitas dúvidas sobre as consequências das atividades humanas sobre os ecossistemas aquáticos, inerentes e comuns à comunidade de moradores que vive

próxima a um curso d'água. E, sem mais demora, iniciaremos a nossa discussão sobre como responder às perguntas levantadas para nosso programa de biomonitoramento, através da Tabela 6.1 ou confirmar nossas previsões ecológicas. Começaremos pela importância da utilização de organismos através do conceito de bioindicadores de qualidade de água.

O termo bioindicação remete a uma ferramenta empregada em estudos, diagnósticos e monitoramentos ambientais que se vale de organismos como indicadores ambientais. Essa abordagem de estudos ecológicos possibilita avaliar a saúde de um ecossistema, analisar as alterações ambientais devido a atividades humanas e efetuar o acompanhamento de medidas restauradoras de condições ecológicas. Bioindicadores são, portanto, os organismos vivos utilizados em um estudo de monitoramento ambiental que indicam a qualidade ecológica de um ecossistema. Define-se como BIOINDICADORES as espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, abundância e condições de existência (p. ex. fatores abióticos de qualidade de água) refletem o estado biótico e abiótico em uma determinada condição de qualidade ambiental. Os bioindicadores são importantes porque refletem a qualidade ecológica natural ou degradada por atividades humanas, com potencial impactante. São importante ferramenta na avaliação de integridade ecológica (qualidade de uma região, definida pela comparação da estrutura e função de uma comunidade biológica entre áreas impactadas e áreas na melhor condição disponível). Sua principal aplicação tem sido, no entanto, avaliar os impactos de atividades humanas nos ecossistemas em áreas urbanas. Vários são os organismos que podem servir como bioindicadores, refletindo processos ecológicos que ocorrem dentro de populações de organismos e até comunidades inteiras (Box 6.1).

Box 6.1 – Exemplos de diferentes bioindicadores de qualidade ambiental.

AR

Líquens: associação mutualística entre algas e fungos. Sensíveis a dióxido de enxofre, fluoretos e ozônio. Sua presença em troncos de árvores é indicadora dos níveis de poluição do ar

Leveduras: gênero *Sporobolomyces*. Sensíveis a dióxido de enxofre e dióxido de carbono. Sua presença em folhas de ipê amarelo e roxo é indicadora de poluição do ar.

SOLO

Biomassa microbiana: bactérias e fungos. Responsáveis pelo processo de formação do solo, decomposição e ciclagem de nutrientes. A alta diversidade microbiana garante que o ecossistema mantenha-se estável.

ÁGUA

Fitoplâncton: cianobactérias e algas azuis. Podem produzir cianotoxinas como defesa contra predadores. Proliferam com aumento de nutrientes (P e N), indicando poluição orgânica.

Zooplâncton: rotíferos. Considerados organismos oportunistas, algumas espécies apresentam altas densidades em águas com poluição orgânica. São abundantes em ecossistemas com altos teores de nutrientes, tendo preferência por ambientes eutrofizados.

São muitos os exemplos de organismos que podem ser utilizados como bioindicadores de qualidade de ar, solo ou água. Como o nosso foco de estudos é a Ecologia Aquática, abordaremos com mais atenção os bioindicadores aquáticos. Além dos exemplos citados no Box 6.1, podemos citar outros tipos de algas planctônicas, zooplâncton, macrófitas aquáticas e peixes. As leis ambientais brasileiras preveem a utilização de bioindicadores para a avaliação de qualidade de águas. Em nível nacional, a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 357/2005, citada no Capítulo 5) prevê que o biomonitoramento seja uma das ferramentas para determinação das metas de qualidade de água, apontando para a importância de indicadores biológicos como ferramenta do enquadramento das águas no país. O estado de Minas Gerais possui uma Deliberação Normativa Conjunta nº 01, de 5 de maio de 2008, dos Conselhos Estadual de Política Ambiental (COPAM) e Estadual de Recursos Hídricos (CERH), também citada no Capítulo 5, que orienta quais comunidades de organismos aquáticos devem ser, preferencialmente,

consideradas para avaliar a qualidade ecológica dos ecossistemas aquáticos. Para o estudo e monitoramento de ecossistemas lóticos, ou seja, rios e riachos, os bioindicadores previstos em legislação ambiental são os invertebrados bentônicos, macrófitas, perifíton e, quando necessário, peixes, zooplâncton, potenciais vetores de doenças e patógenos. Com base na importância da inclusão de um bioindicador em nossas avaliações de qualidade ecológica de águas urbanas, além de sua recomendação em leis ambientais brasileiras, indicaremos a utilização de bioindicadores no nosso programa de biomonitoramento. E, a partir desse momento, iniciaremos nossa proposta, na busca de conhecer um pouco mais sobre um grupo específico de indicadores de qualidade de águas: os macroinvertebrados bentônicos. Antes de falarmos de sua importância ecológica e do papel desses organismos como bioindicadores, vamos entender melhor onde vivem nos ecossistemas aquáticos. Os ecossistemas aquáticos continentais são compostos por diferentes compartimentos e abrigam, naturalmente, alta diversidade de formas de vida (Figura 6.2).

Foto: Carlos Bernardo Mascarenhas Alves

Figura 6.2 – Exemplos de compartimentos em um ecossistema aquático e respectivas comunidades biológicas.

Organismos que aproveitam a tensão superficial da água para se sustentar formam o *plêuston* e vivem na interface água-atmosfera (macrófitas flutuantes, por exemplo). Na coluna d'água encontraremos o *plâncton*, se movimentando à deriva, com baixa capacidade de natação (p. ex. algas e protozoários) e o *nécton*, os livre-nadantes (p. ex. peixes e anfíbios). Por fim, alguns organismos vivem associados ao sedimento dos ecossistemas aquáticos e compõem o *bentos* (p. ex. larvas de insetos, moluscos e minhocas d'água). A denominação bentos vem do grego (*benthos* = fundo) e os organismos ali encontrados são os organismos bentônicos. Nós encontraremos diferentes organismos bentônicos, incluindo os autótrofos (fitobentos: algumas algas e macrófitas aquáticas enraizadas submersas, por exemplo) e os heterótrofos (zoobentos: peixes; caranguejos e invertebrados, por exemplo). Os organismos bentônicos podem ser classificados quanto ao tamanho do corpo: macrobentos (> 0,5 mm de corpo) ou meso e microbentos (< 0,5 mm de tamanho de corpo). Esta diferenciação se dá, especialmente, pelo fato dos macrobentos serem visíveis a olho nu e os demais necessitarem de algum equipamento óptico (p. ex. visíveis apenas com o uso de lupas e microscópios). Pois bem, toda essa explicação um pouco mais detalhada sobre os organismos do compartimento bentônico é, justamente, pelo fato de sugerirmos o nosso programa de biomonitoramento com a utilização dos invertebrados bentônicos, ou uma parcela do zoobentos. Lembrem-se que eles foram citados no parágrafo acima, anterior à Figura 6.2, quando falamos da legislação ambiental do estado de Minas Gerais (COPAM/CERH 01/2008)? Sim, esses são organismos muito utilizados em programas de monitoramentos ambientais e, inclusive, considerados importantes indicadores ecológicos pela legislação estadual de Minas Gerais. Então vamos falar um pouco mais sobre eles?

Os invertebrados bentônicos, dos quais vamos tratar, fazem parte do grupo dos macrobentos (visíveis a olho nu) e, por isso, os chamaremos de macroinvertebrados bentônicos. Os MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS são organismos aquáticos de hábito bentônico, ou seja, vivem associados ao sedimento do fundo de ecossistemas aquáticos (pedras, cascalhos, banco de folhas, lama ou areia). Sua capacidade de bioindicação é determinada por importantes características ecológicas. Estes organismos desempenham importante papel em processos ecológicos, participando da degradação da matéria orgânica animal e vegetal no fundo de ecossistemas aquáticos; da ciclagem de nutrientes e matéria orgânica, com disponibilização tanto de nutrientes quanto de energia para níveis tróficos superiores (p. ex. peixes e anfíbios); e liberando nutrientes para a coluna d'água através de um processo denominado bioturbação (revolvimento do sedimento de fundo). Além de toda sua importância ecológica nos ecossistemas aquáticos, esses organismos são cosmopolitas, encontrados em todos os tipos de corpos d'água e abundantes. Além de serem facilmente coletados, as técnicas de coleta são padronizadas e podem ser utilizadas em todos os tipos de ecossistemas aquáticos continentais. São organismos visíveis a olho nu e de mobilidade reduzida, o que facilita a sua amostragem. Por serem utilizados como indicadores de qualidade de água, possuem características ecológicas bem conhecidas. São, p. ex. capazes de acumular poluentes ambientais como metais pesados (bioacumuladores). Associado à sua capacidade de bioacumulação, são consumidores de 1ª ou 2ª ordens, e assim,

podem ser a fonte de contaminantes para os níveis tróficos superiores nas cadeias alimentares. Apresentam respostas espaciais e temporais que permitem detecção de estresses pontuais de atividades humanas em rios e suas bacias hidrográficas, em diferentes escalas de estudos ecológicos.

