



CAPÍTULO 1

*Da janela lateral
vislumbro um horizonte
de possibilidades...*

CAPÍTULO

1

Vagão 1:

*Da janela lateral
vislumbro um horizonte
de possibilidades...*

Juliana Silva França & Marcos Callisto

CONCEITOS-CHAVE

- 1.1 **Ecologia:** ciência que estuda as interações dos organismos com seu ambiente.
- 1.2 **Sistemas Ecológicos:** níveis de organização ecológica que vão do indivíduo (unidade fundamental) à biosfera.
- 1.3 **Ecossistemas:** conjunto de organismos em uma área fisicamente estabelecida, organizados em populações e comunidades, que troquem energia e nutrientes entre si e com seu meio, interagindo com seus ambientes físicos e químicos.
- 1.4 **Serviços Ecossistêmicos:** benefícios naturalmente disponíveis por meio dos quais o homem utiliza recursos oferecidos por animais, plantas, microrganismos e substâncias físicas e químicas que beneficiam a humanidade, direta ou indiretamente.

O progresso da humanidade preocupa

Atualmente, uma das principais preocupações da humanidade tem sido o quanto o planeta Terra será capaz de enfrentar os problemas gerados em consequência da utilização de recursos naturais por meio de atividades humanas. Mas esta não é uma preocupação apenas da atualidade e nem tão somente de uma única linha de pensamento. Há alguns séculos, mais especificamente no ano de 1798, o demógrafo e economista britânico Thomas Robert Malthus previu, matematicamente, uma catástrofe. Segundo sua “Teoria Populacional Malthusiana”, o crescimento da população mundial seria geométrico (2, 4, 8, 16, 32...), enquanto a produção de alimentos seria aritmética (1, 2, 3, 4, 5...). Esta teoria indicava que a humanidade seria confrontada com a escassez de alimentos, caso não houvesse o controle urgente da natalidade. Considerada preconceituosa e ultrapassada, esta teoria foi contestada por vários estudiosos e amplamente criticada por não considerar, principalmente, o aumento da produção de alimentos decorrente da evolução de tecnologias, o que contribuiu para o aumento nos recursos disponíveis para manter a população em crescimento. Ao longo dos últimos 220 anos, esta teoria foi contestada e reformulada. Mas, de qualquer forma, quando pensamos em avanço da humanidade, não conseguimos nos sentir confortáveis com o futuro do nosso planeta. Ou conseguimos?

O problema real tem relação com o crescimento das populações humanas que ocupam desordenadamente o espaço territorial. Essa ocupação humana desordenada não é acompanhada por um bom gerenciamento dos recursos naturais, o que tem tornado a relação de gestão e desenvolvimento urbanos um dos principais problemas contemporâneos à sustentabilidade. Nas grandes cidades, o aumento populacional é exponencial e, associado a isso, as demandas dessa população envolvem um planejamento incapaz de resolver as consequências que este crescimento desordenado acarreta sobre o meio ambiente (Figura 1.1).

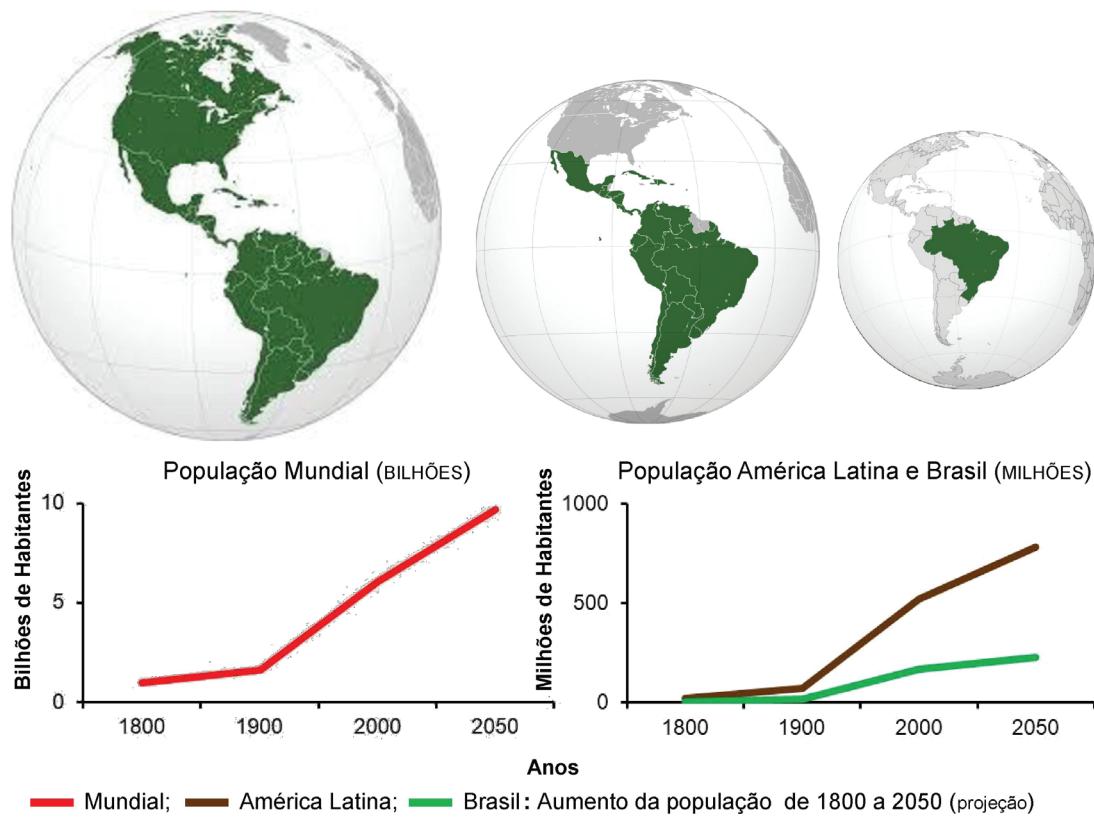


Figura 1.1 – A população aumentou exponencialmente nos últimos 200 anos, com projeções de expansão e de megacidades na América Latina e no Brasil. Fonte: nacoesunidas.org; www.ibge.gov.br.

Hoje são 21 megacidades no mundo, ou seja, regiões metropolitanas com mais de 10.000.000 de habitantes, quatro delas na América do Sul e duas no Brasil (São Paulo e Rio de Janeiro). Na América Latina, a urbanização avançou nos últimos 50 anos, com populações maiores que 1.000.000 de habitantes em 68 cidades sendo que, dentre elas, 16 são brasileiras. Com uma estimativa de 80% de urbanização, a América Latina supera regiões como a África e a Ásia, que estão urbanizadas entre 40 e 50% de sua área total. Além das megacidades, as demais cidades latino-americanas abrangem um grande número de pequenas e médias cidades de rápido crescimento (também chamadas de “cidades emergentes”). Nesse contexto, essa região do continente americano tornou-se bastante afetada por impactos causados pela urbanização e, como desafio rumo à sustentabilidade, a maior preocupação é a de encontrar formas de desenvolver e gerir um futuro sustentável e saudável para as populações desse território. A melhor forma de gestão de um futuro sustentável seria a elaboração de políticas públicas que associassem o desenvolvimento urbano à sustentabilidade econômica e ambiental. E, como essas tais “políticas públicas” podem afetar o desenvolvimento urbano e, ainda, como você poderia influenciá-las?

Políticas públicas são, na verdade, um conjunto de projetos, programas e atividades realizadas pelos governos em busca de um melhor funcionamento dos processos que afetam

a vida das pessoas. Nesse conjunto de atividades estão incluídos os conflitos de interesses de diferentes grupos sociais, mas é por meio da participação da sociedade que estes projetos e programas deverão ser efetivamente coerentes com as nossas necessidades atuais e futuras. Se quisermos uma urbanização que envolva o progresso de nossas cidades, estados ou país mas que, da mesma forma, seja coerente com a manutenção de uma boa qualidade de vida, deveremos adquirir conhecimentos e nos tornar mais participativos. É importante que você tenha consciência do poder de suas ações na hora de eleger seus representantes e na hora de cobrar atitudes que fortaleçam o aprimoramento da gestão pública em sua região.

Diante deste cenário preocupante, é fundamental que a sociedade conheça a ciência Ecologia, área da biologia dedicada ao estudo das complexas relações de funcionamento do meio ambiente que vêm sendo estabelecidas ao longo de bilhões de anos de evolução no planeta Terra. E você, quando pensa no planeta Terra e nas questões relacionadas ao meio ambiente, tem certeza que o seu conhecimento, como membro da sociedade, está bem fundamentado? Afinal, conhecer é o primeiro passo para que você possa exercer sua cidadania. Quando as populações humanas estiverem conscientes do universo de relações ecológicas em que estão inseridas daremos um passo para melhor compreender os problemas a serem solucionados e, desse modo, lutar por um futuro melhor.

Para começar a testar nossos conhecimentos com base nas questões da atualidade, seria verdade que estamos vivendo em um planeta ameaçado de colapso? Como se estivéssemos sob a ameaça de uma bomba-relógio?

Alguns dirão que sim. O planeta Terra está se tornando uma bomba-relógio quando o observamos pelos “olhos” da Ecologia (Figura 1.2). Que tal observarmos juntos o planeta Terra sob esta visão, por meio da imagem abaixo?

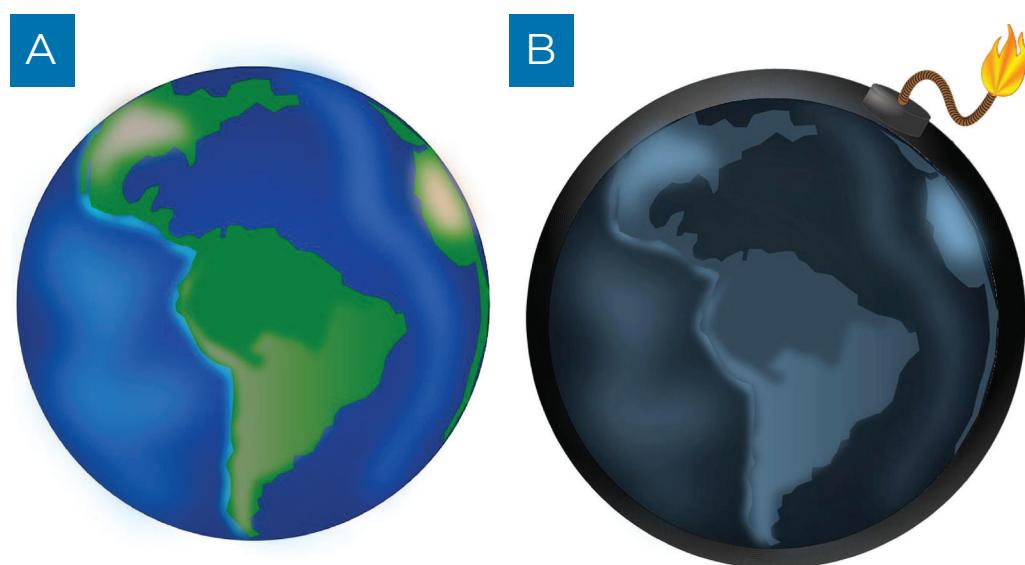


Figura 1.2 – O planeta Terra (A) se torna uma bomba-relógio se a demanda por recursos for maior do que o planeta possa oferecer ou, se a ocupação humana for mais rápida que uma gestão adequada dos recursos naturais seja capaz de acompanhar (B).

