

CONCEITOS-CHAVE

CONCEITO 1.1 Os eventos no mundo natural são interligados.

CONCEITO 1.2 Ecologia é o estudo científico das interações entre os organismos e seu ambiente.

CONCEITO 1.3 Os ecólogos avaliam hipóteses concorrentes sobre os sistemas naturais com experimentos, observações e modelos.

ESTUDO DE CASO

Malformação e declínio em populações de anfíbios*

Em agosto de 1995, um grupo de estudantes de escolas de ensino fundamental e médio de Henderson, Minnesota, fez uma horrível descoberta quando coletavam rãs-leopardo (*Rana pipiens*) para um projeto de ciências no verão: 11 das 22 rãs coletadas por eles estavam severamente malformadas. Algumas rãs tinham pernas adicionais ou ausentes, outras tinham pernas atrofiadas ou encurvadas em direções incomuns e ainda outras tinham pernas projetando-se do abdômen ou crescimento ósseo originando-se de suas costas (**Figura 1.1**). Os estudantes relataram seus achados para a agência de controle ambiental do estado de Minnesota, que investigou a lagoa e constatou que 30 a 40% das rãs eram malformadas.

A notícia da descoberta dos estudantes se espalhou rápido, atraindo a atenção da opinião pública e estimulando os cientistas a procurar por malformações semelhantes, em outras regiões do país e em outras espécies de anfíbios. Logo se tornou evidente que o problema era amplamente disseminado. Nos Estados Unidos, indivíduos malformados foram encontrados em 46 estados e em mais de 60 espécies de rãs, salamandras e sapos. Em algumas localidades, mais de 90% dos indivíduos eram malformados. Anfíbios malformados foram encontrados também na Europa, Ásia e Austrália.

Nada semelhante a isso havia sido visto antes. Relatos anteriores de anfíbios malformados eram limitados a poucos indivíduos (menos de 5%) e poucos locais. Ao alarme causado pelas horríveis malformações somaram-se as observações, começando no final da década de 1980, de outra tendência perturbadora: as populações de anfíbios pareciam estar em declínio em todo o globo. Até 1993, já havia o registro de que mais de 500 populações de rãs e salamandras ao redor do mundo estavam decrescendo em tamanho ou ameaçadas de extinção. Em alguns casos, a espécie inteira estava em perigo; ao redor do globo, centenas de espécies se extinguíram, desapareceram ou ficaram ameaçadas (**Figura 1.2**). Desde 1980, ao menos 9 espécies de anfíbios tornaram-se extintas. Adicionalmente, 113 espécies não têm sido mais avis-tadas desde então e têm sido dadas como “provavelmente extintas” (IUCN – Global Amphibian Assessment, 2004).

Espécies de outros grupos de organismos também demonstravam sinais de declínio, mas os cientistas estavam especialmente preocupados com os anfíbios por três razões. Primeiro, o declínio parecia ter começado recentemente ao longo de amplas regiões do mundo. Segundo, algumas das populações em declínio estavam localizadas em regiões intocadas ou protegidas, aparentemente longe dos efeitos das atividades humanas. Terceiro, muitos cientistas veem os anfíbios como bons “indicadores biológicos” das condições ambientais por inúmeras razões. Os anfíbios apresentam pele permeável, sem pelos, escamas ou penas para protegê-la; seus ovos não têm casca nem outro tipo de cobertura protetora. Além disso, a maioria dos anfíbios passa parte de suas vidas na água e parte no meio terrestre, de modo a estarem expostos a uma ampla

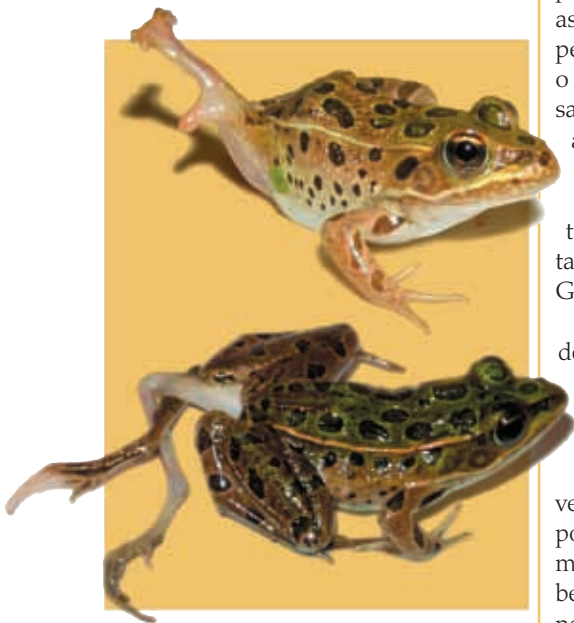


FIGURA 1.1 Rãs-leopardo malformadas

Com pernas adicionais, malformadas ou ausentes, estes indivíduos apresentam vários tipos de malformações dos membros posteriores, as quais têm se tornado comuns em rãs-leopardo e em outras espécies de anfíbios.

* N. de T. Os termos da língua inglesa *deformity* e *deformed* foram traduzidos respectivamente para “malformação” e “malformado”, uma vez que no caso não se trata de deformação *a posteriori* do membro já plenamente formado, mas sim de formação anormal, na origem, deste membro.