As características utilizadas em avaliações de qualidade ecológica ambiental com o uso de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores são relacionadas à sua sensibilidade a alterações ambientais, respondendo a um gradiente de condições ecológicas (desde ecossistemas de referência até ecossistemas altamente impactados). Dessa forma, temos desde organismos sensíveis à poluição ou os chamados bioindicadores bentônicos de boa qualidade de águas; passando por organismos tolerantes a moderadas alterações ambientais; até organismos resistentes a extremas alterações ambientais ou os bioindicadores de má qualidade de águas. Essa é uma importante classificação, porém, o estudo de comunidades bentônicas como bioindicadoras de qualidade de água não se restringe apenas à observação pontual da presença ou ausência de determinados grupos sensíveis, tolerantes ou resistentes à poluição. O uso de diferentes avaliações, incluindo a diversidade de espécies em uma comunidade (a variedade de organismos); a riqueza de espécies (o número de espécies); a abundância (a quantidade total de organismos de uma espécie), p. ex. são medidas importantes a serem avaliadas em programas de biomonitoramento de condições ecológicas (Figura 6.3).

Ilustrações macroinvertebrados: Pau Fortuño

Figura 6.3 – Respostas biológicas representadas pela sensibilidade de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores, com perda da diversidade e riqueza biológica por modificações ecológicas nos ecossistemas aquáticos devido à perturbação por atividades humanas: onde (A) condição de mínima perturbação ou condições de referência; (B) condições de moderada perturbação; (C) condições de alta perturbação. O tamanho e sentido das setas indica o aumento na diversidade, riqueza e abundância (setas maiores e direcionadas para o alto) e/ou diminuição na diversidade, riqueza e abundância (setas menores e direcionadas para baixo).

Conforme esquematizado na Figura 6.3, é importante observar diversas características das comunidades bentônicas (diversidade, riqueza, abundância) citadas no parágrafo anterior. Dessa forma, um ecossistema em condições de referência (Figura 6.3 A) é rico em organismos de diferentes espécies, diverso, em termos de estrutura de suas comunidades e garantirá a manutenção de diversos grupos de organismos em suas cadeias e teias alimentares (incluindo consumidores de 1ª ordem até predadores de topo). Esse ecossistema se apresenta estável e suas condições ecológicas são adequadas para manutenção da vida aquática e fornecimento de serviços ecossistêmicos. Quando um ecossistema começa a sofrer perturbações por atividades humanas (Figura 6.3 B), há alterações nas comunidades aquáticas, com perda de diversidade e riqueza de espécies, provavelmente pela perda de organismos sensíveis a alterações ambientais. Esse ecossistema aquático sofre alterações no funcionamento das cadeias alimentares com redução da disponibilidade de recursos para os níveis tróficos superiores (predadores). Em resposta a essas alterações se inicia um processo de desestabilização e desequilíbrio com prejuízo à condição ecológica e consequente perda de espécies aquáticas e fornecimento de serviços ecossistêmicos. Por fim, ecossistemas altamente perturbados por urbanização (inclusive com entrada de esgotos domésticos e efluentes industriais) perdem espécies e neles observa-se redução de diversidade e riqueza, com sobrevivência de apenas organismos resistentes a alterações ambientais (Figura 6.3 C). Nesses ecossistemas, por falta de recursos, há modificação nas cadeias alimentares, ocorrendo aumento da abundância de alguns grupos resistentes às novas condições ecológicas. Essas modificações bruscas de características ecológicas resultam em ecossistemas totalmente desestabilizados, sem funcionamento ecológico adequado e perda de fornecimento de serviços ecossistêmicos.

Mas, enfim, para sermos capazes de avaliar essas condições de qualidade ecológica com base na estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos, é importante que possamos avaliar seu estado ecológico através de características de sensibilidade a alterações ambientais. Antes disso, vamos conversar um pouco sobre o nível taxonômico que avaliaremos com base na proposta do pesquisador Carolus Linnaeus (século XVII), citado no Capítulo 3 (Tabela 3.1). O nível taxonômico, ou Taxonomia, trata das definições, organização e ordenação de grupos de organismos utilizados por pesquisadores taxonomistas (citados no Capítulo 1). A taxonomia organiza os seres vivos em categorias hierárquicas, ou táxons, e é uma subárea da Sistemática. A Sistemática, por sua vez, é a área da Biologia que se ocupa de inventariar e descrever a biodiversidade e compreender as relações filogenéticas (relações evolutivas entre grupos de organismos). Pois bem, você já teve a oportunidade de conhecer nomes científicos de organismos? Além da taxonomia, a Nomenclatura (onde cada grupo recebe uma determinada denominação) é outra

subárea da Sistemática. Nossa! Muita informação? Mas você consegue imaginar a importância de nos basearmos na Sistemática e em suas subáreas em nossos estudos ecológicos? Essas subáreas são importantes para a comunicação entre pesquisadores (especialmente biólogos) de todas as partes do mundo. A utilização de nomes determinados pela Sistemática (Taxonomia e Nomenclatura), como os diversos pesquisadores em macroinvertebrados aquáticos do mundo utilizam, nos apoiarão como fonte de informação para outras pessoas montarem seus arcabouços teóricos. Do mesmo modo, nos trará informações endossadas por outros pesquisadores, uma vez que teremos conhecimentos adquiridos sobre nossos ecossistemas aquáticos utilizando a mesma nomenclatura de bioindicadores bentônicos que os demais cientistas. E, para tentar simplificar, lembrem-se dos principais níveis taxonômicos: REINO, FILO, CLASSE, ORDEM, FAMÍLIA, GÊNERO e ESPÉCIE. Com os macroinvertebrados bentônicos, na perspectiva da proposta deste livro, trabalharemos com os níveis de classe e/ou ordem. Isto facilitará o reconhecimento de algumas características uma vez que, quanto mais específico o nível taxonômico (família, gênero, espécie, por exemplo), mais complexos os detalhes a serem observados e a identificação do organismo. E, à medida que formos estudando, vamos localizá-los dentro dessa classificação taxonômica e, dentro do possível, explicitaremos a origem de sua nomenclatura. Para dar início, e sermos menos complexos, vocês seriam capazes de nos dizer a qual REINO eles pertencem? Parabéns, para quem logo se lembrou do Reino Animalia! Mas, daí, essa será a única classificação comum aos nossos macroinvertebrados porque a partir daqui as características se diferenciam. Enfim, vamos ao que mais interessa nesse momento. Que sejam bem vindos os macroinvertebrados!

Iniciaremos o nosso conhecimento sobre diversidade de macroinvertebrados bentônicos através de algumas curiosidades sobre o modo de vida e características corporais desses importantes bioindicadores de qualidade de água. Iniciaremos com o FILO ARTHROPODA e, mais especificamente, os organismos da CLASSE INSECTA. O que isso significa? Que os próximos **8 táxons** (tipos de organismos) a serem apresentados a vocês serão insetos, organismos compostos por 6 patas articuladas (3 lateralmente em ambos os lados). E, é só falar em inseto, que as pessoas logo remetem àqueles organismos voadores passando por aí... Pois bem, na fase jovem (larva, ninfa ou pupa) muitos são aquáticos e indicadores de qualidade de água.

O nosso 1º grupo é EPHEMEROPTERA (Box 6.2).

Box 6.2 – Exemplos e características principais da ordem EPHEMEROPTERA (Insecta).

Ordem Ephemeroptera	Características Principais
 Família: Polymitarcyidae	Etimologia do nome: <i>Ephemero</i> (<i>ephêmero</i>): que dura pouco <i>Ptera</i> (<i>ptéron</i>): asa Portanto, os EPHEMEROPTERAS são insetos que duram pouco na fase alada (com asas), em torno de 1 a 2 dias
 Família: Ephemeridae	Ciclo de vida: <ul style="list-style-type: none">• Hemimetábolo: metamorfose incompleta (ovo, ninfa, adulto)
 Família: Caenidae	Tipos de ecossistemas aquáticos: <ul style="list-style-type: none">• Lóticos (riachos e rios)• Lênticos (lagos)
 Família: Leptophlebiidae	Estratégias para alimentação: <ul style="list-style-type: none">• Filtradores• Raspadores• Fragmentadores• Coletores• Predadores (raro)
 Família: Baetidae	Principais características: <ul style="list-style-type: none">• Cabeça triangular ou retangular• Olhos compostos bem desenvolvidos (posição dorsal ou lateral)• 3 ocelos presentes• Antenas bem desenvolvidas• Abdômen composto por 10 segmentos desenvolvidos e 1 rudimentar• Até 7 pares de brânquias laterais, dorsais, ou ventrais• 2 ou 3 filamentos caudais

Ilustrações: Pau Fortuño

2º grupo: PLECOPTERA (Box 6.3)

Box 6.3 – Exemplos e características principais da ordem PLECOPTERA (Insecta).

Ordem Plecoptera	Características Principais
Etimologia do nome: <i>Pleco</i> (<i>plékos</i>): dobrado/entrelaçado <i>Ptera</i> (<i>ptéron</i>): asa Portanto, os <i>PLECOPTERA</i> são insetos que terão asas dobradas quando adultos
Ecosistemas aquáticos: <ul style="list-style-type: none">• Lóticos (águas correntes) Estratégias para alimentação: <ul style="list-style-type: none">• Detritívoros• Fragmentadores Principais características: <ul style="list-style-type: none">• Cabeça horizontal com peças bucais dirigidas para frente (atrofiadas ou mastigadoras)• 2, 3 ou nenhum ocelo presente• Antenas longas e finas• Tórax composto por 3 segmentos bem desenvolvidos (1 par de pernas em cada)• Abdômen composto por 10 segmentos (podem possuir espinhos)• Apresentam brotos alares (asas não desenvolvidas)• Possuem brânquias na parte de trás da cabeça, na base das pernas ou ao redor do ânus• filamentos caudais
Família: Perlidae	
Família: Gripopterygidae	

Ilustrações: Pau Fortuño; Foto: Laboratório de Ecologia de Bentos/UFMG.