Com base nesta perspectiva, você se considera um cidadão que se preocupa com o seu futuro e dos demais seres que habitam nosso planeta? Você tem apenas duas opções de resposta a essa pergunta: sim ou não. Do mesmo modo, você observa na imagem acima apenas duas opções de resposta para a seguinte pergunta: você gostaria de habitar o planeta A ou o planeta B?

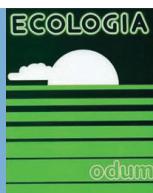
Neste momento, não importa que sua resposta seja sim, não, A ou B. Nossa proposta é a de que, após ler este livro, você possa realizar suas escolhas com propriedade sobre quais deveriam ser nossas principais ações em busca de melhores opções de futuro do planeta e de seus habitantes. Da mesma forma, esperamos que você esteja ciente do quanto estas questões são importantes não só para você, como habitante do planeta, mas para todos os seres que o ocupam e as interações que estes estabelecem entre si e com os recursos naturais. Afinal, a aquisição de conhecimentos ecológicos poderá contribuir para apoiá-lo no exercício da cidadania, visando diminuir a ameaça que essa visão de bomba-relógio representa.

Seja muito bem-vindo e aproveite essa leitura para estimular sua curiosidade e iniciar uma viagem ao Fantástico Mundo dos Ecólogos (os cientistas que estudam a Ecologia)! Mas, antes, vamos começar a construir os nossos conceitos sobre esta ciência tão importante e que, ao mesmo tempo, envolve tanta complexidade. Falemos um pouco sobre ECOLOGIA...

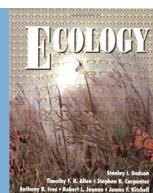
Para você, o que é Ecologia?

Esta pergunta poderia ser reformulada da seguinte forma: Como você define a Ecologia? E, a partir da avaliação crítica de várias definições sobre essa ciência (Box 1.1), você poderá elaborar sua opinião de forma consistente sobre o que ela significa.

Box 1.1 - Exemplos de diferentes definições de Ecologia em livros-texto acadêmicos.

**Odum 1985**

Ecologia é o estudo do lugar onde se vive com ênfase sobre a totalidade ou o padrão de relações entre os organismos e o seu ambiente.

**Dodson et al. 1988**

Ecologia é o estudo das relações, distribuição e abundância de organismos, ou grupos de organismos, no meio ambiente.

**Towsend et al. 2010**

Ecologia pode ser definida como o estudo científico da distribuição e abundância de organismos e das interações que determinam essa distribuição e abundância.

**Ricklefs 2010**

Ecologia é a ciência através da qual estudamos como os organismos interagem entre si e com o mundo natural.

A palavra ECOLOGIA deriva do grego *oikos*, que significa casa, e *logos*, que significa estudo. É o estudo dos seres vivos e suas relações com o meio em que estão inseridos, bem como as influências recíprocas que se estabelecem nestes ambientes. A partir de todas as informações acima, você começará a entender a ciência Ecologia e algumas de suas implicações, desde a geração de conhecimentos até sua aplicação.

A Ecologia tem crescido rapidamente, mas de forma suave, sendo construída delicadamente a partir de conceitos de sua antecessora, a História Natural. Em alta nas discussões na sociedade contemporânea, a Ecologia emergiu das Ciências Biológicas e tem se tornado uma disciplina que estuda a integração de diferentes processos, por tratar em conjunto aspectos físicos, químicos e biológicos dos organismos. A Ecologia tem caminhado rumo à sua expansão, discutindo com intensidade crescente as inter-relações e a utilização de recursos por organismos e espécies. Estas abordagens circulam em suas interfaces com diferentes disciplinas, incluindo a Geografia, a Zoologia, a Botânica, a Evolução, a Genética, a Microbiologia, entre outras, e podem ser melhor compreendidas quando dispostas por níveis de organização. E como podemos descrever a Ecologia em seus níveis de organização?

Você se lembra dos sistemas ecológicos e dos níveis de organização biológica?

Provavelmente sim, mas talvez não tenha fixado esses seus conhecimentos relacionando-os com a nossa visão de “planeta bomba-relógio”. Vamos relembrar juntos como funciona essa organização biológica.

Um SISTEMA ECOLÓGICO é definido como um conjunto de elementos que estão relacionados entre si. Os elementos que constituem um sistema ecológico são de dois tipos: bióticos e abióticos. Os fatores bióticos são todos os efeitos causados pelos organismos vivos (biótico = com vida) em um ecossistema e que têm influência nos demais organismos que ali habitam. Os abióticos (abiótico = sem vida) são todas as influências que os seres vivos recebem de fatores físicos e químicos em um ecossistema (Figura 1.3).

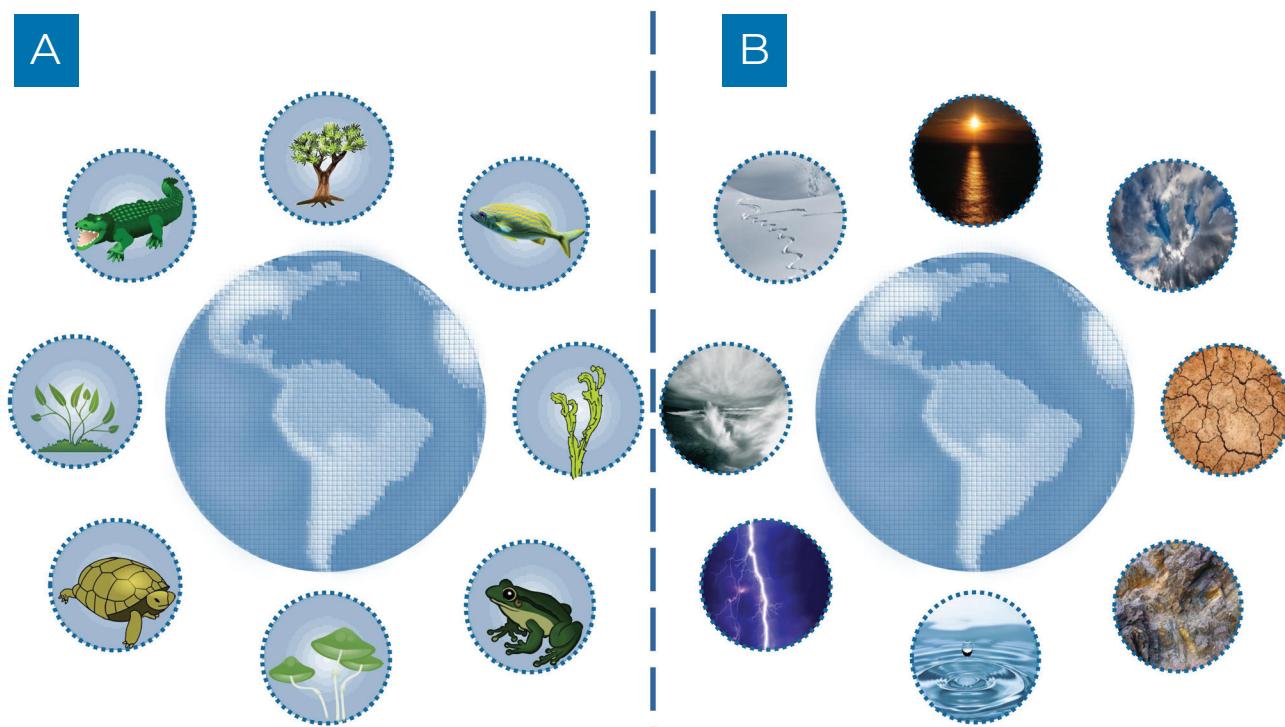


Figura 1.3 – Exemplos de: (A) Fatores bióticos: árvores, plantas, fungos, animais; (B) Fatores Abióticos: luz, radiação solar, temperatura, vento, água, frações de areais no solo, ar.

Em um sistema ecológico, os fatores bióticos e abióticos se relacionam definindo os níveis de organização ecológica. Essa organização se baseia em uma hierarquia de elementos representados em ordem crescente de complexidade, formados a partir de uma unidade mais simples (organismo) até uma unidade maior (biosfera). Desta forma, cada sistema mais simples faz parte de um sistema mais complexo (Figura 1.4).