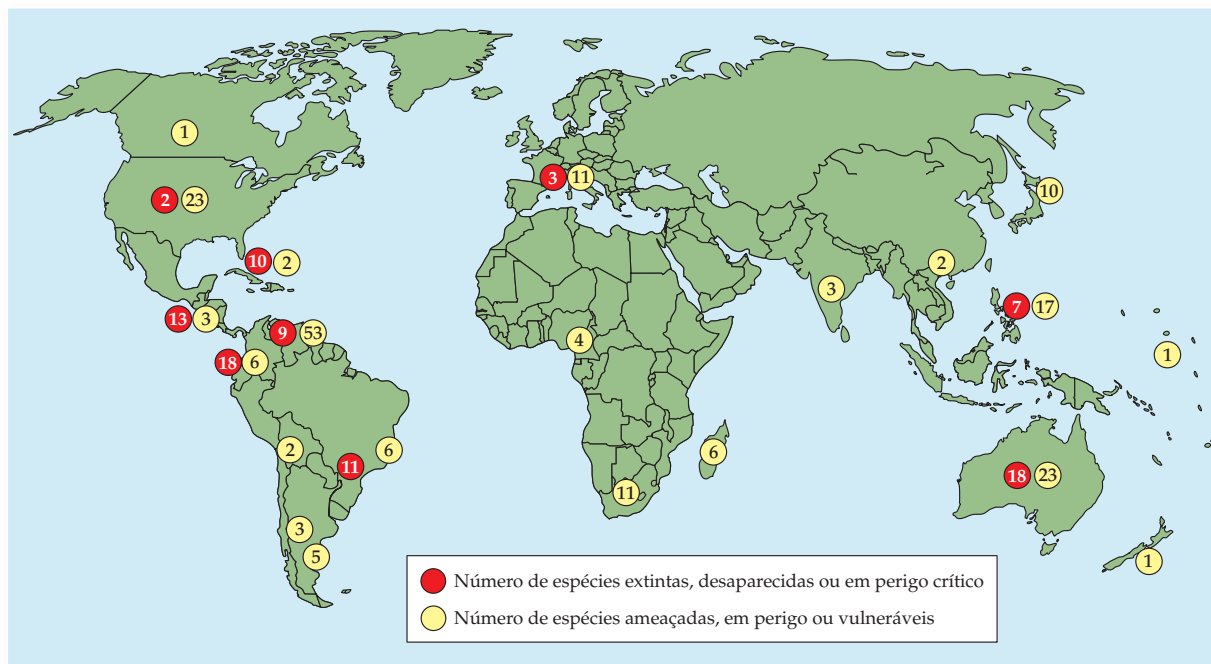


FIGURA 1.2 Anfíbios em declínio Em muitas regiões do mundo, as espécies de anfíbios enfrentam um crescente risco de extinção.

gama de ameaças potenciais, incluindo poluição aquática e atmosférica, bem como variações na temperatura e na quantidade de radiação ultravioleta (UV) em seu ambiente. Muitos anfíbios nunca se distanciam demais de seus locais de nascimento; portanto, o declínio de uma população local provavelmente indica a deterioração das condições ambientais locais.

Pelo fato dos anfíbios em todo o mundo estarem mostrando números declinantes e malformações frequentes, os cientistas inicialmente tentaram encontrar uma ou mais causas globais que pudessem explicar esses problemas. Entretanto, como veremos neste capítulo, a história tornou-se mais complicada: não apareceu uma única evidência incontestável. O que, então, tem causado o declínio global das populações de anfíbios?

Nós, humanos, exercemos enorme impacto em nosso planeta. Transformamos aproximadamente metade da superfície terrestre, alteramos a composição da atmosfera, levando à mudança climática global. Introduzimos muitas espécies em novas regiões, ação que pode ter um efeito negativo severo tanto nas espécies nativas como na economia humana. Mesmo os oceanos – aparentemente tão vastos – mostram muitos sinais de deterioração devido às atividades humanas, incluindo o declínio dos estoques pesqueiros, a perda de outrora espetaculares recifes de corais e a formação de extensas “zonas mortas”, regiões onde os níveis de oxigênio são muito baixos para sustentar a vida marinha.

Mas as pessoas não afetam apenas o ambiente global – somos parte desse ambiente. Apesar disso, muitas vezes praticamos ações que afetam o nosso ambiente, sem considerar como os seus sistemas naturais funcionam. Felizmente, estamos começando a perceber que devemos compreender esses sistemas de modo a antecipar as consequências de nossas ações e

consertar os problemas que já causamos. Nossa crescente percepção que devemos compreender como os sistemas naturais funcionam nos conduz ao tema deste livro. Os sistemas naturais são governados pelos modos com que os organismos interagem entre si e com o seu ambiente físico. Portanto, para compreender como os sistemas naturais funcionam devemos compreender *ecologia*, o estudo científico de como os organismos afetam – e são afetados por – outros organismos e seu ambiente.

Neste capítulo, introduziremos o estudo da ecologia e sua relevância para as sociedades humanas. Começaremos explorando um tema que permeia todo este livro: as conexões na natureza.

Conexões na natureza

CONCEITO 1.1

Os eventos no mundo natural são interligados.

A partir do que lemos ou observamos sobre a natureza, podemos pensar em exemplos que ilustram a frase *conexões na natureza*. Neste livro, usamos essa expressão para nos referirmos ao fato que os eventos no mundo natural podem estar ligados ou conectados uns aos outros. Essas conexões ocorrem quando os organismos interagem uns com os outros e com o ambiente. Isso não significa necessariamente que exista uma forte conexão entre todos os organismos que vivem em determinada área. Duas espécies podem viver na mesma área e exercer pouca influência uma sobre a outra. Porém, todos os organismos estão conectados às características do ambiente – eles não só requerem alimento, espaço e outros recursos, como também interagem com outras espécies e o ambiente físico ao buscarem aquilo de que necessitam para viver. Como resultado, mesmo espécies que não interagem diretamente entre si podem estar conectadas ao compartilhar características do ambiente.

As conexões na natureza são reveladas quando os ecólogos formulam questões sobre o mundo natural e examinam o que aprenderam. Para ilustrar o que esse processo pode nos ensinar acerca das conexões na natureza, vamos retornar à nossa discussão sobre as malformações em anfíbios.

Observações prévias sugerem que as malformações em anfíbios são causadas por parasitos

Nove anos antes que os estudantes de Minnesota fizessem sua alarmante descoberta, Stephen Ruth estava explorando lagoas ao norte da Califórnia quando encontrou rãs-arborícolas-do-pacífico (*Hyla regilla*) e salamandras-de-dedos-longos (*Ambystoma macrodactylum*) com pernas adicionais, ausentes e outras malformações. Ele solicitou a Stanley Sessions, especialista em desenvolvimento de membros de anfíbios, para examinar seus espécimes grotescos. Sessions constatou que todos os anfíbios malformados continham um parasito, atualmente conhecido como *Ribeiroia ondatrae*, um verme chato trematódeo. Sessions e Ruth presumiram que esse parasito era o causador das malformações. Eles tentaram implantar pequenas contas de vidro próximo aos botões germinativos dos membros de girinos. Essas contas foram concebidas para simular o efeito do parasito, o qual frequentemente produz cistos, próximo à área onde as pernas são formadas, quando o girino inicia sua metamorfose em rã adulta. Em artigo publicado em 1990, eles relataram que as contas haviam causado malformações similares às encontradas por Ruth.