3º grupo: TRICHOPTERA (Box 6.4)

Box 6.4 – Exemplos e características principais da ordem TRICHOPTERA (Insecta).

Ordem Ephemeroptera	Características Principais
Etimologia do nome: <i>Tricho</i> : cerdas <i>Ptera</i> (<i>ptéron</i>): asa Portanto, os <i>TRICHOPTERA</i> são insetos que terão cerdas nas asas quando adultos
Ciclo de vida: <ul style="list-style-type: none">• Holometábolo: metamorfose completa (ovo, larva, pupa, adulto) Ecosistemas aquáticos: <ul style="list-style-type: none">• Lóticos (águas correntes)• Lênticos (raro) Estratégias para alimentação: <ul style="list-style-type: none">• Fitófagos• Onívoros• Detritívoros• Predadores Principais características: <ul style="list-style-type: none">• Peças bucais mastigadoras bem desenvolvidas• 5 olhos laterais (estemas) na porção anterior da cabeça ou mais atrás• Antenas muito curtas• Tórax composto por segmentos bem destacados• Abdômen composto por 10 segmentos (9º e 10º podem estar fundidos)• Falsas pernas anais (garra)• Alguns grupos constroem casulos
Família: Odontoceridae	
Família: Calamoceratidae

Família: Leptoceridae

Família: Polycentropodidae

Família: Hydroptilidae	

Ilustrações: Pau Fortuño; Foto: Laboratório de Ecologia de Bentos/UFMG.

4º grupo: MEGALOPTERA (Box 6.5)

Box 6.5 – Exemplos e características principais da ordem MEGALOPTERA (Insecta).

Ordem Megaloptera	Características Principais
<div>Família: Corydalidae</div>	<p>Etimologia do nome:</p> <p><i>Megálos</i>: grande</p> <p><i>Ptera</i> (<i>ptéron</i>): asa</p> <p>Portanto, os <i>MEGALOPTERA</i> são insetos que têm grandes asas quando adultos</p> <p>Ciclo de vida:</p> <ul style="list-style-type: none">• Holometábolo: metamorfose completa (ovo, larva, pupa, adulto) <p>Ecossistemas aquáticos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Lóticos (águas correntes) <p>Alimentação:</p> <ul style="list-style-type: none">• Predador generalista <p>Principais características:</p> <ul style="list-style-type: none">• Peças bucais mastigadoras bem desenvolvidas, em forma de foice• Abdômen composto por tufo de brânquias bem desenvolvidas• Falsas pernas anais (filamento caudal)• Tamanho varia entre 1 e 12 cm

Ilustrações: Pau Fortuño; Foto: Laboratório de Ecologia de Bentos/UFMG.

5º grupo: COLEOPTERA (Box 6.6)

Box 6.6 – Exemplos e características principais da ordem COLEOPTERA (Insecta).

Ordem Coleoptera	Características Principais
<div>Família: Dytiscidae (larva)</div> <div>Família: Dytiscidae (adulto)</div> <div>Família: Elmidae (larva)</div> <div>Família: Elmidae (adulto)</div> <div>Família: Psephenidae</div>	<p>Etimologia do nome:</p> <p><i>Coleo</i> (<i>kóleos</i>): bainha/estojo</p> <p><i>Ptera</i> (<i>ptéron</i>): asa</p> <p>Portanto, os <i>COLEOPTERA</i> são insetos que terão um par de asas como estojo</p> <p>Ciclo de vida:</p> <ul style="list-style-type: none">• Holometábolo: metamorfose completa (ovo, larva, pupa, adulto) <p>Ecossistemas aquáticos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Lóticos• Lênticos <p>Estratégias de alimentação:</p> <ul style="list-style-type: none">• Fitófagos• Predadores• Detritívoros <p>Principais características (variável):</p> <ul style="list-style-type: none">• Cabeça bem desenvolvida• Aparelho bucal mastigador• Sistema respiratório traqueal (armazenam bolha de ar sob os élitros ou antenas)• A maioria busca ar na superfície• Podem ser “aquáticos verdadeiros” – submersos a maior parte da fase adulta; ou “aquáticos falsos” – adultos terrestres

Ilustrações: Pau Fortuño; Foto: Laboratório de Ecologia de Bentos/UFMG.

6º grupo: ODONATA (Box 6.7)

Box 6.7 – Exemplos e características principais da ordem ODONATA (Insecta).

Ordem Odonata	Características Principais
Etimologia do nome: <i>Odous</i> (odón): dente <i>Gnatha</i> : mandíbula Portanto, os ODONATA são insetos que têm uma mandíbula denteada
Subordem: Anisoptera	Ciclo de vida: <ul style="list-style-type: none">• Hemimetábolos: metamorfose incompleta (ovo, ninfa, adulto)
Ecossistemas aquáticos: <ul style="list-style-type: none">• Lóticos (riachos lentos e rasos)• Lênticos (poços, pântanos, margens de lagos)• Associados à vegetação aquática submersa e emersa
Subordem: Zygoptera	Alimentação: <ul style="list-style-type: none">• Predadores
Principais características (variável): <ul style="list-style-type: none">• Cabeça, tórax e abdômen bem definidos• Grandes olhos compostos laterais• 3 ocelos dorsais• Aparelho bucal mastigador, com fortes mandíbulas armadas com dentes incisivos e molares; lábio extensível e preênsil• Abdômen com dez segmentos distintos• Duas subordens principais: Anisoptera - corpo robusto e Zygoptera - corpo mais delicado e alongado• Lamelas caudais: Anisoptera - retais em forma de cesto e Zygoptera - externas desenvolvidas através de uma modificação dos apêndices
Família: Libellulidae Subordem: Anisoptera	

Ilustrações: Pau Fortuño; Foto: Laboratório de Ecologia de Bentos/UFMG.

7º grupo: HEMIPTERA (Subordem HETEROPTERA) (Box 6.8)

Box 6.8 – Exemplos e características principais da subordem HETEROPTERA (Hemiptera, Insecta).

Subordem Heteroptera	Características Principais
Etimologia do nome: <i>Héteros</i> : heterogêneo <i>Ptera</i> (ptéron): asa Portanto, os HETEROPTERA são insetos que têm uma grande variedade de formas
Subordem: Heteroptera	Ciclo de vida: <ul style="list-style-type: none">• Hemimetábolo: metamorfose incompleta (ovo, ninfa, adulto)
Ecossistemas aquáticos: <ul style="list-style-type: none">• Lóticos (remansos)• Lênticos (lagos, pântanos)
Família: Naucoridae	Alimentação: <ul style="list-style-type: none">• Zoófagos (principalmente)
Principais características (variável): <ul style="list-style-type: none">• Dois grupos principais: Gerromorpha – insetos aveludados, cabeça geralmente alongada e cilíndrica; Nepomorpha - não aveludados, olhos compostos grandes, ocupando as laterais da cabeça• Lábio: Gerromorpha, alongado Nepomorpha, curto• Antenas: Gerromorpha: longas, em frente aos olhos; Nepomorpha: curtas, abaixo dos olhos• Olhos compostos presentes• Aparelho bucal do tipo picador-sugador• Cerdas curtas que não absorvem nem adsorvem água nos tarsos (facilidade para boiar)
Família: Belostomatidae	

Ilustrações: Pau Fortuño; Foto: Laboratório de Ecologia de Bentos/UFMG.

8º grupo: DIPTERA (Box 6.9)

Box 6.9 – Exemplos e características principais da ordem DIPTERA (Insecta).

Ordem Diptera	Características Principais
Etimologia do nome: <i>Di</i> : duas <i>Ptera</i> (<i>ptéron</i>): asa Portanto, os <i>DIPTERA</i> são insetos que têm duas asas quando adultos
Ciclo de vida: <ul style="list-style-type: none">Holometábolo: metamorfose completa (ovo, larva, pupa, adulto)
Ecosistemas aquáticos (muito variado): <ul style="list-style-type: none">Lóticos (rios, diferentes tamanhos e profundidades)Lênticos (desde poças até lagos rasos a profundos)Depósitos de água em plantas (bromélias) e em orifícios de troncos (bambus)
Estratégias de alimentação: <ul style="list-style-type: none">HerbívorosCarnívoros
Principais características (variável): <ul style="list-style-type: none">Formato vermiforme – ausência de pernas articuladas12 segmentos (3 torácicos e 9 abdominais)Aparelho bucal mastigador, lambedor, sugador ou picadorTrês tipos principais de estrutura cabeça: eucefálica – cabeça desenvolvida, exposta, peças bucais para morder ou mastigar; hemicefálica - cabeça moderadamente reduzida, incompleta, mandíbulas em forma de foice; acefálica – cabeça reduzida e retração do tórax

Ilustrações: Pau Fortuño.