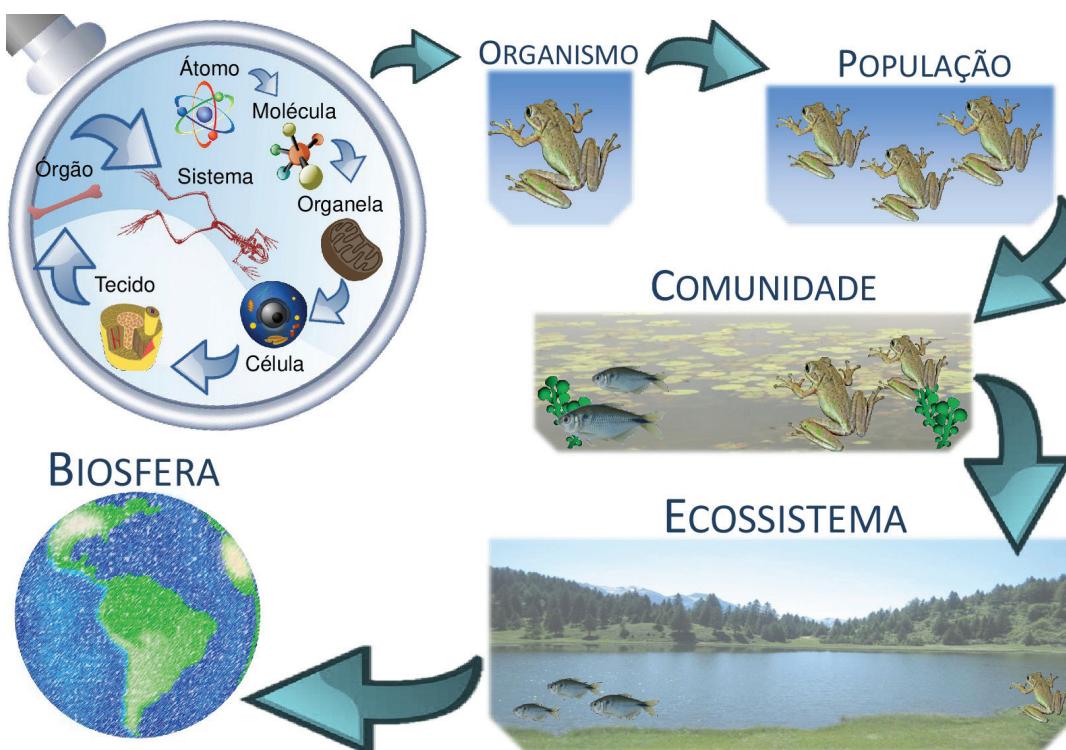


Figura 1.4 – O sistema de organização biológica tem início no átomo, porém, ecologicamente, este início se dá pelo organismo (unidade mais simples e com vida própria) até a mais complexa unidade (biosfera).

A partir deste sistema, definimos os níveis de organização em ecologia, que se iniciam nos organismos e vão até a biosfera:

1. Organismo – unidade fundamental em Ecologia. É a mais simples unidade em Biologia que tem vida própria no ambiente, ou seja, fisiologicamente capaz de executar os diversos processos necessários à manutenção da vida.

2. População – formado por um conjunto de organismos de uma mesma espécie vivendo juntos, em um mesmo local e ao mesmo tempo, interagindo uns com os outros.

3. Comunidade – consiste em muitas populações de diferentes espécies vivendo juntas e interagindo umas com as outras.

4. Ecossistema – mais complexo que os anteriores e que consiste em um conjunto de organismos

(organizados em populações e comunidades) interagindo com seus ambientes físicos e químicos (fatores abióticos). Este nível inclui diferentes tipos de organismos e populações em uma grande variedade de meios aquáticos e terrestres.

5. Biosfera - engloba toda a complexidade biológica, física e química, e é por isso considerado a mais complexa unidade em Ecologia. Este sistema ecológico inclui todos os ecossistemas do planeta Terra interligados pelas correntes de vento, ciclo da água e movimento de organismos que geram as trocas de nutrientes e fluxo de energia entre os meios biótico e abiótico.

Os estudos ecológicos são desenvolvidos em cada um desses níveis e, em termos bióticos, consideram as populações de indivíduos e as diferentes espécies às quais pertencem. Você prestou atenção nisso? Que para diferenciar os níveis ecológicos nós temos que ter em mente o conceito de espécie? E o que é mesmo uma espécie? Uma espécie é conceituada biologicamente como os organismos que são capazes de acasalar e produzir descendentes férteis. Essa definição não se trata apenas de diferenciar um organismo do outro, mas intuitivamente acabamos por desenvolver uma visão informal sobre o que é uma espécie. Dessa forma, fica um pouco mais fácil identificar as diferenças entre os conceitos ecológicos de população (mesma espécie) e comunidade (espécies diferentes em interação), por exemplo. Afinal, mesmo não sendo um taxonomista (cientista que classifica e identifica as espécies), somos capazes de entender que algumas espécies são diferentes das outras (p. e. cachorro e gato ou samambaia e roseira).

Com base em nosso conhecimento básico adquirido ao longo de nossos estudos e na definição de sistemas ecológicos que acabamos de discutir, vamos estudar um pouco mais sobre níveis ecológicos.

Você está convidado a conhecer um pequeno mundo ecológico nos Ecossistemas

Como discutido anteriormente, o nível ecológico dos ecossistemas engloba as comunidades biológicas (fatores bióticos) interagindo entre si e com o ambiente físico (fatores abióticos). Este termo, ecossistemas, foi difundido nos anos 30 por um ecólogo vegetal como os componentes bióticos e abióticos de um sistema ecológico que influenciam o fluxo de energia e de nutrientes (Box 1.2).

Box 1.2 - A construção do conhecimento em Ecologia de Ecossistemas**Anos 20****Charles Elton - zoólogo inglês**

"os organismos que vivem no mesmo lugar não apenas têm tolerâncias semelhantes aos fatores físicos e químicos do ambiente como também interagem uns com os outros, e de forma mais relevante, num sistema de relações de alimentação (teia alimentar)"

Todo organismo deve se alimentar para obter nutrição e pode ser alimento de um outro organismo.

**Anos 30****George Tansley - botânico inglês**

"os organismos, junto com os fatores físicos que os circundam, como sistemas ecológicos"

As partes biológicas e físicas juntas, unificadas pela dependência dos organismos em seu meio físico e por suas contribuições para a manutenção das condições e composição do mundo físico.

**Anos 40****Raymond Lindeman - ecólogo americano**

"o ecossistema como unidade fundamental na ecologia funciona através das cadeias alimentares, incluindo os nutrientes inorgânicos (base) como as expressões mais úteis da estrutura do ecossistema"

A cadeia alimentar pela qual a energia passa através do ecossistema tem muitas conexões (níveis tróficos). Esses níveis funcionam como uma pirâmide de energia onde cada nível sucessivamente acima perde energia para o anterior.

**Anos 50****Eugene P. Odum - zoólogo e ecólogo americano**

"o princípio de que a energia passa de um elemento da cadeia alimentar para o próximo, reduzido pela respiração e o desvio de materiais orgânicos não utilizados pelas cadeias alimentares baseadas nos detritos"

A energia ingerida pelos organismos em cada nível trófico é reduzida pela respiração e excreção, tal que menos energia se torna disponível para consumo pelo próximo nível trófico.

Adaptado de Ricklefs (2010)

Portanto, a ECOLOGIA DE ECOSISTEMAS é a abordagem ecológica que considera as comunidades biológicas que estão intimamente ligadas ao meio abiótico por fluxo de energia e ciclagem de nutrientes e matéria orgânica. Os sistemas ecológicos precisam de matéria para sua construção e energia para suas atividades. Desde o organismo até as populações e comunidades que integram os ecossistemas, os fluxos de energia e matéria são imprescindíveis. A importância destes processos ecológicos (fluxo de energia, ciclagem de nutrientes e matéria orgânica) baseia-se na forte ligação das comunidades com o meio abiótico.

Com base no processo de troca de energia e biomassa nos ecossistemas, os organismos assumem diferentes papéis ecológicos: produtores (aqueles que são capazes de converter energia luminosa em biomassa e as bactérias quimiossintetizantes), herbívoros (alimentam-se de vegetais) e carnívoros (que se alimentam de animais), formando uma cadeia alimentar que vai dos produtores (plantas) aos consumidores primários (herbívoros) e secundários e terciários (carnívoros). Restos de organismos e carcaças de plantas e animais mortos formam os detritos orgânicos que são processados por microrganismos e, em sequência, por decompositores e detritívoros. Esses organismos, por sua vez, são consumidos por predadores, formando a cadeia de detritos. Quando descrevemos as cadeias alimentares e as cadeias de detritos como uma sequência direta de alimentação, desde os produtores até diferentes consumidores, é importante salientarmos que o funcionamento de ecossistemas envolve relações de obtenção de alimento em níveis distintos. Em geral, cada nível alimentar é representado por diversas espécies, podendo cada qual alimentar-se de organismos pertencentes a dois ou mais níveis alimentares. Essa relação estabelece, assim, as chamadas teias alimentares (conjunto de cadeias alimentares ligadas entre si), ou seja, um conjunto das relações alimentares entre populações de organismos em um ecossistema. As teias alimentares representam a complexidade das transferências de matéria e fluxo de energia, nas quais muitas espécies em um dado ecossistema são associadas aos ambientes físico e químico - que fornece condições de vida -, funcionando como uma fonte e depósito de matéria e energia (Figuras 1.5 e 1.6).