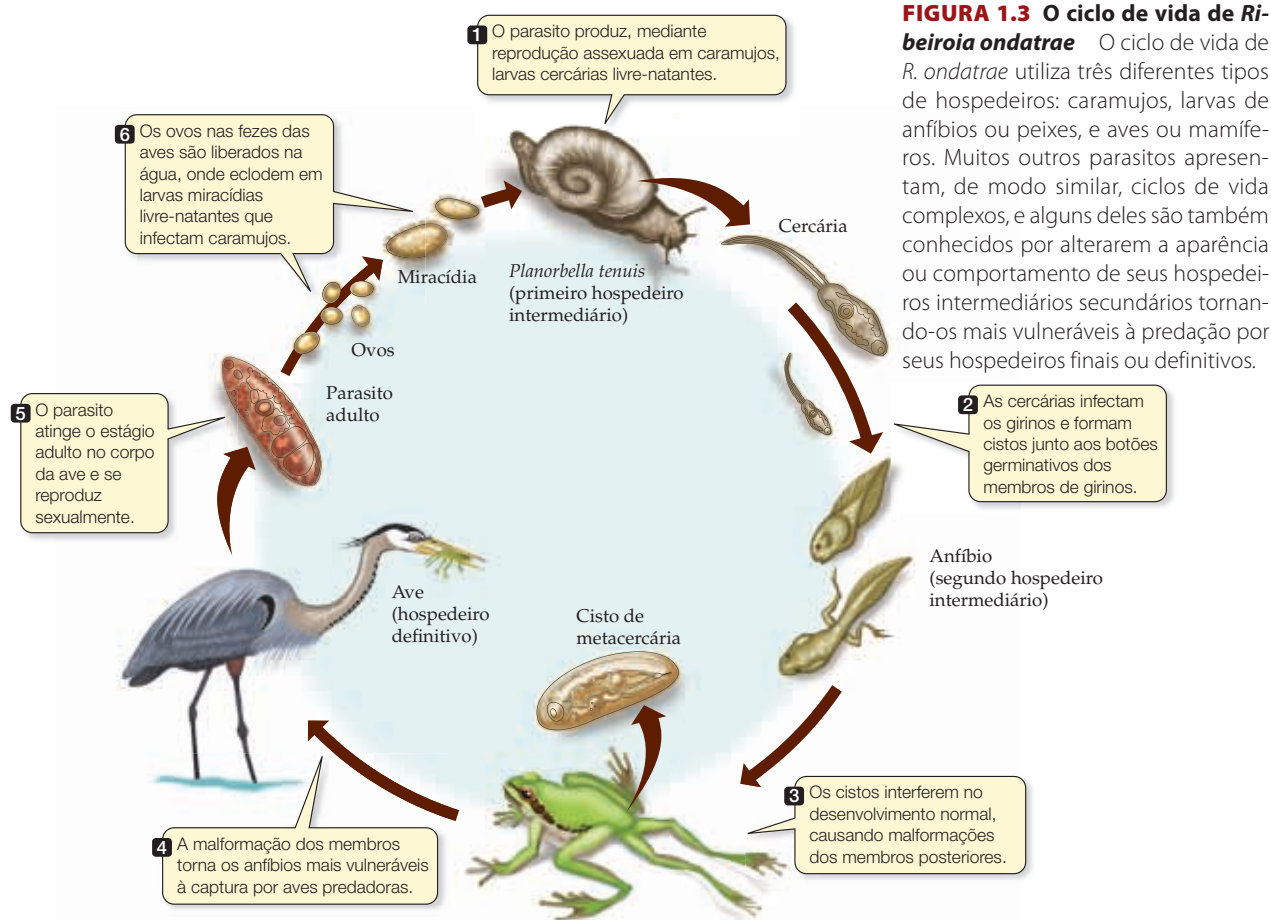
Um experimento em laboratório testa o papel dos parasitos

Quando Ruth encontrou anfíbios malformados em meados da década de 1980, presumiu (de maneira razoável) que se tratava de um fenômeno isolado e local. Em 1996, Pieter Johnson, então um estudante da Universidade de Stanford, ouviu falar do achado dos estudantes de Minnesota e do artigo de Sessions e Ruth. Embora Sessions e Ruth tivessem fornecido evidências indiretas que *R. ondatrae* pudesse causar malformações em anfíbios, eles não infectaram *H. regilla* ou *A. macrodactylum* com *R. ondatrae*, demonstrando dessa forma que a infecção pelo parasito resultava em malformações. Além disso, não era conhecido que indivíduos das duas espécies de anfíbios usadas nesses experimentos (a rã-de-garras africana, *Xenopus laevis*, e a salamandra-axolotle, *A. mexicanum*) apresentassem na natureza malformações dos membros posteriores. Com base no trabalho de Sessions e Ruth (1990), Johnson e colaboradores planejaram um teste mais rigoroso para saber se *R. ondatrae* poderia causar malformações de membros em anfíbios.

Eles começaram examinando trinta e cinco lagoas no condado de Santa Clara, Califórnia. Eles encontraram as rãs-arborícolas-do-pacífico em treze lagoas, quatro delas contendo rãs malformadas. Concentrando-se em duas dessas quatro lagoas, eles observaram que 15 a 45% dos girinos em metamorfose tinham pernas adicionais ou outras malformações (Johnson et al., 1999). Uma fonte de interesse era que as malformações pudessem ser causadas por poluentes, tais como agrotóxicos, bifenilas policloradas (PCBs) ou metais pesados. Entretanto, nenhuma dessas substâncias foi encontrada na água dessas duas lagoas. Além disso, o problema não parecia ter base genética, uma vez que 200 ovos de *H. regilla* coletados nas duas lagoas se desenvolveram normalmente quando levados para o laboratório.