Agora que conhecemos a Classe Insecta, especificamente os insetos em sua fase jovem que são utilizados como bioindicadores de qualidade de água, que tal passarmos para um novo táxon? Vamos conhecer um 2º FILO. Dessa vez, representados por um único grupo, os MOLLUSCA! E esses, com certeza, são velhos conhecidos, nem que seja dos representantes que não necessariamente vivem nas águas doces, uma vez que são facilmente encontrados em ecossistemas marinhos e nos terrestres também. Mas, enfim, vamos conhecer as características ecológicas desses organismos aquáticos.

9º grupo: MOLLUSCA (Box 6.10)

Box 6.10 – Exemplos e características principais do filo MOLLUSCA.

Filo Mollusca	Características Principais
Etimologia do nome: <i>Mollis</i> : mole, macio Portanto, os <i>MOLLUSCA</i> são organismos de corpo mole ou macio, sem segmentos, por vezes protegidos por conchas
Estrutura do corpo: Porção visceral – órgãos digestivos Pé muscular e cabeça
Águas continentais (apenas 2 classes): <ul style="list-style-type: none">Gastropoda – concha de uma única peçaBivalvia – concha com 2 valvas articuladas
Ecosistemas aquáticos (muito variado): <ul style="list-style-type: none">Condicional a fatores como cálcio (formação das conchas), nitritos, nitratos, temperatura e oxigênioPreferencialmente encontrados no sedimento e junto à vegetação marginal, em águas rasas (até 2 metros)
	Alimentação: <ul style="list-style-type: none">Gastropoda - raspadoresBivalvia – filtradores
	Principais características: <ul style="list-style-type: none">Apresentam aparelho digestivo completoGastropoda – concha de uma só valva, espiralada;

Filo Mollusca

Classe: Bivalvia
Família: Corbiculidae

Características Principais

Bivalvia – simetria bilateral, comprimidos lateralmente; concha formada por 2 valvas

- Possuem manto (camada) abaixo da pele
- Manto secreta concha e protege os órgãos
- 3 camadas de concha: parte orgânica externa, camada formada por cristais de carbonato de cálcio e camada interna, constantemente produzida pelo manto

Ilustrações: Pau Fortuño; Foto: Laboratório de Ecologia de Bentos/UFMG.

E, por fim, o nosso 3º FILO de interesse para as atividades deste livro. Dessa vez, representado por outro único grupo normalmente bastante conhecido, os ANNELIDA! Afinal, pelo menos das minhocas terrestres vocês já ouviram falar, não é mesmo?! Então vamos falar um pouco sobre as características dos representantes aquáticos.

10º grupo: ANNELIDA (Box 6.11)

Box 6.11 – Exemplos e características principais do filo ANNELIDA.

Filo Annelida

Classe: Oligochaeta

Características Principais

Etimologia do nome:

Annelus: anel

Portanto, os ANNELIDA são organismos de corpo formados por anéis, ou segmentados

Águas continentais (apenas 2 classes):

- Oligochaeta – corpo cilíndrico e bilateral
- Hirudinea – presença de 2 ventosas e estrutura cefálica reduzida

Ecossistemas aquáticos:

- Oligochaeta – abundantes em águas eutrofizadas, fundo lodoso e com acúmulo de matéria orgânica
- Hirudinea – águas sem correnteza, sob troncos, plantas, rochas e resíduos vegetais

Filo Annelida

Classe: Hirudinea

Características Principais

Alimentação (estratégias variadas):

- Annelida – herbívoros
- Hirudinea – herbívoros, carnívoros, hematófagos

Principais características:

- Divisão do corpo em segmentos similares, dispostos ao longo de um eixo. O 1º segmento denomina-se prostômio e o último pigídio
- Oligochaeta - apresentam cerdas curtas e em pouca quantidade; Hirudinea – não apresentam cerdas

Ilustrações: Pau Fortuño.

Agora que vocês conhecem os dez grupos de macroinvertebrados bentônicos que utilizaremos nos estudos biológicos nesse Capítulo 6, é hora de voltar às suas características de bioindicadores de qualidade de água. Como iniciamos nossa explicação nesse capítulo, os macroinvertebrados bentônicos possuem características de sensibilidade ambiental bastante distintas e marcantes. Ilustraremos esta bioindicação através dos 10 grupos que descrevemos anteriormente. Quem é quem nas determinações de sensibilidade às alterações ecológicas de qualidade de água? Nesses 10 grupos, teremos os representantes sensíveis a alterações ambientais causadas por atividades humanas, os grupos tolerantes a moderadas alterações e os grupos resistentes à severa perturbação (degradação ou impacto). Vocês estão curiosos para saber? Que tal falarmos de cada grupo, trazendo um pouco de simplicidade, ou seja, utilizando ilustrações lúdicas e apelidos carinhosos? Parece um pouco mais divertido, concordam? Pois bem, além de conhecer um pouco sobre as principais características dos grupos de bioindicadores bentônicos, o que facilitará o reconhecimento de sua presença em ecossistemas aquáticos, vamos agora conhecer os personagens que os representam e uma forma carinhosa de tratá-los. Vamos, também, salientar as principais curiosidades sobre cada grupo e, principalmente, quem são eles na caracterização de bioindicação e em sua sensibilidade ambiental. E, agora, nossos personagens principais!

SENSÍVEIS OU INTOLERANTES: aqueles que, preferencialmente, vivem em ecossistemas aquáticos com águas límpidas e bem oxigenadas, nos quais há disponibilidade de locais para proteção, diferentes alimentos, e habitats disponíveis para seu uso, como pedras, cascalhos, troncos, banco de folhas, plantas aquáticas. Nessa classificação encontraremos o grupo dos Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (chamados EPT), que vocês poderão lembrar algumas características principais retomando as informações dos Boxes 6.2, 6.3 e 6.4 (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Bioindicadores bentônicos de qualidade de águas, sensíveis ou intolerantes a alterações ambientais.

BIOINDICADORES BENTÔNICOS – SENSÍVEIS		
EPHEMEROPTERA	PLECOPTERA	TRICHOPTERA

Apelido: Escorpião da água	Apelido: Cachorrinho da água	Apelido: Arquiteto dos rios
Curiosidade: A fase jovem aquática dura meses, mas quando adultos vivem apenas dois dias para acasalar.	Curiosidade: Vivem em águas correntes (portanto, em riachos, córregos e rios).	Curiosidade: Projetam e constroem sua própria casa utilizando como adesivo uma seda (saliva).

Ilustrações: Filipe Leão Morgan da Costa

TOLERANTES: aqueles que poderão suportar alterações moderadas dos ecossistemas aquáticos. Esses ecossistemas, geralmente, sofrem distúrbios de atividades humanas devido à remoção de matas ciliares, ao assoreamento e à homogeneização do leito de rio, havendo perda de diversidade de habitats para proteção e alimento (aumento de bancos de areia e lama, especialmente). Esse grupo será representado pelos principais macroinvertebrados bentônicos predadores e é um grupo muito importante na manutenção da estrutura das cadeias alimentares aquáticas. Nessa classificação encontraremos o grupo dos Megaloptera, Coleoptera, Odonata e Heteroptera que vocês poderão relembrar algumas características principais retomando as informações de nossos Boxes 6.5, 6.6 e 6.7 e 6.8 (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 – Bioindicadores bentônicos de qualidade de águas, tolerantes a alterações ambientais.

BIOINDICADORES BENTÔNICOS – TOLERANTES	
MEGALOPTERA	COLEOPTERA

Apelido: Fortão	Apelido: Besouro da água
Curiosidade: O maior e mais forte dos bioindicadores bentônicos, o que facilita ser um importante predador. São insetos (têm 6 patas articuladas) e suas brânquias, que utilizam para respirar, assemelham-se a muitas patas articuladas.	Curiosidade: É a ordem de insetos que possui o maior número de espécies na natureza (> 300 mil espécies).
ODONATA	HETEROPTERA

Apelido: Libélula	Apelido: Barata d'água
Curiosidade: Enxergam muito bem e têm aparelho bucal expansível, o que as torna predadores vorazes.	Curiosidade: Apesar do apelido impopular, não têm relação com as baratas terrestres e são sugadores de suas presas.

Ilustrações: Filipe Leão Morgan da Costa

RESISTENTES: aqueles que resistem à degradação ambiental nos ecossistemas aquáticos. Esses ecossistemas, geralmente, além dos distúrbios devido à remoção de matas ciliares, assoreamento e homogeneização de habitats físicos no fundo, muitas vezes recebem despejos de origem humana (p. ex. esgoto doméstico sem tratamento, lixo, agrotóxicos, pesticidas, rejeitos industriais). As alterações sofridas por esses ecossistemas aquáticos, além da perda de diversidade de habitats para proteção e alimento, geram a desestruturação das cadeias alimentares pela eliminação dos níveis tróficos superiores (predadores), com proliferação dos poucos grupos resistentes à degradação ambiental intensa. Nessa classificação encontramos o grupo dos Diptera (insetos), além de Mollusca e Annelida, que vocês poderão lembrar algumas características principais retomando as informações dos Boxes 6.9, 6.10 e 6.11 (Tabela 6.4).