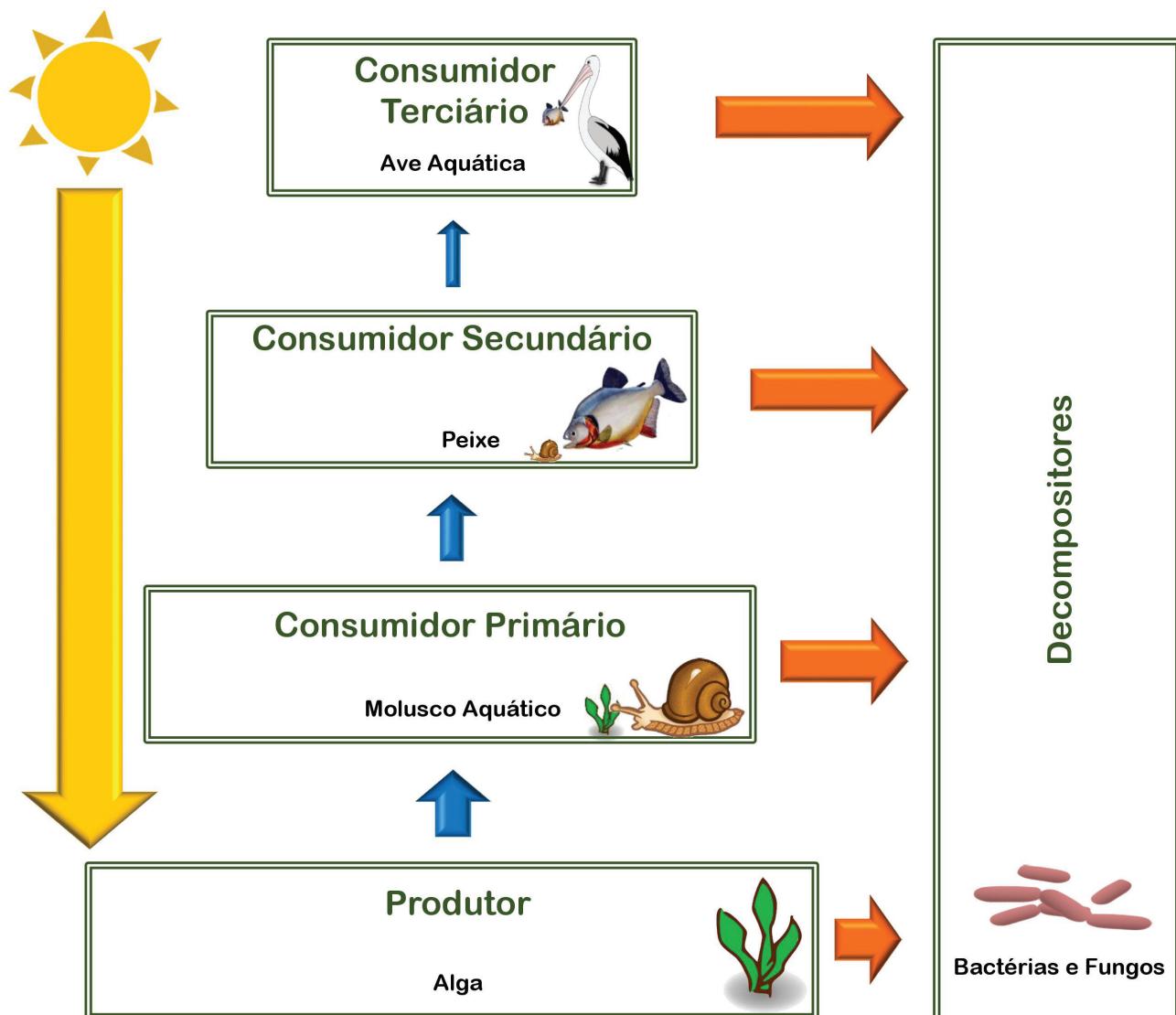


Figura 1.5 – Representação esquemática da transferência de energia e matéria (simbolizada por setas azuis) ao longo de uma cadeia alimentar e, em paralelo, a cadeia de detritos orgânicos (simbolizada por setas laranja) em um ecossistema aquático.

A Figura 1.5 ilustra a interdependência de todos os componentes bióticos nos ecossistemas. Os produtores convertem a energia luminosa (solar), os consumidores garantem o fluxo desta energia ao longo das cadeias alimentares e os decompositores garantem a ciclagem de nutrientes entre os compartimentos biótico e abiótico. Do mesmo modo, os componentes de cadeias alimentares dependem dos fatores abióticos, como a luz do sol para a obtenção de energia pelos produtores, água e nutrientes para manter o seu metabolismo.

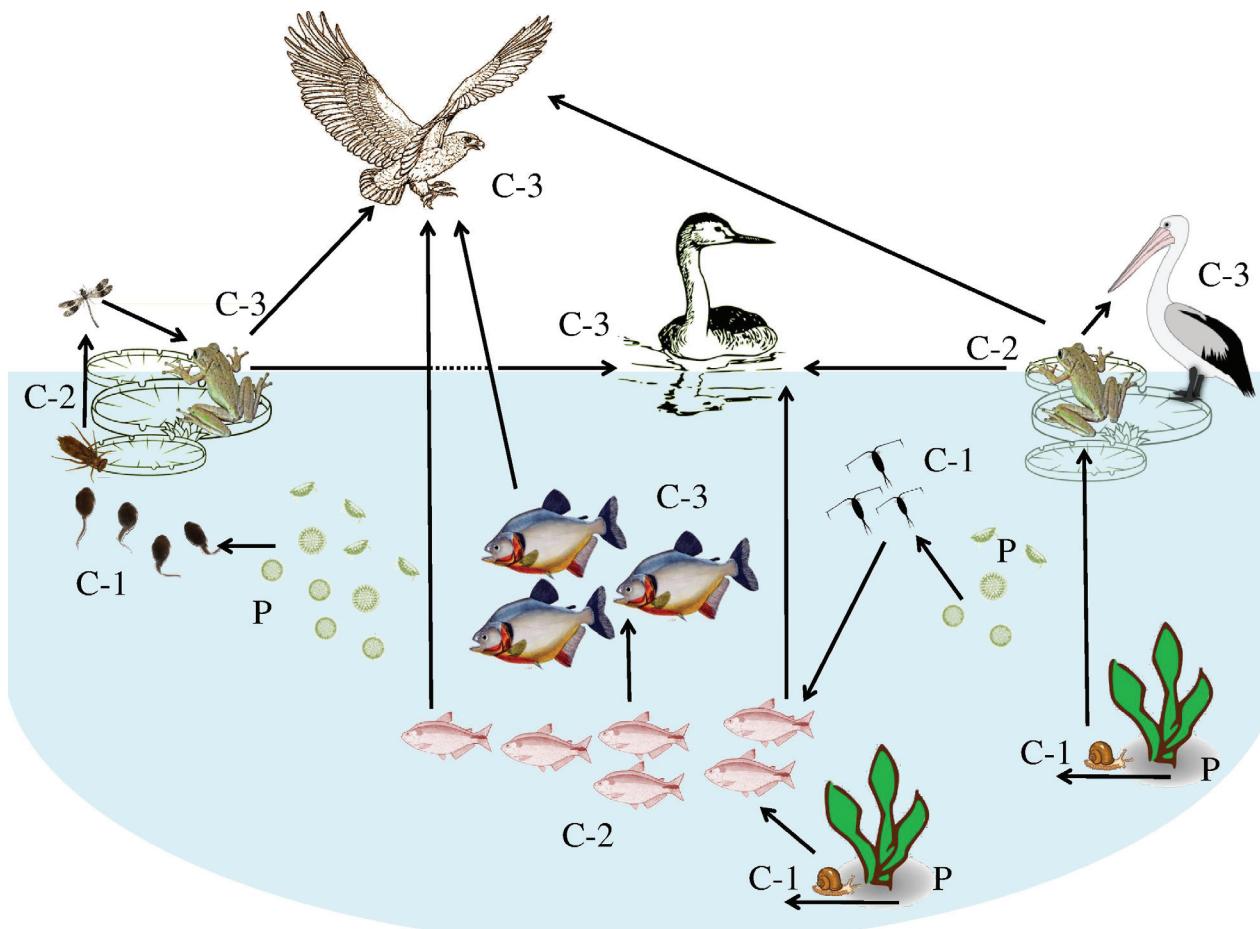


Figura 1.6 – Representação esquemática de uma teia alimentar em um ecossistema aquático, onde (P) – produtores; (C-1) – consumidores primários; (C-2) – consumidores secundários; (C-3) – consumidores terciários.

Antes de passarmos para o conhecimento dos próximos processos ecológicos nos ecossistemas, é importante que fiquem claros alguns conceitos, os quais estão intimamente ligados às cadeias ou teias alimentares: o dos seres autótrofos e o dos seres heterótrofos. Os seres autótrofos são aqueles capazes de assimilar energia solar (fotossíntese) ou a de compostos químicos inorgânicos (quimiossíntese). Já os seres heterótrofos, por sua vez, são aqueles incapazes de assimilar energia diretamente pela captação de luz ou a energia proveniente de compostos químicos inorgânicos. Para exemplificar, observe novamente a Figura 1.5, na qual o “produtor” representa o ser autótrofo e os demais componentes (consumidores e decompositores) representam os seres heterótrofos.

Você deve compreender que todos os processos ecológicos podem ser estudados em diferentes escalas, portanto, a ecologia de ecossistemas pode incluir o estudo de uma árvore na floresta (englobando vários organismos que vivem associados à árvore e que interagem com os fatores abióticos) e também a própria floresta como um todo. Pensando desta forma,

um aquário pode ser considerado um ecossistema? Ele pode ser autossuficiente e apresentar tanto os elementos bióticos (algas, peixes, plantas, invertebrados) quanto os fatores abióticos (ar, areia, água, luz) que o mantém em equilíbrio. Sim, um aquário pode ser considerado um “pequeno” ecossistema. No entanto, a sua manutenção, a cada 15 dias, depende do alimento que seu proprietário fornece, da manutenção da luz artificial acesa e de retirar depósitos de matéria orgânica, raspar vidros e trocar parte da água.

É indispensável, portanto, que compreendamos que todos os ecossistemas, por menores que pareçam, estão interligados entre si e, independentemente do seu tamanho ou complexidade, conservá-los é essencial para manter o equilíbrio do nosso planeta, visualizado como uma “bomba-relógio”⁽¹⁾ através da Figura 1.2. E, manter este equilíbrio em nosso planeta tem sido um dos principais problemas associados ao crescimento desordenado das grandes cidades. Da menor escala (organismo) a escalas mais complexas (ecossistemas), estamos perdendo bens e serviços ecossistêmicos essenciais e causando um desequilíbrio incalculável em nosso nível ecológico mais complexo, a biosfera.