Então, Johnson e colaboradores voltaram sua atenção para outros fatores que pudessem causar essas malformações. Conscientes que Sessions e Ruth haviam presumido que os parasitos poderiam ser a causa, eles observaram que, das trinta e cinco lagoas examinadas, as quatro lagoas com rãs anormais eram as únicas que continham tanto as rãs arborícolas como o caramujo aquático *Planorbella tenuis*. Esse caramujo é o hospedeiro intermediário no ciclo de vida do parasito *R. ondatrae* (Figura 1.3). Além disso, dissecações de rãs anormais coletadas a partir das duas lagoas exibiram cistos de *R. ondatrae* em todas as rãs com membros malformados.

À semelhança dos achados de Sessions e Ruth, os resultados descritos no parágrafo anterior proporcionaram evidências indiretas que *R. ondatrae* causava as



malformações nas rãs-arborícolas-do-pacífico. A seguir, Johnson e colaboradores voltaram novamente ao laboratório para testar se essa ideia era realmente correta. Eles fizeram isso utilizando um enfoque científico padronizado: realizaram um **experimento controlado** no qual um *grupo experimental* (aquele que recebeu o fator a ser testado) é comparado com um *grupo-controle* (em que o fator a ser testado não é aplicado). Johnson e colaboradores coletaram ovos de *H. regilla* em uma região em que não havia relatos de rãs malformadas, trouxeram esses ovos para o laboratório e colocaram os girinos que eclodiram deles em recipientes individuais de 1 litro. A cada girino foi então aplicado ao acaso um dos quatro *tratamentos*, nos quais 0 (grupo-controle), 16, 32 ou 45 parasitos *R. ondatrae* foram colocados nos seus recipientes; esses números foram selecionados por corresponder aos níveis de parasitos que haviam sido observados em campo.

Johnson e colaboradores constataram que quando o número de parasitos aumentava, menos girinos sobreviviam à metamorfose e mais sobreviventes tinham malformações (**Figura 1.4**). No grupo-controle (sem *R.*

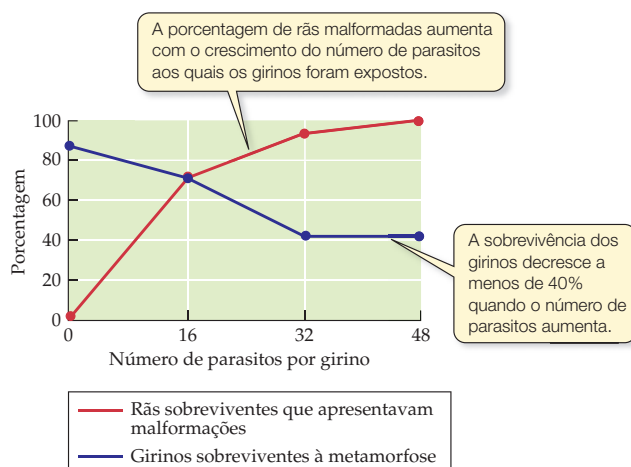


FIGURA 1.4 Parasitos podem causar malformações em anfíbios O gráfico mostra a relação entre o número de parasitos *R. ondatrae* ao qual girinos foram expostos e suas taxas de sobrevivência e de malformação. (Johnson et al., 1999.)

ondatrae), entretanto, 88% dos girinos sobreviveram e nenhum tinha malformação (Johnson et al., 1999). O elo havia sido formado: *R. ondatrae* podia causar malformações em rãs. Além disso, uma vez que a exposição a *R. ondatrae* matou mais de 60% dos girinos, os resultados também sugeriram que os parasitos poderiam contribuir para o declínio dos anfíbios.

Um experimento de campo sugere que múltiplos fatores influenciam as malformações em rãs

Poucos anos após Johnson e colaboradores publicarem seus resultados, cientistas demonstraram que os parasitos *R. ondatrae* poderiam causar malformações de membros em outras espécies de anfíbios, incluindo sapos-do-oeste (*Bufo boreas*), rãs-dos-bosques (*Rana sylvatica*) e rãs-leopardo (*R. pipiens*, espécie na qual os estudantes de Minnesota haviam descoberto as malformações). Enquanto *R. ondatrae* era claramente importante, pesquisadores também suspeitavam que outros fatores também pudessem contribuir. Era sabido, por exemplo, que algumas lagoas nas quais foram encontradas rãs malformadas estavam contaminadas por agrotóxicos. Para examinar o efeito simultâneo dos parasitos e de agrotóxicos, Joseph Kiesecker, então na Universidade do Estado da Pennsylvania, conduziu um experimento de campo em seis lagoas, todas contendo *R. ondatrae*, porém somente algumas contendo agrotóxicos (Kiesecker, 2002).

Três das lagoas no estudo de Kiesecker estavam próximas a lavouras. A análise da água indicou que cada uma dessas lagoas continha níveis detectáveis de defensivos agrícolas; as outras três lagoas não eram tão próximas a campos cultivados e nenhuma delas apresentava níveis detectáveis de defensivos. Em cada uma das seis lagoas, Kiesecker colocou girinos de rãs dos bosques em gaiolas feitas em malha através da qual a água podia fluir, mas os girinos não podiam escapar. Seis gaiolas foram colocadas em cada lagoa; três dessas gaiolas tinham uma malha através da qual o parasito *R. ondatrae* podia passar, enquanto as outras três tinham malha muito estreita para o parasito. Portanto, em cada lagoa, os girinos estavam expostos aos parasitos em três gaiolas, enquanto nas outras três os girinos não estavam.