Enfim, para certificar que vocês entenderam a utilização desses organismos como bioindicadores de qualidade de água, relembremos alguns aspectos que são importantes para utilizá-los em um programa de biomonitoramento de águas urbanas:

- 1º - é importante verificar o nível de sensibilidade dos organismos encontrados.
- 2º - além da sensibilidade, é importante observar, nas comunidades de organismos aquáticos, a diversidade, a riqueza e a abundância de cada grupo de bioindicadores.

Portanto, o que se espera encontrar de respostas de bioindicadores bentônicos em diferentes estados de qualidade ecológica de ecossistemas aquáticos?

a) ecossistema aquático minimamente perturbado – mata ciliar bem preservada, ausência ou mínimas áreas de erosão nas margens; assoreamento ausente e, portanto, disponibilidade suficiente de habitats para as comunidades de organismos aquáticos: diversidade e riqueza altas, presença de organismos sensíveis a alterações ambientais e abundância equilibrada dos diferentes grupos de bioindicadores (Figura 6.4).

>> Presença comum de organismos **SENSÍVEIS**, **TOLERANTES** E **RESISTENTES**!

BIOINDICADORES BENTÔNICOS - RESISTENTES

DIPTERA

Apelido: larva vermelha

Curiosidade: A família Chironomidae possui larvas vermelhas por apresentarem uma substância semelhante à hemoglobina humana. Isso as torna resistentes à baixa disponibilidade de oxigênio em ecossistemas degradados por atividades humanas.

MOLLUSCA

Apelido: caramujo

Curiosidade: Vive dentro de uma concha que o protege de predadores. Alguns vermes aproveitam a sua concha como “refúgio” e podem causar doenças (p. ex. Schistosoma mansoni, causador da doença xistose humana).

ANNELIDA

Apelido: minhoca da água

Curiosidade: Parecida com a minhoca da terra, mas é menor e vive no fundo de rios e lagos. Pelo formato do corpo tem facilidade em se infiltrar e capturar o oxigênio entre as finas partículas no fundo.

Ilustrações: Filipe Leão Morgan da Costa

Figura 6.4 – Esquema da comunidade de bioindicadores bentônicos em ecossistemas aquáticos em minimamente perturbados.

b) ecossistema aquático moderadamente perturbado – deflorestamento evidente das matas ciliares, áreas de erosão nas margens e intenso assoreamento do leito e, portanto disponibilidade de habitats insuficiente para comunidades aquáticas: perda de diversidade e riqueza, ausência de organismos sensíveis a alterações ambientais e abundância desequilibrada com predomínio numérico de alguns grupos de bioindicadores (Figura 6.5).

>> Presença comum de organismos **TOLERANTES E RESISTENTES!**

Figura 6.5 – Esquema da comunidade de bioindicadores bentônicos em ecossistemas aquáticos alterados por atividades humanas.

c) ecossistema aquático severamente perturbado – remoção de matas ciliares e erosão intensa nas margens, leito assoreado e possíveis despejos de poluentes (p. ex. lixo e esgotos não tratados), com alteração drástica das comunidades aquáticas: diversidade e riqueza baixas, presença apenas de organismos resistentes às alterações ambientais e desequilíbrio de cadeias alimentares (desaparecimento dos níveis tróficos superiores, ausência de peixes de médio e grande portes) (Figura 6.6).

>> Presença comum de organismos **RESISTENTES!** (em grandes quantidades)

Figura 6.6 – Esquema da comunidade de bioindicadores bentônicos em ecossistemas aquáticos impactados por atividades humanas.

E não é que temos boas informações sobre o funcionamento ecológico dos ecossistemas aquáticos? Então, concordam que, finalmente, é possível vocês avaliarem como serão as respostas dos organismos às alterações que vimos trabalhando nos Capítulos 4 e 5? Portanto, a partir de agora, vocês estão convidados a dar continuidade à nossa experiência investigativa! É hora de completarmos nossa abordagem ecológica!

E para dar continuidade à utilização do método científico, nada melhor que lembrarmos do nosso companheiro Mapa Mental. Faça um esquema com base na Tabela 6.5:

Tabela 6.5 - Principais etapas do Método Científico (ver Capítulo 3), para definição do Projeto 3 “Bioindicadores bentônicos de qualidade de águas urbanas”.

Etapas do Método Científico		
Evidência		O que vocês observam no ecossistema aquático escolhido para pesquisa?
Pergunta		O que vocês gostariam de saber em relação aos organismos aquáticos (macroinvertebrados bentônicos) bioindicadores de qualidade de água?
Hipótese		Que respostas vocês esperam para essa pergunta?
Previsões		O que vocês esperam que suas avaliações evidenciem através da presença, diversidade, riqueza e abundância de macroinvertebrados bentônicos, caso as previsões sejam confirmadas?

Pronto, vocês têm em mãos a etapa de avaliação biológica para apoiar sua pesquisa. Que tal apresentarmos uma metodologia de estudos ecológicos de bioindicadores também utilizada por pesquisadores de universidades e centros de pesquisa? Afinal, como jovens pesquisadores, essa parceria deverá se manter até o final do processo!

E, mesmo depois de adquirir tanta experiência com base no método científico, é importante não esquecer: NUNCA ABANDONE SEU ARCABOUÇO TEÓRICO!

Nessa terceira proposta de utilização do método científico, nosso foco de estudos será a comunidade de bioindicadores bentônicos, mais especificamente a dos macroinvertebrados que vocês podem encontrar no ecossistema aquático de interesse de sua turma, com base nas informações que discutimos ao longo desse Capítulo 6. É hora de organizar nosso novo trabalho de campo. E é hora, também, de reforçar a importância de usar um boné, levar uma garrafa de água, usar filtro solar, calça comprida, blusa de malha de cor clara e sapato fechado. Separe o material listado a seguir e vamos ao riacho juntamente com seu grupo de pesquisas.

Material necessário para essa atividade:

1. Rede de coleta (que poderá ser uma peneira de mão utilizada na cozinha de nossas casas para lavar arroz ou macarrão):

2. Luvas para proteção;
3. Galocha para proteção;
4. Sacos plásticos ou bandejas plásticas para armazenar as amostras;
5. Barbante para amarrar, caso opte por guardar suas amostras individualmente em sacos plásticos;
6. Máquina fotográfica (celular) para registrar todo o trabalho em campo.

A sua avaliação, neste capítulo, será a respeito da comunidade de macroinvertebrados bentônicos associados ao sedimento do ecossistema aquático de sua pesquisa. Se vocês avaliaram os habitats físicos (Capítulo 4) e os parâmetros físicos e químicos de qualidade de água (Capítulo 5), vocês, provavelmente, têm uma hipótese de como está o estado ecológico do ecossistema aquático que sua turma selecionou. E, também, têm uma previsão de como será a composição taxonômica da comunidade de bioindicadores bentônicos. Mas, novamente, como avaliar isso de uma forma sistemática? Através de uma amostragem qualitativa (avaliar a qualidade da comunidade) e relacionar os tipos e quantidades de organismos encontrados, com a saúde do ecossistema. Como podemos fazer essa avaliação de uma forma sistematizada? Nós utilizaremos a proposta de *índices de qualidade biológica*. Mas, antes de passar para essa etapa de utilizar um índice biológico, vocês precisarão amostrar os organismos que estão no fundo do ecossistema aquático e, para isso, teremos nossa 1ª atividade prática: a coleta de campo.

Com o material descrito acima, vocês farão uma amostragem qualitativa da comunidade de macroinvertebrados bentônicos no ecossistema aquático de estudo. A proposta é que vocês passem uma rede de coleta no fundo e nas margens (vegetação aquática) em uma área estimada de 50 metros de comprimento de um trecho de rio. Então vamos aos passos metodológicos e informações importantes sobre essa atividade de campo:

1. Coleta de amostras de macroinvertebrados para análise (Figura 6.7):

- 1.1. deverá ser realizada diretamente no ecossistema aquático;
- 1.2. importante a utilização de luvas e botas ou cabo alongado na rede para que não haja contato com a água;
- 1.3. a coleta deve ser realizada no sedimento (bentos) e nas margens (caso haja vegetação aquática associada) (Figura 6.7A);
- 1.4. a amostra deve ser a mais limpa possível (sem acúmulo de material do sedimento), para isso, lave o fundo da peneira nas águas do rio sem permitir que fique encoberta pela água (prevenindo a perda de parte da amostra e que os organismos fujam da rede);
- 1.5. a amostra coletada deverá ser acondicionada em um saco plástico etiquetado para posterior avaliação ou diretamente em bandejas plásticas (Figura 6.7B).

Imagem: Laboratório de Ecologia de Bentos (ICB/UFMG).

Figura 6.7 – Amostragem qualitativa de macroinvertebrados bentônicos a partir do seu referencial (mesmo local de aplicação do Protocolo de Habitats Físicos – Capítulo 4), onde (A) coleta com rede de mão e (B) acondicionamento das amostras para posterior avaliação.

E agora? Vocês sabem como realizar a análise de amostras coletadas em campo e acondicionadas em sacos plásticos? Calma, esse foi apenas o 1º passo (trabalho de campo). Passemos, agora, para o 2º passo: o processamento em laboratório!