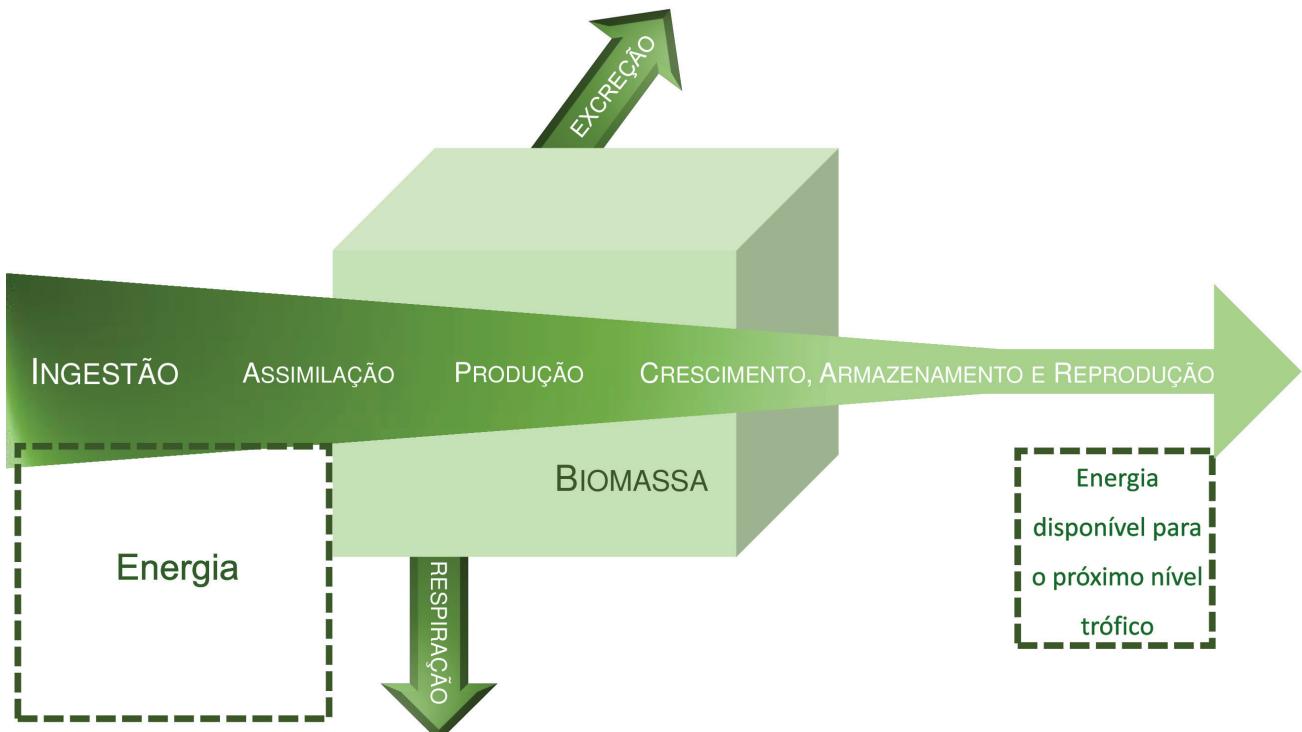
Vamos, então, discutir um pouco mais sobre os processos que ocorrem dentro dos ecossistemas, mas faremos isso em etapas. Primeiro, vamos salientar um conceito importante nos processos de manutenção do equilíbrio dos ecossistemas, começando a perceber os organismos como biomassa. Entende-se por biomassa a massa corpórea de todos os organismos em uma dada unidade de área, ou seja, a matéria orgânica (animal e/ou vegetal) expressa em peso (gramas, quilos, toneladas). Vamos tentar visualizar a biomassa no seguinte exemplo: uma árvore, mesmo contendo partes de madeira morta, será considerada em toda sua área como biomassa (folhas, galhos, sementes, caule, flores, raiz). Em Ecologia, podemos diferenciar, ainda, biomassa aérea (aquele que se desenvolve sobre o solo) e biomassa subterrânea (formada por raízes que captam água e nutrientes no solo). Essa árvore, como um todo, só deixará de ser biomassa quando morrer e se transformar em “matéria orgânica morta”. Em sequência, a matéria orgânica morta é submetida a um novo processo ecológico, quando os decompôsitos promovem a degradação e regeneram nutrientes inorgânicos. A partir da biomassa de organismos, nós podemos considerar uma importante síntese ecológica: a produção primária.

(1)“bomba-relógio” é uma expressão utilizada por ambientalistas que discutem sobre o risco de manutenção da vida no planeta Terra, devido à utilização de recursos naturais serem superior à capacidade do planeta em manter a vida.

Para entendermos a sequência desses processos, iniciaremos pela produtividade primária, ou a taxa que expressa a produção de biomassa pelos organismos autótrofos considerando-se certa unidade de área ou volume e em um determinado intervalo de tempo. A produção de biomassa é iniciada pela produção primária quando a conversão da energia solar em energia química é realizada pelos seres autótrofos e posteriormente consumida pelos seres heterótrofos, ao longo das cadeias alimentares. O principal elemento químico envolvido neste processo é o carbono. Os seres autótrofos (plantas, algumas bactérias, entre outros) fixam o carbono em seus tecidos durante os processos de fotossíntese e de quimiossíntese, o que é chamado de produtividade primária bruta. A partir desta fixação, os organismos autótrofos usam uma parte desta energia em atividades necessárias para a sua manutenção, perdendo, neste processo, parte desta energia na forma de calor. O saldo da diferença entre o que foi assimilado pelo organismo e o que é gasto em sua respiração é chamado produtividade primária líquida. A produtividade primária líquida representa a taxa real de produção (biomassa dos produtores primários) que fica disponível para o consumo dos organismos heterótrofos.

Tendo entendido o que é produtividade primária bruta e líquida, o próximo processo ecológico que estudaremos será a produtividade secundária. A produtividade secundária corresponde à assimilação de parte da energia assimilada anteriormente pela produção primária, ou seja, a energia incorporada e armazenada pelos níveis tróficos dos consumidores heterótrofos em um determinado período de tempo. A quantidade de matéria orgânica assimilada por um herbívoro (consumidor primário) durante certo intervalo de tempo corresponde à produtividade secundária. Paralelamente, toda a biomassa de um dado nível trófico que não for consumida pelo nível trófico seguinte irá para a cadeia de detritos. Os decompositores, por meio da fragmentação de moléculas complexas em moléculas simples, liberam formas inorgânicas de nutrientes que serão reabsorvidas por produtores (plantas) que mantêm a continuidade da ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia nas cadeias alimentares.

O fluxo de energia dos ecossistemas está exemplificado na Figura 1.7.



Adaptado de Odum (1985)

Figura 1.7 – Esquema da disponibilidade de energia utilizada em um dado nível trófico nos ecossistemas, considerando-se as transferências entre níveis tróficos em cadeias alimentares (menos energia disponível para o próximo nível).

Neste momento, depois de termos compreendido que a energia que flui ao longo de cadeias alimentares vai, gradativamente, diminuindo a cada nível trófico, pode ser que você ainda esteja se perguntando: mas, afinal, o que é um nível trófico? O nível trófico é a posição de um organismo na cadeia alimentar considerando-se produtores, consumidores e decompositores em um ecossistema. Esta posição é representada nas cadeias alimentares (Figura 1.5) e teias alimentares (Figura 1.6). Então, já falamos de níveis tróficos mas sem utilizar essa nomenclatura? Isso mesmo, nos referimos anteriormente como nível alimentar! Falamos de níveis tróficos quando ilustramos uma cadeia alimentar e demonstramos a posição dos produtores, consumidores e decompositores. E por que retomar este assunto? Para compreendermos melhor os processos ecológicos e continuarmos nossa discussão sobre fluxo de energia nos ecossistemas ao longo dos níveis tróficos. Assim, ficarão mais claras as relações alimentares complexas existentes em um ecossistema e os processos de produtividade primária e produtividade secundária, discutidos anteriormente.

O primeiro nível trófico é formado pelos seres autótrofos (os produtores). Neste grupo de organismos estão incluídas plantas terrestres e aquáticas, fitoplâncton e algumas bactérias quimiossintetizantes. Estes organismos são capazes de assimilar a energia que recebem do sol e convertê-la em energia química que será armazenada tipicamente como carboidratos e gorduras, formando sua biomassa. Em sequência, os próximos níveis tróficos serão formados pelos seres heterótrofos (os consumidores e decompositores), que possuem uma diversidade de estratégias de obtenção de alimento, utilizando a energia do nível trófico inferior e tendo como base a energia assimilada pelos seres autótrofos. A composição química e a disponibilidade de alimento irão determinar a quantidade de energia que os seres heterótrofos poderão obter, a partir de seus diferentes modos de se alimentar.

Com certeza, já é possível relembrar e visualizar os diferentes níveis tróficos, porém, vamos incluir no contexto de fluxo de energia um exemplo baseado em uma *pirâmide trófica* (Figura 1.8).

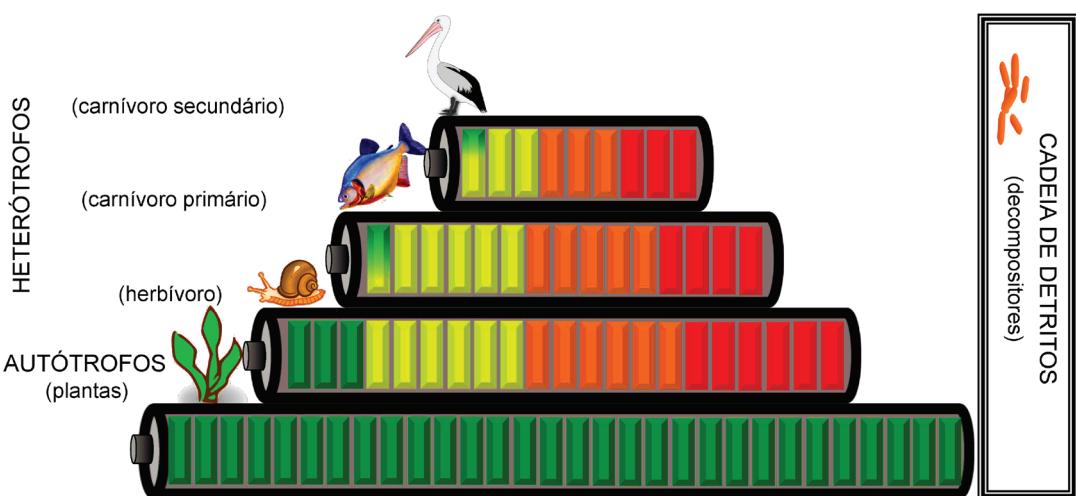


Figura 1.8 – Níveis tróficos representados por uma pirâmide trófica de energia: organismos autótrofos (1º nível) e heterótrofos (diversas estratégias de alimentação nos próximos níveis) onde a largura da pilha e a quantidade de marcadores de cor verde indica a quantidade de energia transferida para o nível trófico seguinte. As cores amarela, laranja e vermelha representam, nessa sequência, uma perda gradativa de energia entre níveis tróficos.