Os resultados mostraram que, a campo, *R. ondatrae* causou malformações dos membros posteriores (**Figura 1.5**). Nenhuma malformação foi encontrada em rãs criadas em gaiolas cujo pequeno tamanho da malha (75 µm) impediu a entrada de *R. ondatrae*, independente da lagoa onde a gaiola estava. As malformações foram encontradas em algumas rãs criadas em gaiolas cuja malha de maior tamanho (500 µm) permitiu a entrada de *R. ondatrae*. Entretanto, uma maior porcentagem de

rãs tinha malformações (29% *versus* 4%) em lagoas que continham agrotóxicos do que em lagoas que não continham agrotóxicos. Além disso, dissecações revelaram que cada rã com uma malformação estava infectada por *R. ondatrae*. Resumindo, os resultados deste experimento indicaram que (1) a exposição à *R. ondatrae* foi necessária para as malformações ocorrerem, e (2) quando as rãs foram expostas à *R. ondatrae*, as malformações foram mais comuns em lagoas com níveis detectáveis de agrotóxicos do que em lagoas sem níveis detectáveis de agrotóxicos.

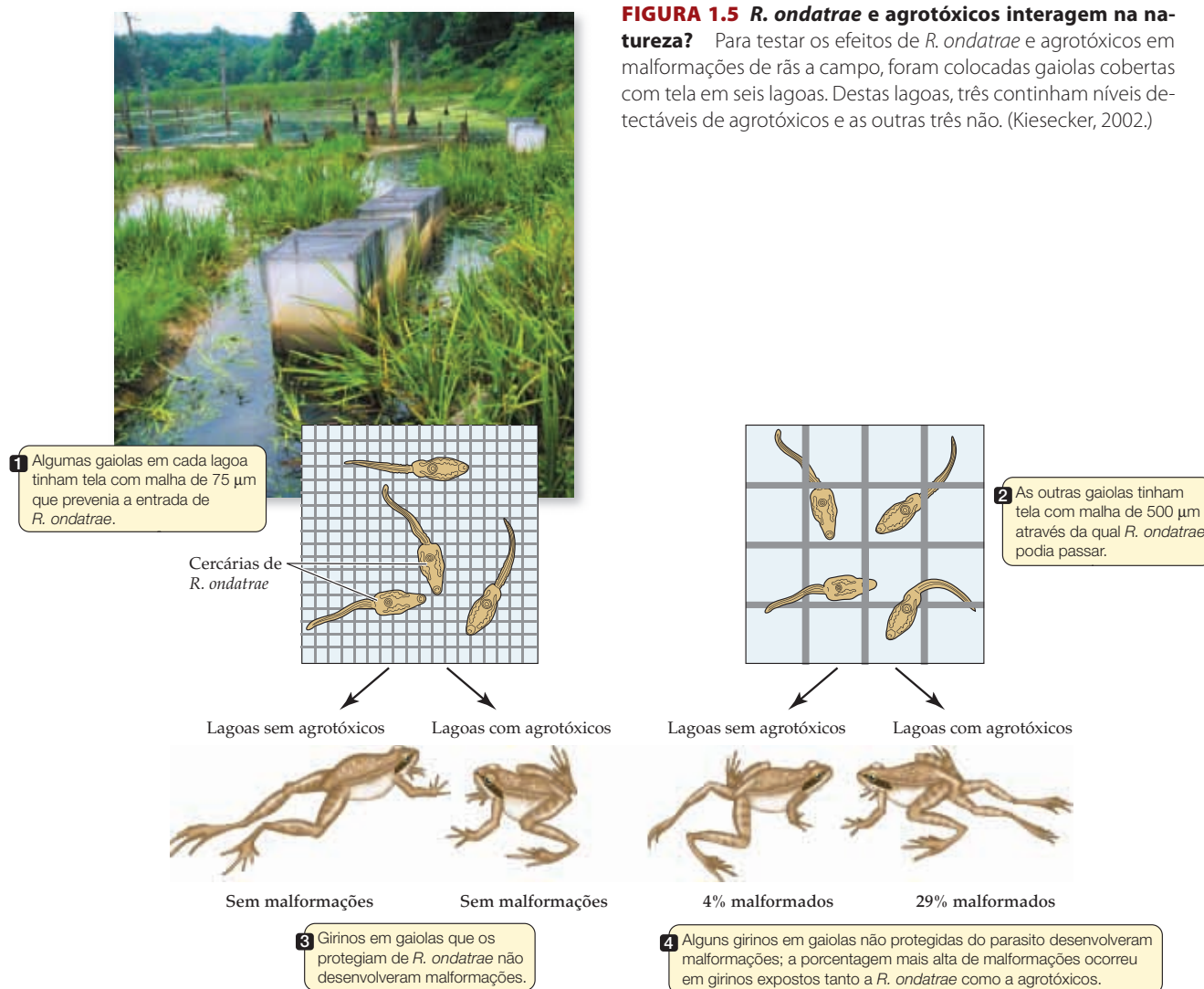
Baseado nesses resultados, Kiesecker formulou a hipótese que os agrotóxicos poderiam reduzir a capacidade das rãs resistirem à infecção por parasitos. Para examinar se os agrotóxicos tinham tal efeito, Kiesecker (2002) levou girinos de rãs dos bosques para o laboratório, onde ele criou algumas em um ambiente com agrotóxicos e outras em um ambiente sem agrotóxicos. Os girinos expostos aos agrotóxicos tinham menos células brancas do sangue (indicando sistema imune deprimido) e maior taxa de formação de cistos de *R. ondatrae* (**Figura 1.6**). Juntos, os resultados de laboratório e de campo de Kiesecker sugerem que a exposição a agrotóxicos pode afetar a frequência com a qual os parasitos causam malformações em populações de anfíbios.

As conexões na natureza podem levar a efeitos colaterais imprevisíveis

Como já vimos, a causa imediata das malformações em anfíbios é, com frequência, a infecção pelo parasito *R. ondatrae*. Mas, também já vimos na página 2 que as malformações em anfíbios estão ocorrendo com mais frequência atualmente do que no passado. Por que a frequência de malformações em anfíbios aumentou?

Uma possível resposta é sugerida pelos resultados de Kiesecker (2002): defensivos agrícolas em lagoas podem reduzir a capacidade dos anfíbios de evitar o ataque de parasitos, resultando que as malformações são mais prováveis em ambientes que contêm defensivos agrícolas. Os primeiros agrotóxicos sintéticos foram desenvolvidos no final da década de 1930, e seu uso tem aumentado drasticamente desde então. Portanto, é provável que a exposição dos anfíbios aos agrotóxicos tenha aumentado consideravelmente em anos recentes, o que ajuda a explicar o recente aumento na frequência de malformações nesses animais. Se esse cenário mostrar-se correto, ele ilustra como uma ação qualquer (o aumento do uso de agrotóxicos pelo ser humano) pode ter um efeito colateral imprevisível (maior frequência de malformações em anfíbios).