Essa etapa pode ser realizada em um laboratório, na escola (laboratório de ciências, em uma sala de aula, auditório, pátio, sala de atividades práticas, entre outros) ou poderá também ser realizada ainda em campo, na margem do rio, logo após a coleta. O importante é vocês terem um local apropriado para colocar as bandejas e realizar sua observação de forma atenta e confortável. Antes de realizarmos essa etapa metodológica, é importante salientar que a coleta, por ser qualitativa, não necessita ser em uma região rigidamente demarcada (exatamente 50 metros), podendo ser visual, ou seja, a mesma área no leito do rio que vocês utilizaram na aplicação do Protocolo de Hábitats Físicos (ver descrição de como realizar uma avaliação local no Capítulo 4). Vocês devem, também, marcar um tempo de esforço de coleta de 5 a 10 minutos, para que, caso efetuem novas coletas, tenham a amostragem padronizada e possam comparar os dados. E, além de padronizar o tempo de esforço de coleta lembrem-se de padronizar também o número de coletores. Então, se na 1ª coleta vocês utilizaram 2 pessoas com 1 rede cada, é importante que, caso realizem novas coletas, mantenham esse número (mesmo que vocês revezem entre vocês, mas que não haja perda de padronização entre coletas). Pronto! Agora que temos algumas possíveis dúvidas sanadas, passemos para a 2ª atividade: a atividade de laboratório.

Material necessário para essa atividade:

1. Amostras de sedimento coletadas na etapa anterior;
2. Luvas para proteção (preventivas, caso o ecossistema seja contaminado por lixo e esgotos domésticos);
3. Bandejas plásticas (preferencialmente brancas ou de cor leitosa);
4. Pinças (ponta fina) e pipetas plásticas (tipo conta gotas);
5. Placas de Petri para separar os organismos por Filo, Ordem ou Classe (preferencialmente vasilhames rasos e transparentes);
6. Álcool diluído (duas partes de álcool 92,8° para uma parte de água), caso queiram guardar os organismos na escola*. (*vocês podem optar por devolvê-los ao rio caso não usem álcool);
7. Ficha de identificação de organismos (Figura 6.9);
8. Ficha de apoio na separação de organismos (Figura 6.10);
9. Protocolo de Índice Biológico (Tabela 6.6);
10. Prancheta ou estrutura para apoio de escrita;
11. Lápis;
12. Borracha;
13. Máquina fotográfica (celular) para registrar.

Oba! Chegou a hora mais divertida de nosso programa de biomonitoramento! Acreditamos que grande parte da turma irá gostar. É hora de avaliar os macroinvertebrados bentônicos encontrados em nosso ecossistema aquático, separá-los pela classificação que tivemos como a base teórica neste Capítulo, contarmos o quanto deles encontramos, aplicarmos um índice biológico (próximo passo) e, enfim, confirmar, ou não, o estado de qualidade ecológica que tínhamos como hipótese sobre o ecossistema aquático que está sendo pesquisado. Nossa! Muita coisa ainda? Então, mãos à obra, Jovens Pesquisadores!

Peguem suas bandejas e coloquem as amostras que coletaram em campo. Se elas estiverem muito escuras (muito sedimento), vocês poderão lavá-las em uma torneira ou tanque (no caso de não ter sido possível lavar na água do riacho). Apenas é importante lembrar que elas têm que ser SEMPRE passadas por peneiras (malha < 0,5 mm) para reter os organismos. Vocês podem também dividir as amostras em mais bandejas, pois isso facilitará a visualização (amostras mais claras) e proporcionará espaço para mais pessoas da equipe trabalharem. Então, com pinças ou conta gotas, vocês retirarão todos os organismos que encontrarem nas bandejas e deverão transferi-los para placas transparentes (Figura 6.8).

B

Imagem: Laboratório de Ecologia de Bentos.

Figura 6.8 – Triagem e separação de macroinvertebrados bentônicos, onde (A) observação e retirada de organismos em bandejas e (B) separação dos organismos em grupos distintos, por placas de Petri.

Após terem certeza que todos os organismos foram retirados de suas bandejas e que estão separados em suas respectivas placas de Petri, é chegada a hora de utilizarem seus conhecimentos taxonômicos adquiridos nos Boxes 6.2 a 6.11. Então, é hora de separarmos os organismos por Filo, Ordem ou Classe (a melhor identificação que vocês conseguirem alcançar). Para isso, vocês poderão utilizar nosso modelo de Ficha de Identificação da Figura 6.9. Para apoiar as etapas de separação e posterior contagem dos organismos, vocês podem colocá-los nas placas de Petri sinalizando o Filo ou Ordem a que pertencem, utilizando a Ficha de Separação da Figura 6.10 (onde cada placa de Petri deverá ser posicionada sobre o círculo correspondente ao grupo de organismos identificados).

MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS

PLECOPTERA

Apelido: cachorrinho da água

Principais características:

Corpo um pouco achatado na direção das costas para o ventre, duro e de coloração amarronzada.

EPHEMEROPTERA

Apelido: escorpião da água

Principais características:

Corpo mole, dois ou mais filamentos caudais, com brânquias laterais, dorsais, ou mesmo ventrais.

TRICHOPTERA

Apelido: arquiteto dos rios

Principais características:

Corpo pouco duro, produz seda para construção de casulos (grãos, de areia e cascalho, pedaços de folhas, gravetos, etc.).

MEGALOPTERA

Apelido: fortão

Principais características:

Corpo alongado e achatado das costas para o ventre, peças bucais bem desenvolvidas.

COLEOPTERA

Apelido: besouro da água

Principais características:

Corpo compacto e mandíbulas que podem identificar o seu hábito alimentar.

ODONATA

Apelido: libélula

Principais características:

Grandes olhos compostos laterais, aparelho bucal desenvolvido que se estende.

HETEROPTERA

Apelido: barata da água

Principais características:

Corpo de coloração uniforme, peças bucais sugadoras.

DIPTERA

Apelido: larva vermelha

Principais características:

Corpo vermiforme e nunca apresentam pernas. As de coloração vermelha sobrevivem em locais com pouco oxigênio.

ANNELIDA

Apelido: minhoca da água

Principais características:

Corpo vermiforme e formado por segmentos bem distintos.

MOLLUSCA

Apelido: caramujo

Principais características:

Possuem corpo mole protegido por conchas.

Figura 6.9 – Modelo de Ficha de Identificação de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores para apoiar projetos de monitoramento participativo em escolas de ensino básico.

EPHEMEROPTERA

PLECOPTERA

TRICHOPTERA

COLEOPTERA

MEGALOPTERA

ODONATA

HETEROPTERA

DIPTERA

MOLLUSCA

ANNELIDA

Figura 6.10 – Modelo de Ficha de Separação de macroinvertebrados bentônicos bioindicadores para apoiar projetos de monitoramento participativo em escolas de ensino básico.

Imaginamos que, para chegarem até esse ponto, vocês precisarão rever (por várias vezes) as imagens e características de cada grupo de organismos nos Boxes 6.2 a 6.11. Essa etapa é bastante complexa e dependerá de muito treinamento e observação detalhada para que vocês tenham convicção na hora de identificar os organismos coletados. Acreditamos que haverá muitas dúvidas e, talvez, discordância entre os membros da equipe. Portanto, devem reservar um bom tempo para essa atividade, discutir, observar com bastante calma os detalhes e, caso necessário, recorrer a outras bibliografias como apoio (haverá diversas chaves de identificação que listaremos em nossa sugestão bibliográfica ao final desse capítulo). Vocês também poderão encontrar referências em bibliotecas e sites na internet especializados em Biologia. Caso necessário, procurem por chaves taxonômicas de invertebrados bentônicos e enriqueçam o seu arcabouço teórico sobre esses organismos. Afinal, vocês devem imaginar o quanto o trabalho de um taxonomista é minucioso para observar os detalhes que diferenciam os milhares de espécimes que vivem em diferentes partes do mundo. Mas, temos certeza que essa tarefa, apesar de trabalhosa e detalhada, será uma das mais interessantes e empolgantes para vocês, como jovens pesquisadores em ecologia aquática. Portanto, aproveitem o momento para se divertir com essa atividade escolar!

Índice de Qualidade Biológica

Passadas as etapas de separação e identificação dos bioindicadores bentônicos estarão aptos a aplicar o índice de qualidade biológica. Vocês devem, ainda, se lembrar da importância da utilização de índices como ferramentas de avaliação ecológica discutido no Capítulo 4. Caso não, vocês podem retomar a leitura sobre esse assunto, quando o abordamos através do índice local de habitats físicos, logo após a Figura 4.8. De qualquer forma, vamos relembrar alguns pontos que serão importantes. Índices ecológicos são ferramentas que combinam diferentes métricas e incorporam informações distintas sobre a qualidade ambiental de um ecossistema em estudo. Quando utilizamos um índice de qualidade biológica, estamos utilizando esta ferramenta a partir de um parâmetro biológico, ou seja, do estudo de organismos. Portanto, os ÍNDICES DE QUALIDADE BIOLÓGICA são ferramentas que combinam fatores associados aos organismos como nível de sensibilidade, riqueza, diversidade e abundância para avaliar a qualidade biológica de ecossistemas aquáticos. Qual a vantagem da utilização de um índice? Mais uma vez, imaginem uma situação hipotética como exemplo. Imaginem que vocês desenvolvem o seu programa de biomonitoramento, identificam suas amostras e encontram:

Exemplo 1: 1 organismo sensível, 4 organismos tolerantes e 19 organismos resistentes (24 organismos no total).