A *pirâmide trófica* (ou *pirâmide ecológica*) é uma representação gráfica que utiliza retângulos horizontais sobrepostos para demonstrar a quantidade de energia ou seu equivalente em biomassa disponível em cada nível trófico. Também podem ser representados pelo número de indivíduos de cada nível trófico necessário para sustentar o nível seguinte, sendo chamada de pirâmide trófica de números. Que tal representarmos, utilizando diferentes exemplos, os três tipos de pirâmides tróficas: A) pirâmide de energia, B) pirâmide de biomassa e C) pirâmide de números (Figura 1.9):

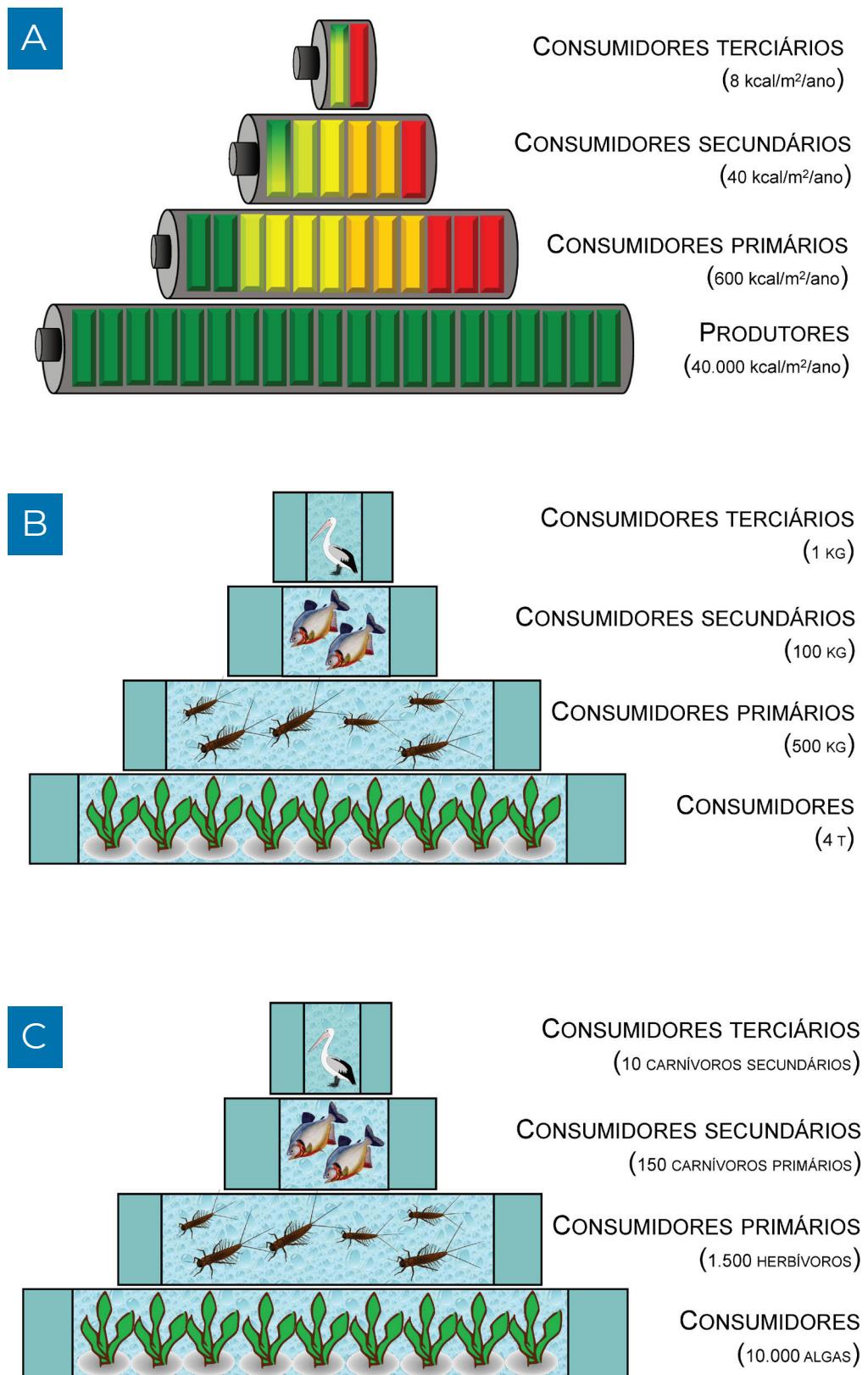


Figura 1.9 – Exemplos de pirâmides: (A) energia, onde o conjunto verde contido no retângulo na base (pilha) representa a energia disponível para o nível superior, seguido por amarelo, laranja e vermelho representando perda de energia; (B) biomassa, onde a massa de matéria orgânica por área ou volume disponível em cada nível trófico e; (C) números (número de indivíduos de cada nível trófico necessário para sustentar o nível seguinte).

Mas, será que podemos afirmar que os fluxos de energia e dinâmica de processamento da biomassa funcionarão sempre desta forma nos ecossistemas? Quando falamos de meio ambiente, estamos sempre seguindo regras?

Observando a Figura 1.10, você acha que é possível que algumas destas situações (A ou B) podem ocorrer? E, caso sua resposta seja sim, você consegue imaginar uma situação possível para que ela ocorra?

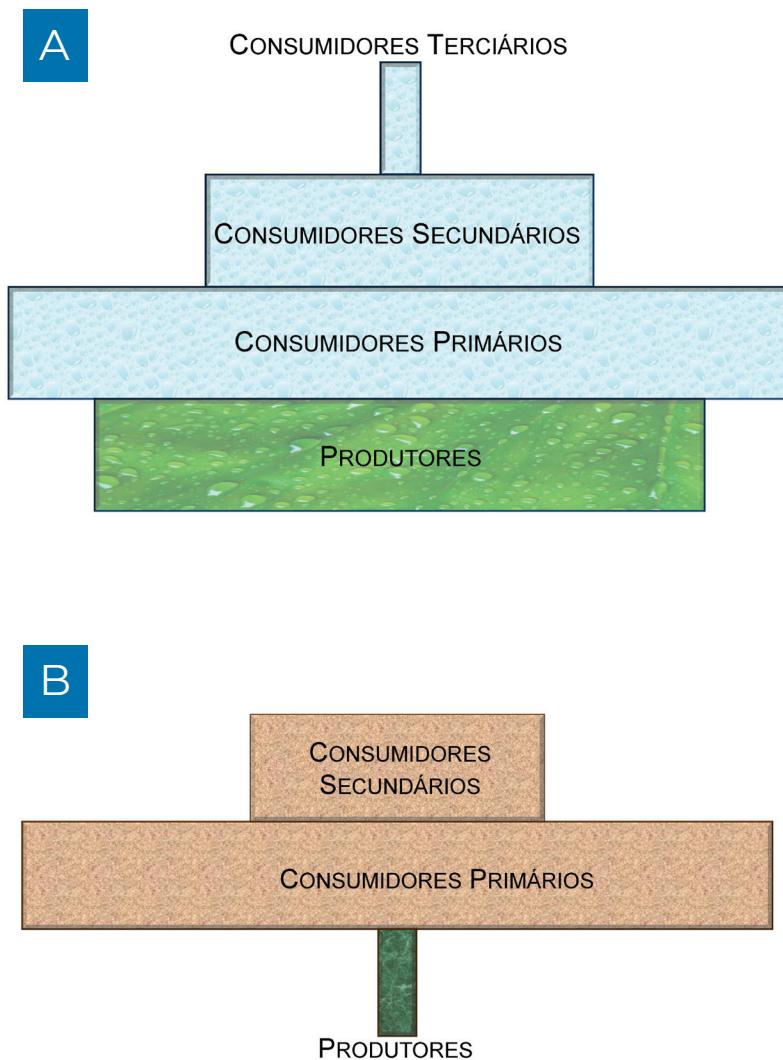


Figura 1.10 – Exemplos de pirâmides tróficas invertidas: (A) pirâmide de biomassa e (B) pirâmide de número.

Pois bem, a primeira resposta para essa pergunta é: Sim, ambas podem ocorrer na natureza.

E vamos ajudar a entender quando e como isto acontece...

Começando pelo exemplo da letra A, uma pirâmide de biomassa:

O “quando”: ...uma alta taxa de consumo e tempo de vida curto de alguns produtores primários (p. ex. algas do fitoplâncton) em ecossistemas aquáticos pode gerar uma situação um tanto quanto incomum como esta, a chamada pirâmide de biomassa invertida...

.. e o “como”: ...a biomassa de seres heterótrofos pode ser maior do que a dos seres autótrofos em ecossistemas aquáticos em algum momento (p. ex. zonas abissais em mar aberto, pobres em nutrientes, onde a produtividade é menor). Nestes locais, de “água pobres em nutrientes”, um maior número de consumidores primários em relação aos produtores resulta em uma ciclagem de nutrientes mais rápida, maiores taxas de crescimento dos organismos e tempos de vida mais curtos. Porém, da mesma forma, os organismos autótrofos armazenam maior quantidade de energia e, portanto, a pirâmide de energia mantém-se maior nos níveis inferiores da pirâmide trófica. Aliás, uma pirâmide de energia nunca pode ser invertida!

E, completando, pelo exemplo da letra B - uma pirâmide de números:

O “quando”: ...um produtor de grande porte (por ex. uma árvore com mais de 20 metros de comprimento) pode gerar também uma aparente contradição como esta, a chamada pirâmide de números invertida...

... e o “como”: ... uma grande árvore é colonizada por 500 lagartas se alimentando de suas folhas. Por sua vez, as lagartas servirão de alimento para 5 pássaros que vivem no entorno desta árvore. Novamente, o organismo autótrofo armazena maior quantidade de energia e, portanto, a pirâmide de energia também se manterá maior nos níveis inferiores da pirâmide trófica.

Até aqui, é possível entender o fascínio que toda esta complexidade de relações ecológicas na natureza e, ao mesmo tempo, certa simplicidade de situações causariam ao mais “incrédulo” dos ecólogos? Como todas as situações se encaixam tão perfeitamente para serem capazes de produzir, consumir, devolver, reutilizar? Nossos ecossistemas possuem uma condição ecológica, em termos de estrutura e funcionamento, capaz de mantê-los na “mais perfeita harmonia” para que nós e todos os demais seres do planeta possamos interagir e conviver em sintonia. As perguntas que ficam são: nós, seres humanos, temos consciência da importância de todas estas interações? Somos capazes de entender o quanto tiramos proveito disso? Somos usuários eficientes de nossas pirâmides tróficas?

Muitas perguntas para muitas respostas. A partir de agora você poderá aguçar ainda mais sua curiosidade e se deleitar com as mais magníficas situações nas quais o adequado funcionamento dos sistemas ecológicos é importante para a humanidade e para o planeta. Muitas questões sobre produção primária, produção secundária e ciclagem de nutrientes são fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas. A importância de associar essas questões e suas aplicações práticas ao nosso dia a dia surge quando conseguimos compreender que os ecossistemas em nosso planeta oferecem à humanidade uma vasta gama de benefícios. E, a partir de então, nos tornarmos conscientes do quanto isso é importante para termos acesso a padrões de qualidade de vida que nos são disponíveis gratuitamente pela natureza.

Você já ouviu falar em “Bens e Serviços Ecossistêmicos”? Você consegue se imaginar sem eles?

Os BENS E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS são definidos como os benefícios proporcionados pelos ecossistemas obtidos, direta ou indiretamente, pelo homem para sustentar a vida humana e o bem-estar social. Nos dias atuais, apesar de vivermos em um mundo dominado por tecnologias, nosso bem-estar está totalmente associado a estes benefícios. E, realmente, não é possível imaginar nossa vida sem eles.