Outras alterações ambientais podem também contribuir para o aumento observado nas malformações



em anfíbios. Por exemplo, os cientistas têm relatado casos nos quais *R. ondatrae* e as frequentes malformações em anfíbios são encontradas em lagoas artificiais (açudes para armazenar água para o gado ou culturas agrícolas) dominadas por algas. O mecanismo suspeito nesse caso é o uso de fertilizantes. A chuva ou o degelo da neve pode carregar os fertilizantes de um campo agrícola para um açude. O influxo de fertilizantes muitas vezes estimula o aumento do crescimento das algas, e o caramujo que hospeda os parasitos *R. ondatrae* alimenta-se de algas. Portanto, quando as algas aumentam em número os caramujos hospedeiros de *R. ondatrae* também aumentam, o que tende a elevar o número desse parasito encontrado no açude. Aqui, uma cadeia de eventos que começa com o aumento do uso de fertilizantes por seres humanos culmina com o aumento do número de *R. ondatrae* e, portanto, com o aumento no número de anfíbios malformados.

Como ilustrado por essas possíveis causas para o aumento na frequência de malformações em anfíbios em anos recentes, os eventos no mundo natural são conectados uns aos outros. Uma ação ou evento pode estimular outro evento, que por sua vez pode causar uma série de outros eventos.

Vivemos em um mundo ecológico

Devido ao fato de os eventos na natureza serem interligados, quando o ser humano altera algum aspecto do ambiente pode causar outras alterações não desejadas e imprevistas. Como já vimos, as evidências atuais sugerem que as malformações em anfíbios tornaram-se mais comuns em parte devido às alterações feitas por seres humanos em lagos, lagoas e cursos d'água nos quais vivem os anfíbios. Quando aumentamos o uso de defensivos e fertilizantes, não é nossa intenção au-

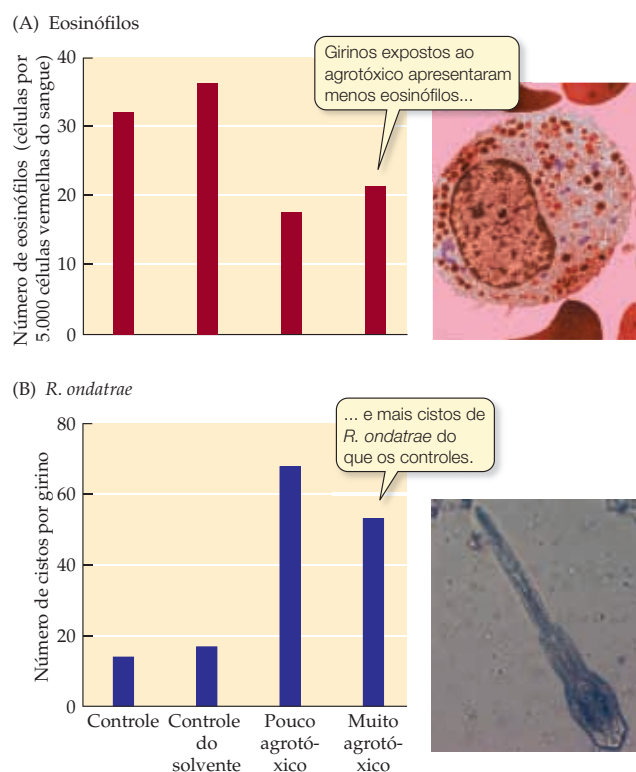


FIGURA 1.6 Defensivos agrícolas podem enfraquecer o sistema imune de girinos

Em um experimento em laboratório, alguns girinos de rãs do bosque (*Rana sylvatica*) foram expostos a baixas e altas concentrações do agrotóxico esfenvalerato e após expostos a 50 parasitos *R. ondatrae* por girino. Nos girinos foram então examinados o (A) número de eosinófilos (tipo de célula branca do sangue usada na resposta imune) e (B) número de cistos de *R. ondatrae*. Dois tipos de controle contra os quais os efeitos dos agrotóxicos puderam ser comparados foram usados: em um somente os parasitos foram adicionados aos recipientes contendo os girinos ("controle") e outro no qual tanto os parasitos como o solvente usado para dissolver o agrotóxico foi adicionado ("controle do solvente"). O objetivo do segundo controle foi avaliar os possíveis efeitos do solvente. (Kiesecker, 2002.)

mentar a frequência de malformações em rãs; entretanto, parece que é justamente isso que fizemos.

Os efeitos indiretos das ações humanas incluem mais do que malformações bizarras em rãs. Por exemplo, algumas alterações que fazemos em nosso ambiente local e global parecem ter aumentado os riscos à saúde dos seres humanos. O represamento de rios na África tem criado condições favoráveis para caramujos que hospedam trematódeos parasitos causadores de esquistossomose, aumentando assim a propagação de uma infecção que pode debilitar ou matar pessoas. Globalmente, nas últimas décadas, temos visto um aumento no surgimento e disseminação de novas epidemias, tais como a AIDS, doença de Lyme, síndrome pulmonar

por hantavírus, Ebola e febre do Nilo Ocidental (**Figura 1.7**). Muitos especialistas em saúde pública acreditam que os efeitos das ações humanas sobre o ambiente têm contribuído para a emergência dessas e de outras novas epidemias (Weiss e McMichael, 2004).

Se você vive em uma cidade, pode esquecer facilmente o quanto cada coisa que você faz depende da natureza. Sua casa ou apartamento abriga você das intempéries e o mantém aquecido no inverno e fresco no verão. De modo semelhante, você obtém alimento na mercearia, roupas na boutique ou na loja de departamentos, água da torneira. Em última análise, porém, cada um desses itens – e qualquer coisa que você faça ou possua – provém ou depende do ambiente natural. Não importa quão longe do mundo natural nossas atividades diárias nos mantenham: o ser humano, assim como todos os outros organismos sobre a Terra, faz parte de uma rede interligada de vida. Vamos nos dedicar agora ao estudo dessas conexões, a disciplina científica da *ecologia*.