Se vocês consideraram apenas a sensibilidade, por encontrar tanto organismos sensíveis quanto tolerantes e resistentes, poderiam dizer que o seu ecossistema está em boas condições, concordam? Mas, agora imaginem outra situação:

Exemplo 2: 24 organismos coletados sendo 8 sensíveis, 8 tolerantes e 8 resistentes.

Esse segundo exemplo não sugere tratar-se de um ecossistema aquático em equilíbrio, como discutimos ao longo desse Capítulo 6?! Com certeza, o nosso 2º exemplo nos parece em melhores condições de integridade ecológica. E, como poderíamos diferenciar um exemplo do outro? Utilizando um índice biológico que oferecerá uma melhor avaliação dos fatores relacionados aos nossos bioindicadores bentônicos (ponderando, além da sensibilidade a alterações ambientais, a presença e a quantidade desses organismos). Sigamos em frente para aplicar nosso índice! Então, com os organismos separados por Filos e Ordens de insetos, vamos preencher a Tabela 6.6 referente ao Protocolo de Índice Biológico, que vocês podem encontrar modelos semelhantes

em outras bibliografias como BMWP (do inglês Biological Monitoring Working Party, ou Grupo de Trabalho em Monitoramento Biológico). Índices biológicos como esse que utilizaremos são, portanto, aplicados por pesquisadores em todo o mundo e adaptados, como o nosso, para diferentes regiões e tipos de ecossistemas no planeta. Sem mais demora, é hora de apresentar o nosso índice biológico, e começaremos por aprender a preencher nossa Tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Protocolo de Caracterização Biológica.

MACROINVERTEBRADOS Insecta	Pontuação	Quantidade	Pontuação x Quantidade
Ephemeroptera	10 pontos		
Plecoptera	10 pontos		
Trichoptera	10 pontos		
Megaloptera	7 pontos		
Coleoptera	7 pontos		
Odonata	6 pontos		
Heteroptera	6 pontos		
Diptera	2 pontos		
Mollusca	3 pontos		
Annelida	1 pontos		
Pontuação Final (Soma)			

E como será o preenchimento dessa tabela? Vamos lá... A primeira coluna a ser preenchida será a de Quantidade, onde vocês deverão escrever o número de organismos encontrados de cada Filo ou Ordem (preenchidos em cor azul no exemplo abaixo). Dessa forma, utilizando os números hipotéticos dos exemplos anteriores (Exemplo 1 - Figura 6.11 e Exemplo 2 - Figura 6.12), observando nossa placa, encontraremos:

Figura 6.11 – Identificação dos organismos do Exemplo 1: 1 Plecoptera, 2 Coleoptera, 2 Odonata, 1 Mollusca e 18 Annelida (totalizando 24 organismos, sendo 1 sensível, 4 tolerantes 19 resistentes)

Dessa forma, nossa tabela deste Exemplo 1 ficaria (neste momento sua atenção deve ser para a quantidade registrada nos números em cor azul) assim:

MACROINVERTEBRADOS Insecta	Pontuação	Quantidade	Pontuação x Quantidade
Ephemeroptera	10 pontos	1	10 x 1 = 10
Plecoptera	10 pontos		
Trichoptera	10 pontos		
Megaloptera	7 pontos		
Coleoptera	7 pontos	2	7 x 2 = 14
Odonata	6 pontos	2	6 x 2 = 12
Heteroptera	6 pontos		
Diptera	2 pontos		
Mollusca	3 pontos	1	3 x 1 = 3
Annelida	1 pontos	18	1 x 18 = 18
Pontuação Final (Soma)		24	57

Figura 6.12 – Identificação dos organismos do Exemplo 2: 2 Plecoptera, 3 Ephemeroptera, 3 Trichoptera, 2 Megaloptera, 2 Coleoptera, 2 Odonata, 2 Heteroptera, 3 Diptera, 3 Mollusca, e 2 Annelida (totalizando 24 organismos, sendo 8 sensíveis, 8 tolerantes e 8 resistentes)

Agora, observem que cada grupo de organismos recebe uma pontuação de acordo com sua sensibilidade e, assim, quanto mais sensível um grupo de bioindicadores maior a pontuação e, quanto mais resistente, menor o número de pontos. Essas pontuações serão, portanto, assim determinadas, considerando organismos bentônicos sensíveis (10 pontos para Ephemeroptera, Plecoptera, e Trichoptera), organismos bentônicos tolerantes (7 pontos para Megaloptera e Coleoptera, e 6 pontos para Odonata e Heteroptera), e organismos bentônicos resistentes (3 pontos para Mollusca, 2 para Diptera, e 1 para Annelida). Com base nessa pontuação, vocês preencherão a última coluna da Tabela 6.6, Pontuação X Quantidade, multiplicando a quantidade de indivíduos de cada grupo encontrado pela pontuação recebida (preenchidos com números vermelhos em nossos exemplos acima). Em sequência, vocês calcularão a soma total, tanto da quantidade total de organismos coletados (soma dos valores azuis em nossos exemplos) quanto de pontuação total recebida com base em todos os organismos coletados (soma de todos os valores em vermelho em nossos exemplos). Em nossos exemplos os valores finais (ou somas) estão representados pela cor verde.

Viram que estamos usando matemática?! Olha o nosso perfil de Jovens Ecólogos Aquáticos transdisciplinares atuando aqui novamente! E, por fim, como o índice será calculado?

E, de outra forma, nossa tabela deste Exemplo 2 ficaria (atenção para a quantidade registrada nos números em cor azul) assim:

MACROINVERTEBRADOS Insecta	Pontuação	Quantidade	Pontuação x Quantidade
Ephemeroptera	10 pontos	2	10 x 2 = 20
Plecoptera	10 pontos	3	10 x 3 = 30
Trichoptera	10 pontos	3	10 x 3 = 30
Megaloptera	7 pontos	2	7 x 2 = 14
Coleoptera	7 pontos	2	7 x 2 = 14
Odonata	6 pontos	2	6 x 2 = 12
Heteroptera	6 pontos	2	6 x 2 = 12
Diptera	2 pontos	3	2 x 3 = 6
Mollusca	3 pontos	3	3 x 3 = 9
Annelida	1 pontos	2	1 x 2 = 2
Pontuação Final (Soma)		24	149

O nosso índice biológico será calculado segundo a fórmula (razão):

(Pontuação x Quantidade)

Quantidade Total de Organismos

A interpretação do resultado deverá ser feita com base em nossa Tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Interpretação da pontuação do índice biológico

Maior que 6 pontos:	MÍNIMA PERTURBAÇÃO
Entre 3 e 6 pontos:	PERTURBAÇÃO MODERADA
Menor que 3 pontos:	ALTA PERTURBAÇÃO

Que tal calcularmos o índice biológico para os nossos exemplos 1 e 2?
Então, vamos fazer isso juntos?! Sigamos então, por partes:

Exemplo 1: 1 PLECOPTERA, 2 COLEOPTERA, 2 ODONATA, 1 MOLLUSCA e 18 ANNELIDA (totalizando 24 organismos, sendo 1 sensível, 4 tolerantes e 19 resistentes)

O Índice biológico será:

$$\frac{57 \text{ (pontuação x quantidade)}}{24 \text{ (quantidade total de organismos)}} = 2,375,$$
 portanto, Ecossistema com
ALTA PERTURBAÇÃO (ver Tabela 6.7)

Exemplo 2: 2 PLECOPTERA, 3 EPHEMEROPTERA, 3 TRICHOPTERA, 2 MEGALOPTERA, 2 COLEOPTERA, 2 ODONATA, 2 HETEROPTERA, 3 DIPTERA, 3 MOLLUSCA e 2 ANNELIDA (totalizando 24 organismos, sendo 8 sensíveis, 8 tolerantes e 8 resistentes).

O Índice biológico será:

$$\frac{149 \text{ (pontuação x quantidade)}}{24 \text{ (quantidade total de organismos)}} = 6,208,$$
 portanto, Ecossistema com
MÍNIMA PERTURBAÇÃO (ver Tabela 6.7)

Observando esses resultados atentamente, é possível compreender a importância da utilização de um índice biológico? Dois exemplos com a mesma quantidade total de organismos foram classificados de forma totalmente distinta devido à quantidade de cada grupo de bioindicadores. Em outras palavras, além de avaliar a presença de organismos sensíveis, tolerantes e resistentes, é importante avaliar a composição da comunidade (quais grupos estão presentes e a proporção de cada um deles). E nosso índice biológico foi bastante eficiente em demonstrar isso. Que ótimo! Vocês agora podem realizar essa atividade com os números reais que vocês obtiveram em suas amostragens nesse Capítulo 6.

Enfim, completamos a nossa avaliação ecológica de ecossistemas urbanos! Acreditamos que vocês, ao chegarem a esse ponto do livro, já terão os resultados sobre o ecossistema aquático que estão avaliando, ou seja, a nascente, o riacho ou rio que passa perto da escola (na rua, no quarteirão, no bairro, no parque ecológico próximo, perto da casa de algum dos componentes da equipe), conforme os índices apresentados que indicarão:

ÍNDICE LOCAL: a situação do entorno do ecossistema aquático;

ÍNDICE REGIONAL: a influência de uma região (raio de 1km) no ecossistema aquático;

QUALIDADE QUÍMICA E FÍSICA DE COLUNA D'ÁGUA: como as influências de toda a região de entorno estão afetando a qualidade química e física das águas com base na classificação determinada pela legislação brasileira (Resolução CONAMA 357/2005).