Os ecossistemas fornecem muitos bens (como alimentos) e serviços (como assimilação de resíduos) para a humanidade. Porém, muitas vezes, como esses bens não são comercializados em mercados e não têm valor de custo determinado, não entram em nossa percepção econômica, por não investirmos financeiramente nisso. A biodiversidade tem um valor próprio e não necessariamente monetário, que nos é oferecido e a todos os demais organismos do planeta pelos ecossistemas. Você seria capaz de enumerar tudo o que a natureza nos oferece?

Vamos a uma classificação por categorias (Figura 1.11):

Serviços de provisão (ou abastecimento) – incluem os produtos obtidos diretamente dos ecossistemas para nosso uso (p. ex. os alimentos, a água e a madeira).

Serviços de regulação – incluem os benefícios obtidos pela regulação dos processos ecossistêmicos (p. ex. o controle de inundações, de resíduos e de disseminação de doenças).

Serviços culturais – incluem os benefícios “não materiais” obtidos dos ecossistemas (p. ex. os bens religiosos, a recreação e a beleza cênica).

Serviços de suporte – incluem aqueles necessários para a produção de outros serviços ecossistêmicos (p. ex. a ciclagem de nutrientes, a produção primária e a fotossíntese).



Adaptado de Millennium Ecosystem Assessment (2003)

Figura 1.11 – Os bens e serviços ecossistêmicos são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas e incluem serviços de provisão, de regulação, os serviços culturais que afetam diretamente as pessoas e os serviços de suporte necessários para manter os outros serviços.

Como afirmamos anteriormente, estes bens e serviços não são comercializados, não têm preço e nem fazem parte do nosso mercado econômico. Porém, se não estamos considerando o pagamento direto em espécie (moeda), você teria ideia dos custos econômicos dos impactos de atividades humanas sobre os serviços ecossistêmicos? Que tal pensarmos economicamente nos serviços ecossistêmicos que são perdidos quando degradamos o meio ambiente?

Vamos fazer este exercício pensando em exemplos para cada tipo de serviço:

Um serviço de provisão, indispensável para o nosso bem-estar, é a água de boa qualidade que captamos de rios e lagos para os nossos múltiplos usos, concordam? Agora, observe a figura abaixo (Figura 1.12):

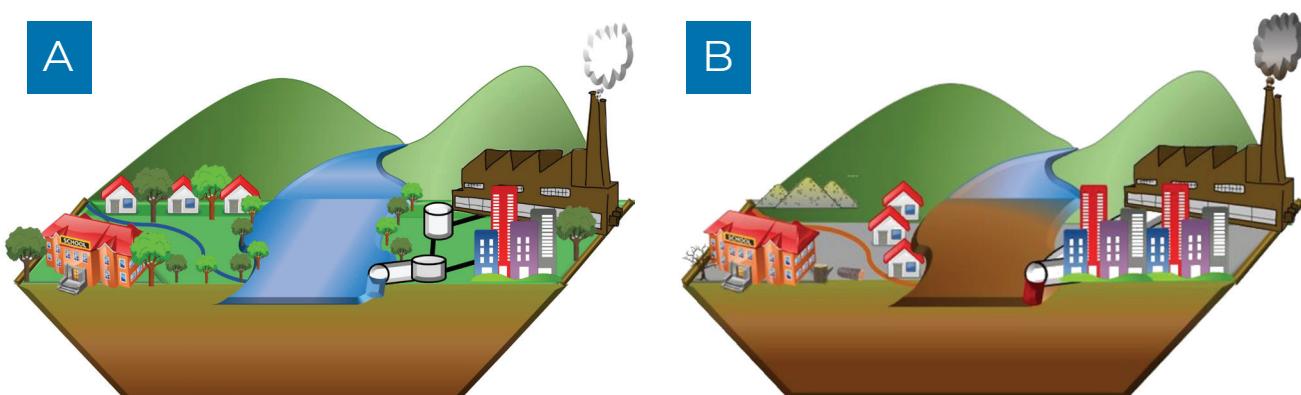


Figura 1.12 – Esquema de rios urbanos, onde: (A) bacia de drenagem bem planejada para uso pela comunidade de entorno e, (B) bacia de drenagem sem planejamento para uso da comunidade de entorno.

Qual rio você imagina nos oferecer bens e serviços ecossistêmicos adequadamente?

O rio A, seria a resposta correta. Por que?

Na imagem A observamos “boas práticas” ambientais, uma vez que a urbanização de cidades e o meio ambiente convivem em harmonia, concordam? Não há depósito de lixo inadequado e nem esgoto sem tratamento sendo lançado no ecossistema aquático. Com o tratamento mais viável economicamente, a população ribeirinha da imagem A poderá receber água de boa qualidade trazida do rio que passa por sua cidade. Isso é um bem fornecido pelo meio ambiente que, se adequadamente mantido, poderá oferecer recursos por muito tempo e de forma mais econômica para a população.

E por que o rio B não seria mais econômico que o rio A? Podemos afirmar que “uma imagem vale mais que mil palavras”, nesse caso. Afinal, você concordaria que o rio B está sendo modificado pela cidade em seu entorno? Nós dizemos que sim, apenas com essa imagem, pois é possível verificar depósitos de lixo bruto e despejo de efluentes (domésticos e industriais). Com isso, o rio da imagem B precisa de tratamento mais complexo e/ou a população precisaria captar água para abastecimento urbano em um local mais distante, certo? Não ficaria muito mais caro (ou inviável economicamente)? Este fato só confirma que, à medida que poluímos, ou não cuidamos dos serviços de provisão oferecidos pelos ecossistemas de forma adequada, pagamos mais para ter água de boa qualidade e isso afeta nossa economia.

E quanto aos serviços de regulação? Conseguimos pensar em um exemplo de perda econômica? Então, vamos juntos ao exemplo. Convidamos você a reutilizar as imagens anteriores.

Você concorda que a população da imagem A tem, provavelmente, maior qualidade de vida e, em consequência, uma saúde melhor? Pense agora na propagação de doenças. Uma comunidade com acesso a um rio bem conservado, que mantém suas ruas limpas e florestas bem cuidadas (ou áreas naturais conservadas), não teria menor contato com organismos capazes de propagar doenças (p. ex. mosquitos e ratos)? Com certeza, sim! Isso significa que a população da imagem A utiliza os recursos naturais mas mantém uma boa relação com seu meio e, em troca, recebe indiretamente a manutenção de sua saúde.

E a imagem B, o que nos mostra? A possibilidade de propagação de doenças de veiculação hídrica (rios poluídos e contaminados), de veiculação aérea (depósitos de lixo bruto e remoção de matas), entre outras. O ambiente B terá, provavelmente, uma população ribeirinha com pior qualidade de vida do que a da imagem A e, consequentemente, mais propensa a doenças. O que isto significa, economicamente falando? Que esta população gastará mais recursos com hospitais e medicamentos. Novamente, fica evidente que, ao passo que perdemos bens e serviços dos ecossistemas, nossos serviços de regulação são afetados, como no exemplo da “regulação de

doenças". E isto afeta também nossa economia.

Agora, que tal fazer o exercício para avaliar a perda de serviços culturais?

Parece um pouco mais difícil de visualizar mas, com certeza, mais uma vez, não faltarão exemplos e iremos fazer esse exercício com base no conceito de "identidade cultural". A identidade cultural de uma comunidade representa os costumes (tradições, crenças, entre outros) que os indivíduos compartilham com outros membros de seu grupo. Com base neste conceito convido vocês a observarem a imagem a seguir (Figura 1.13):

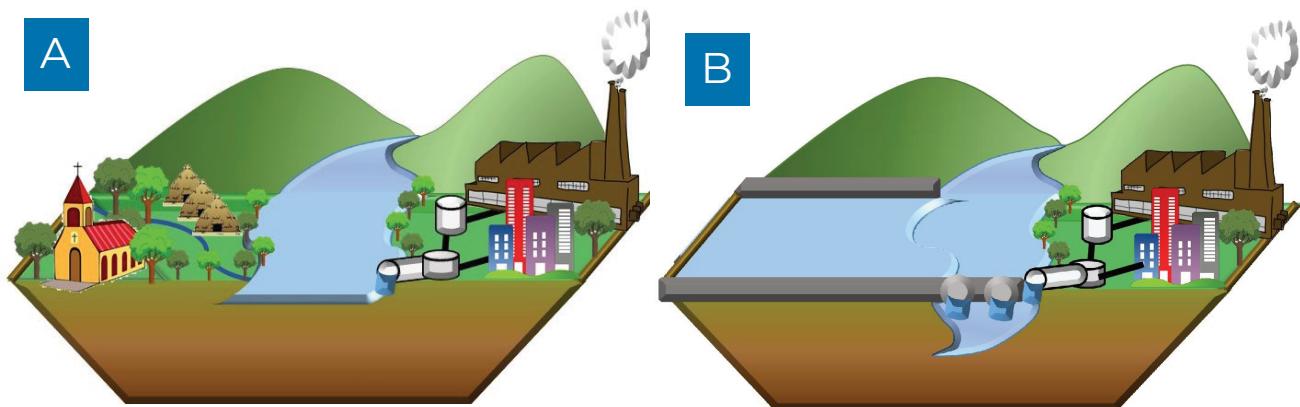


Figura 1.13 - Esquema de rios urbanos, onde: (A) ausência de barramentos e preservação da identidade cultural da comunidade de entorno e, (B) presença de barramento e desaparecimento da identidade cultural da comunidade de entorno.

Observe que o ambiente A é composto por diversidade cultural e religiosa, representada por uma igreja e pela comunidade indígena em uma das margens do rio. Porém, a cidade que cresce à outra margem necessita, cada vez mais, de estruturas que a mantenham funcionando e, para geração de energia elétrica para a região, é construído um barramento que represa grande parte da água do rio (ambiente B). Observe o que ocorre com a diversidade cultural e religiosa da região. Toda a diversidade que falamos é perdida com o represamento do rio que gera um reservatório justamente na margem mais diversa culturalmente. E agora? Este fato também gera perda econômica? Qual a sua opinião?

Podemos pensar nesta perda de serviço cultural como um prejuízo econômico. Se perdermos aspectos culturais (p. ex. uma dança folclórica) perdemos, automaticamente, bens materiais a eles associados (vestuário, comida, festas folclóricas, entre outros). Muito mais do que a perda econômica, a perda de identidade cultural é considerada de valor inatingível, já que inclui a perda da relação do indivíduo com o seu meio (partes da sociedade e suas características). Há também a possibilidade de perda da história de origem deste povo. E como isto funcionaria? Os descendentes dos povos que viviam em regiões alagadas como esta perderam a ligação com a história de seus descendentes, refletindo na perda do seu próprio histórico familiar.