Ecologia

CONCEITO 1.2

Ecologia é o estudo científico das interações entre os organismos e seu ambiente.

Neste livro, **ecologia** é definida como o estudo científico das interações entre organismos e seu ambiente. Essa definição pretende incluir as interações dos organismos com os outros organismos, pois, como já vimos, os organismos são uma parte importante do ambiente dos outros organismos. A ecologia também pode ser definida em uma série de outros modos; por exemplo, como o estudo científico das interações que determinam a distribuição (localização geográfica) e a abundância dos organismos. Como se tornará claro à medida que você ler este livro, essas definições de ecologia podem estar relacionadas a outras, e cada uma enfatiza diferentes aspectos da disciplina. Um ponto muito importante para o nosso propósito aqui, entretanto, é que o termo "ecologia", quando usado por ecólogos, se refere a uma atividade científica.

Enfatizamos esse ponto porque "ecologia" tem outros significados em seu uso público. As pessoas não cientistas podem entender que o "ecólogo" é um ativista político. Alguns ecólogos são ativistas, mas muitos não o são. Além disso, como disciplina científica, a ecologia está relacionada a – embora diferente de – outras disciplinas como a ciência ambiental. A ecologia é um ramo da biologia, enquanto a **ciência ambiental** é um campo interdisciplinar que incorpora conceitos das ciências naturais (incluindo a ecologia) e as ciências sociais (por

exemplo, política, economia, ética). Comparadas à ecologia, as ciências ambientais se concentram mais especificamente em como o ser humano afeta o ambiente e em como podemos resolver os problemas ambientais. Enquanto um ecólogo pode examinar a poluição como um dos vários fatores que influenciam o sucesso reprodutivo de plantas de áreas úmidas, um cientista ambiental pode tentar desenvolver um novo processo industrial que cause menos poluição.

As opiniões pública e profissional sobre ecologia frequentemente diferem

Sondagens têm mostrado que muitas pessoas creem que (1) há um “**equilíbrio na natureza**”, no qual os sistemas naturais são estáveis e tendem a retornar ao estado original, preferencial após um distúrbio, e que (2) cada espécie na natureza exerce um papel definido na manutenção desse equilíbrio. Tais ideias acerca dos sistemas ecológicos podem ter implicações morais ou éticas para as pessoas que as defendem. Por exemplo, a visão de que cada espécie tem uma função definida pode levar as pessoas a pensarem que cada espécie é importante e insubstituível, o que por sua vez pode levar as pessoas a sentirem que é errado prejudicar outras espécies. Como sintetizado por uma entrevista feita em um levantamento sobre o significado de ecologia (Uddenberg et al., 1995, citado por Westoby, 1997): “Há um certo equilíbrio na natureza, e há um lugar para cada espécie. Há uma razão para a sua existência e não temos o direito de exterminá-las”.

Os pontos de vista públicos sobre o equilíbrio da natureza e o papel único de cada espécie não é surpreendente, uma vez que esse ponto de vista já foi uma vez defendido por muitos ecólogos. Entretanto, atualmente os ecólogos reconhecem que a flutuação é uma parte integral dos sistemas naturais e que aparentemente perturbações aleatórias muitas vezes exercem um papel importante nesses sistemas. Além disso, como veremos na Unidade 4, as evidências atuais sugerem que as diferentes espécies em uma área frequentemente respondem de modos diferentes às alterações nas condições ambientais, concepção em desacordo