ÍNDICE BIOLÓGICO: o quanto todas essas influências, em conjunto, afetarão a composição e estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores.

Isso significa que vocês têm informações ecológicas sobre o ecossistema aquático de sua região. Dessa forma, como temos discutido ao longo deste livro, vocês podem se tornar cidadãos participativos em busca de melhoria ou manutenção dos ecossistemas e dos bens e serviços que eles oferecem. Como e onde vocês farão isso? Procurando os gestores e tomadores de decisão (p. ex. câmara de vereadores, secretarias municipais de meio ambiente, assembleias legislativas, prefeituras, dentre outros órgãos públicos) solicitando a implementação de ações de manutenção ou revitalização para o ecossistema aquático estudado por vocês. Vocês podem, cientificamente embasados, se tornar cidadãos atuantes na conservação de ecossistemas aquáticos urbanos. Este será, portanto, um exercício de cidadania, através da busca de ações que melhorem sua qualidade de vida e de seus familiares, vizinhos, amigos, colegas de classe, etc., utilizando de forma consciente e sustentável, o recurso água e os bens e serviços ecossistêmicos oferecidos pelo meio ambiente. A essa altura vocês possuem ferramentas suficientes para fazer diferença a partir da observação e análise de qualidade ambiental e... entrar em ação! Que essa experiência contribua para tornar vocês cidadãos ativos! É o que esperamos poder ter oferecido a vocês e às gerações futuras! Obrigado pela parceria! Para nós foi uma experiência bastante gratificante este Módulo II e, esperamos, que para vocês também!

Vamos exercitar nossos conhecimentos?

Vocês podem montar uma brincadeira com macroinvertebrados bentônicos.

Façam 50 papéis com os nomes dos bioindicadores bentônicos que conheceram neste Capítulo 6: Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Megaloptera, Coleoptera, Odonata, Heteroptera, Mollusca e Annelida. Como são 10 grupos, vocês podem fazer 5 de cada um desses nomes. Dobrem para que não se veja o que está escrito e coloquem os 50 papéis em um saco plástico (misturem bem). Agora, façam um sorteio de 10 papéis e calculem o índice biológico com base nos 10 organismos sorteados. A partir de então, que tal sua turma e professor criarem uma situação hipotética para o ecossistema aquático “sorteado”. Como estaria o entorno e a qualidade de águas do ecossistema para que a comunidade bentônica respondesse dessa forma?

Você sabia que...

Desde 2009, um grupo de pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) vem atuando na proposta de utilização de Índices de Integridade Biótica (ver <http://lebufmg.wixsite.com/bentos>). Essa abordagem permite avaliar a capacidade de manutenção e suporte de comunidades biológicas preservando sua composição, diversidade e estrutura funcional de forma comparável às características naturais. As metodologias desse livro didático foram totalmente baseadas nas propostas utilizadas por esses pesquisadores e, adaptadas para que pudessem ser utilizadas por vocês no ensino básico. Além da UFMG, são parceiros nessa abordagem, a Universidade Federal de Lavras, a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e a Universidade Federal de Uberlândia. As metodologias são adaptadas de parcerias internacionais, incluindo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA) e a Universidade Estadual do Oregon (Oregon University State - EUA). Toda essa abordagem de pesquisas conta também com outras quatro universidades internacionais, cinco universidades brasileiras e é financiada pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) através da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (GT-487 e GT-599). A avaliação de integridade biótica de aproximadamente 260 ecossistemas aquáticos foi desenvolvida por dezenas de pesquisadores, desde professores universitários, pós-graduandos e graduandos de diferentes cursos de graduação e pós-graduação. A produção científica está sendo

amplamente divulgada através de periódicos científicos e dos livros “Condições Ecológicas em Bacias Hidrográficas de Empreendimentos Hidrelétricos”, publicado em 2014, e “Bases conceituais para conservação e manejo de bacias hidrográficas”, a ser publicado em 2019, ambos pela CEMIG, Programa Peixe Vivo.

Esse exemplo nos chama a atenção para a importância dos conhecimentos adquiridos neste Capítulo 6. Vocês estão se apoiando em bases metodológicas amplamente utilizadas e testadas por pesquisadores de universidades e centros de pesquisa. A partir de agora, vocês têm conhecimento da importância do embasamento científico em Ecologia Aquática para entender, discutir e propor ações que apoiem a manutenção dos ecossistemas aquáticos e dos serviços ecossistêmicos oferecidos por eles. Dessa forma, em um futuro próximo, vocês poderão ser atores principais na discussão e proposição de ações conjuntas em prol da manutenção de nossos ecossistemas aquáticos e sua biodiversidade.

Conceitos Importantes em Qualidade de Águas - Capítulo 5

Apêndices (insetos): estruturas anatômicas, de formação e função distintas (p. ex. patas articuladas, antenas, terminações caudais, entre outros).

Autodepuração: capacidade de um ecossistema aquático restaurar suas características naturais, devido à decomposição de material externo.

Bioturbação: liberação de nutrientes estocados na lama (sedimento) para a coluna d'água devido à movimentação física de macroinvertebrados bentônicos.

Coletores: modo de alimentação de alguns invertebrados que consomem partículas finas depositadas no fundo ou transportadas pela água.

Detritívoros: modo de alimentação de organismos que utilizam matéria orgânica morta.

Encefálica: (cabeça) de insetos.

Etimologia: estudo da origem e evolução das palavras.

Filtradores: modo de alimentação de organismos que filtram partículas orgânicas em suspensão na água.

Fitófago: herbívoro.

Fragmentador: modo de alimentação de organismos que utilizam matéria orgânica particulada grossa (>1mm) fragmentando em matéria orgânica particulada fina (< 1mm).

Integridade Ecológica: proteger e restaurar a integridade dos sistemas ecológicos do planeta, especialmente pela diversidade biológica e pelos processos naturais que a sustentam.

Lêntico: ecossistema aquático caracterizado pela limitada movimentação de águas (sem correnteza, p. ex. lagos e lagoas).

Lótico: ecossistema aquático caracterizado por águas correntes (p. ex. rios ou riachos).

Lúdico: material que tem formato divertido acima de qualquer outro propósito.

Mutualismo: associação ecológica entre dois seres vivos com benefício mútuo.

Onívoro: modo de alimentação de organismos que utilizam tanto matéria vegetal quanto animal.

Perifíton: fina camada de seres vivos que colonizam superfícies em habitats aquáticos.

Predador: alimentam-se de outros organismos, matando e destruindo.

Raspador: modo de alimentação de organismos que raspam superfícies para obter seu alimento.

Refúgio: local adequado à proteção contra predadores.

Relações filogenéticas: relações evolutivas entre grupos de organismos definidos a partir de sua morfologia.

Remansos: trecho de ecossistema lótico (rio, riacho) em que a correnteza é menor e predomina a deposição de partículas finas.

Simetria bilateral: tamanhos semelhantes das duas metades do corpo de um organismo (p.ex. esquerda-direita).

Tarso (insetos): porção articulada das pernas dos insetos, constituída por partes que variam de 1 a 5 segmentos.

Táxon: unidade taxonômica nomeada (p. ex. Insecta, Mollusca) pela qual indivíduos ou grupos de espécies são distinguidos.

Valva (moluscos): cada uma das peças da concha dos bivalves.

Zoófagos: o mesmo que predadores.

Para acrescentar seus conhecimentos em Bioindicadores bentônicos de qualidade de água...

Referências Bibliográficas - Sugestões de leitura:

- Callisto, M.; Moretti, M.; Goulart, M. 2001. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 6 (1): 71-82.
- Callisto, M.; Gonçalves-Jr., J. 2005. Bioindicadores bentônicos. In: Roland, F.; Marinho, M.; Cesar, D. Lições de Limnologia. 1ª edição. São Carlos: Editora Rima.
- Callisto, M.; França, J. 2006. Está limpo? Ou poluído? Quem vive no rio responde! Ciência Hoje das Crianças. 170: 11-13.
- Callisto, M.; Alves, C.B.M.; Magalhães, J.; Castro, M. 2014. Condições Ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos. 1ª edição. Belo Horizonte: Editora Série Peixe Vivo/CEMIG.
- Esteves, F. 2011. Fundamentos de Limnologia. 3ª edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência.
- Goulart, M.; Callisto, M. 2003. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. Revista FAPAM. 2 (2): 153-164.
- Hamada, N.; Nessimian, J.; Querino, R. 2014. Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. 1ª edição. Manaus: Editora INPA.
- Henry, R. 2012. O diagnóstico da qualidade das águas do rio Guareí (Angatuba, SP): uma cooperação ensino superior – educação básica. 1ª edição. Botucatu: Editora Fundibio.
- Moreno, P.; Callisto, M. 2010. Insetos Aquáticos indicam saúde de cursos d'água. Scientific American Brasil. 99: 72-75.
- Mugnai, R.; Nessimian, J.; Baptista, D. 2010. Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro. 1ª edição. Rio de Janeiro: Editora Technical Books.
- Roldán-Pérez, G., 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. 1ª edição. Bogotá: Editora Universidad de Antioquia.
- Zakrzewski, S. 2007. Conservação e uso sustentável da água: múltiplos olhares. 1ª edição. Erechim: Editora EdiFapes.