E quanto aos serviços de suporte? Que tal fazermos mais um exercício para associá-los à perda econômica? Acreditamos que este, talvez, seja o exemplo cada vez mais atual e próximo de nossa realidade, à medida que a população mundial cresce exponencialmente. E, nesse caso, estamos trabalhando com valores infinitos e incalculáveis. É trivial perguntar qual é o valor da atmosfera para a humanidade ou qual é o valor das rochas e da infraestrutura do solo como sistemas de apoio? Não! Podemos considerar que seu valor é infinito e realmente incalculável. Podemos, também, considerar pequenas mudanças em grandes escalas. Pense que as alterações de composição de gases locais afetam a atmosfera de tal forma que podem ter efeitos globais relacionados a mudanças climáticas (afetando o bem-estar de toda a população no planeta Terra). E grandes mudanças em pequenas escalas? Grandes mudanças em pequenas escalas incluem, p. ex. alterar drasticamente as florestas. Essas alterações podem transformar ecossistemas terrestres e aquáticos, gerar perda de biodiversidade e de qualidade de águas, com impacto nos benefícios e nos custos das atividades humanas.

De um modo geral, mudanças em recursos naturais e serviços ecossistêmicos alterarão os custos ou os benefícios da manutenção do nosso bem-estar em relação a toda humanidade. O exercício de calcular os custos de nosso bem-estar é incansavelmente proposto e, na maioria das vezes, nos demonstra uma demanda maior do que o planeta é capaz de sustentar (Box 1.3).

Box 1.3 - Desafios de quantificar monetariamente a diversidade biológica através da economia ecológica ou pegada ecológica.

Constanza et al. 1997 – estimaram que o valor dos serviços ecossistêmicos para 16 biomas diferentes seja na faixa de US\$ 16 a 54 trilhões por ano, com uma média de US\$ 33 trilhões por ano, enquanto o PIB (produto interno bruto total) seria de cerca de US\$ 18 trilhões por ano. Esta estimativa prevê gastos, em termos de serviços ecossistêmicos, >80% em relação à produção econômica global.

Wackernagel et al 1999 – estimaram a pegada ecológica para 52 nações utilizando um modelo simplificado italiano. Para cada país definiu-se a pegada ecológica, a capacidade disponível e o déficit ecológico (caso a capacidade fosse menor que a necessidade). O país com maior déficit foi a Bélgica (não sendo capaz de autossustentar -3,8 ha/cap) e a melhor capacidade foi da Islândia (+14,3 ha/cap). O Brasil seria positivamente (3,6 ha/cap) autossustentável.

INPE, 2012 – com base em dados de diversas instituições sugerem que o consumo atual é, em média, 50% maior que a capacidade de reposição do planeta. Isso significa que precisamos de um planeta e meio para manter nossos padrões de vida atuais.

Hoekstra & Wiedmann, 2014 – estimaram uma pegada ecológica mundial de 18,2 bilhões de hectares (utilizado) vs. 12 bilhões de hectares (máximo previsto sustentável). Este estudo indica um déficit maior que 50% do previsto para que o mundo seja autossustentável.

Vamos exercitar nossos conhecimentos?

Você pode calcular sua “pegada ecológica” em www.suapegadaecologica.com.br e verificar se seu estilo de vida está de acordo com a capacidade natural de regeneração de recursos em nosso planeta. A partir de então, que tal discutir com sua turma e/ou sua família como podemos nos tornar mais sustentáveis (demandando menos recursos naturais, dentro do limite máximo que nosso planeta pode repor)?

Você sabia que...

No dia 05 de novembro de 2015, o Brasil assistiu a um dos piores desastres ambientais de sua história. Uma onda de lama de rejeito de minério enterrou Bento Rodrigues, uma vila no município de Mariana, localizada na Serra do Espinhaço, no estado de Minas Gerais. Sessenta e dois milhões de m³ de lama escorreram sobre casas e sobre o patrimônio histórico, cultural e natural da vila, deixando mais de 600 desabrigados. A caminho do mar, a onda de lama atingiu o rio Doce (um importante ecossistema aquático e fornecedor de serviços ecossistêmicos fundamentais para uma das regiões mais populosas e industrializadas do país). O desastre imediatamente afetou o consumo direto e a manutenção da vida aquática. Quarenta e um municípios nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo foram afetados pelo desastre e centenas de milhares de pessoas ficaram sem acesso à água potável. A lama de rejeito de minério atingiu o Oceano Atlântico em 15 dias, expandindo os impactos para a frágil e diversificada região costeira e seus estuários.

Este exemplo, extremo, nos chama a atenção para a importância dos conhecimentos adquiridos neste Capítulo 1. Você, com certeza tem agora muito mais conhecimento sobre ecologia para entender, discutir e propor ações que apoiem o bom funcionamento da natureza através de nossos ecossistemas, garantindo serviços que sejam sustentáveis e duradouros para as futuras gerações.

Conceitos importantes em Ecologia de Ecossistemas - Capítulo 1

Abiótico: aspectos físicos e químicos do meio ambiente, tais como a luz, a temperatura, o vento, entre outros (compare com Biótico).

Algás: seres vivos aquáticos e autótrofos, ou seja, que armazenam energia necessária ao seu metabolismo através da fotossíntese.

Autótrofo: organismo que assimila energia, seja da luz do Sol, seja de compostos inorgânicos (compare com Heterótrofo).

Biodiversidade (Diversidade Biológica): a variabilidade de organismos vivos em todos os níveis do conhecimento biológico, incluindo a variação genética, morfológica e funcional. Compreende a diversidade dentro de espécies, entre espécies e em ecossistemas.

Biótico: aspectos biológicos do meio ambiente ou tudo que é relacionado aos organismos vivos (compare com Abiótico).

Catástrofe: Evento quase sempre imprevisível que tem um efeito fortemente negativo nos ecossistemas do planeta Terra.

Ciclagem de nutrientes: é o movimento de troca de material orgânico e inorgânico para a produção de matéria viva. O processo se desenvolve desde a assimilação de nutrientes por organismos até a liberação por decompositores (bactérias e fungos) para ser assimilado por produtores e reciclado novamente através dos níveis tróficos.

Déficit ecológico: indica recursos consumidos acima do limite sustentável à manutenção da vida.

Degradção ambiental: resultado de processos que diminuem a capacidade dos ecossistemas em sustentar a vida. Esse processo está ligado a alterações de características naturais que afetam o equilíbrio ambiental, modificando a fauna e flora, causando perdas de biodiversidade.

Doenças de veiculação hídrica: enfermidades adquiridas de microrganismos patogênicos e/ou toxinas produzidas por eles que têm sua origem, desenvolvimento ou reprodução ligadas à água.

Economia ecológica: área da economia que estuda a interdependência da economia e dos ecossistemas naturais.

Efluente: são os resíduos provenientes de dejetos de indústrias e/ou domésticos e das redes pluviais que são lançados no meio ambiente na forma de líquidos ou de gases.

Estuário: é a parte terminal de um rio ou lagoa que se encontra em contato com o mar, sofrendo influência das marés e descargas de água doce de terra, possuindo água com mais sais dissolvidos que a água doce e em menor quantidade de sais que a água do mar.

Fitoplâncton: conjunto dos organismos aquáticos microscópicos que têm capacidade fotossintética e que vivem dispersos flutuando na coluna de água (p. ex. algas).

Fotossíntese: síntese de moléculas orgânicas a partir de dióxido de carbono atmosférico e da água, utilizando a luz como fonte de energia (processo realizado por plantas, alguns protistas e algumas bactérias).

Heterótrofo: organismo que utiliza outros organismos ou seus restos como fonte de energia e nutrientes (compare com Autótrofo).

Inorgânico: não possui origem biológica. Compostos formados por átomos de origem mineral (compare com Orgânico).

Matéria Orgânica: compostos químicos formados por moléculas orgânicas encontradas em ambientes naturais.

Orgânico: de origem biológica. Compostos de procedência animal ou vegetal (compare com Inorgânico).

Pegada ecológica: quantidade de recursos naturais necessários à manutenção do padrão de vida no planeta.

Quimiossíntese: síntese de compostos orgânicos a partir do dióxido de carbono que ocorre graças à utilização da energia derivada de reações químicas.

Sustentabilidade: capacidade de suprir as necessidades da atual geração sem comprometer a capacidade de suprir as necessidades das gerações futuras.

Urbanização: é o aumento proporcional da população urbana (cidades) em relação à população rural e às áreas naturais.

- **Para acrescentar seus conhecimentos em Ecologia...**

Referências Bibliográficas - Sugestões de Leitura:

- Constanza, R.; d'Arge, R.; Groot, R.; Fraber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R.; Paruelo, J.; Raskin, R.; Sutton, P.; van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387: 253-260.
- Dodson, S.; Allen, T.; Carpenter, S.; Ives, A.; Jeanne, R.; Kitchell, J.; Langston, N.; Turner, M. 1998. *Ecology*. 1^a edição. New York: Editora Oxford University Press.
- Hoekstra, A.; Wiedmann, T. 2014. Humanity's unsustainable environmental footprint. *Science*. 344 (6188): 1114–1117.
- Millennium Ecosystem Assessment - www.millenniumassessment.org – acesso em 14 fev. 2019.
- Neves, A.; Nunes, F.; Carvalho, F.; Fernandes, G. 2016. Neglect of ecosystems services by mining, and the worst environmental disaster in Brazil. *Natureza e Conservação*. 14 (1); 24-27.
- Odum, E.; Barret, G. 2011. *Ecologia*. 5^a edição. São Paulo: Editora Thompson Pioneira.
- Pegada Ecológica, qual é a sua? - www.inpe.br – acesso em 14 fev. 2019.
- Ricklefs, R. 2010. *A Economia da Natureza*. 6^a edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan.
- Santos, V. O que é ecossistema? - brasilescola.uol.com.br/o-que-e/biologia/o-que-e-ecossistema.html – acesso em 14 fev. 2019.
- Towsend, C.; Begon, M.; Harper, J. 2010. 3^a edição. Porto Alegre: Editora Artmed.
- Wackernagel, M.; Onisto, J.; Bello, P.; Linares, A.; Falfán, I.; Garcia, J.; Guerrero, A; Guerrero, M. 1999. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*. 29 (3): 375-390.



Biocentro Gerdau Germinar

Ouro Branco/MG

Foto: Cézar Félix