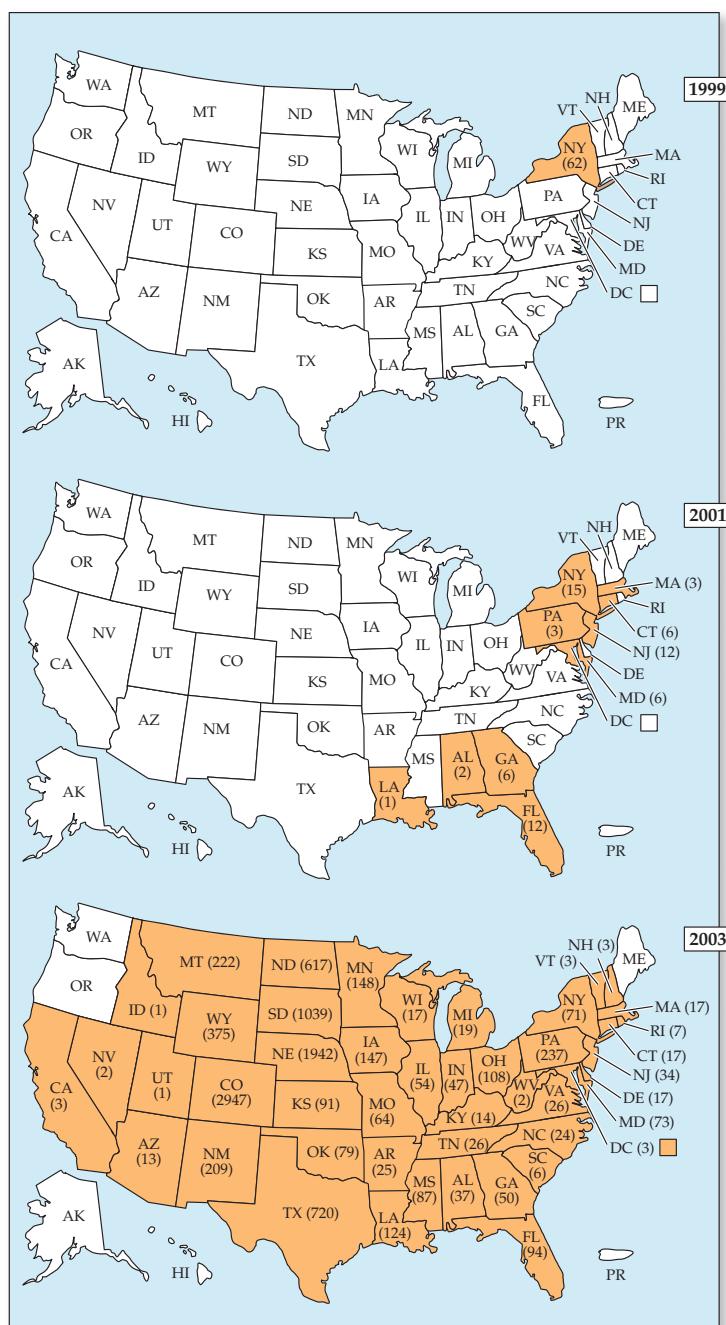


FIGURA 1.7 A rápida expansão de uma doença fatal No período de 5 anos, a febre do Nilo Ocidental (áreas sombreadas) espalhou-se a partir do ponto de entrada na América do Norte (cidade de Nova Iorque) a todos com exceção de três de 48 estados dos EUA (Washington, Oregon e Maine). As aves são os hospedeiros primários do vírus do Nilo Ocidental, o que ajuda a explicar sua rápida disseminação. Mosquitos transmitem a doença das aves e outros animais hospedeiros para o ser humano. Os números em parênteses indicam o número de casos humanos.

com a ideia que cada espécie tem um papel específico dentro de um grande grupo rigidamente interligado de espécies. Portanto, a menos que forneçam cuidadosas qualificações, poucos ecólogos falam atualmente em um equilíbrio da natureza ou da função de cada espécie.

Enquanto concepções sobre o equilíbrio da natureza e a função única de cada espécie não resistiram à prova do tempo, outras ideias se mantiveram. Particularmente, os primeiros ecólogos e os atuais concordariam que os eventos na natureza são interligados. Disso resulta que uma alteração em uma parte do sistema ecológico pode alterar outras partes do sistema, incluindo aquelas que governam os processos que sustentam a vida, como a purificação e o suprimento contínuo de ar, água e solo.

As interações na natureza formam a base para a primeira das sete máximas ecológicas que vamos mencionar neste livro, a saber: “Nunca é possível fazer apenas uma coisa” (ver **Tabela 1.1** para a lista completa). Essa máxima sugere que todas as ações têm múltiplos efeitos, pois na natureza os eventos são interligados. Resumindo, embora o mundo natural talvez não seja tão estático ou tão rigidamente entrelaçado como os primeiros ecólogos supunham, as espécies são conectadas umas às outras. Para algumas pessoas, o fato de que os eventos na natureza são interconectados fornece um imperativo ético para a proteção dos sistemas naturais. Uma pessoa que sente a obrigação ética para proteger a vida humana, por exemplo, também pode sentir a obrigação ética para proteger os sistemas naturais dos quais a vida humana depende.

O escopo da ecologia é amplo

Os ecólogos estudam as interações na natureza em vários níveis de organização biológica (**Figura 1.8**). Alguns ecólogos estão interessados em como determinados genes ou proteínas possibilitam os organismos a responder aos desafios do ambiente. Outros ecólogos estudam como hormônios influenciam interações sociais, ou como tecidos especializados ou sistemas de órgãos permitem aos animais resistir a ambientes extremos. Entretanto, mesmo entre ecólogos cuja pesquisa está focalizada em níveis inferiores de organização biológica (por exemplo, de moléculas a sistemas de órgãos), em geral os estudos ecológicos enfatizam um ou mais dos seguintes níveis: organismos, populações, comunidades e ecossistemas.

Uma **população** é um grupo de indivíduos de uma única espécie que vive em determinada área e que interagem uns com os outros. Muitos dos temas centrais em ecologia dizem respeito a questões sobre como e porque os locais e a quantidade das populações mudam ao longo do tempo. Para responder a essas questões, muitas vezes, é útil entender o papel exercido

TABELA 1.1 Algumas máximas ecológicas

1. Nunca é possível fazer só uma coisa.
Os organismos interagem com os outros organismos e com o ambiente físico. Como resultado, os eventos na natureza são interligados, e o que afeta um organismo e lugar também pode afetar outros organismos e lugares.
2. Tudo vai parar em algum lugar.
Não há um lugar “remoto” no qual resíduos indesejáveis desaparecem.
3. Nenhuma população consegue crescer indefinidamente.
Há limites para o crescimento e utilização de recursos de cada população, inclusive da nossa.
4. Não há almoço grátis.
A energia e os recursos de um organismo são finitos; o influxo crescente em uma função (tal como a reprodução) resultará em um *trade-off** no qual há uma perda para outras funções (tal como o crescimento).
5. A evolução é importante.
Os organismos evoluem ou mudam com o tempo – é um erro vê-los como estáticos. A evolução é um processo contínuo, pois os organismos enfrentam continuamente novos desafios frente às mudanças tanto nos componentes bióticos como abióticos do ambiente.
6. O tempo é importante.
Os ecossistemas mudam com o tempo. Quando vemos o mundo como o conhecemos é fácil esquecer como os eventos do passado moldaram o nosso presente e como as nossas ações atuais podem afetar o futuro.
7. A vida seria impossível sem interações entre as espécies.
As espécies dependem umas das outras para obtenção de energia, recursos e habitat.

pelas outras espécies. Portanto, muitos ecólogos estudam a natureza no nível de **comunidade**, que consiste numa associação de populações de diferentes espécies que interagem e vivem na mesma área. As comunidades podem distribuir-se em áreas grandes ou pequenas e podem diferir muito em termos do número e do tipo de espécies que as constituem (**Figura 1.9**).

Os estudos ecológicos nos níveis de populações e comunidades frequentemente examinam os efeitos de componentes do ambiente físico. Por exemplo, os ecólogos interessados em fatores que influenciam a dinâmica de populações costumam indagar se propriedades do ambiente (como temperatura, precipitação, nutrientes ou pH) influenciam fertilidade ou sobrevivência. Outros ecólogos estão interessados particularmente em como os ecossistemas funcionam. **Ecosis-**

* N. de T. Não existe termo específico em português. *Trade-off* designa as relações em que o aumento em *fitness* de uma característica está associado à redução em *fitness* de outra característica.

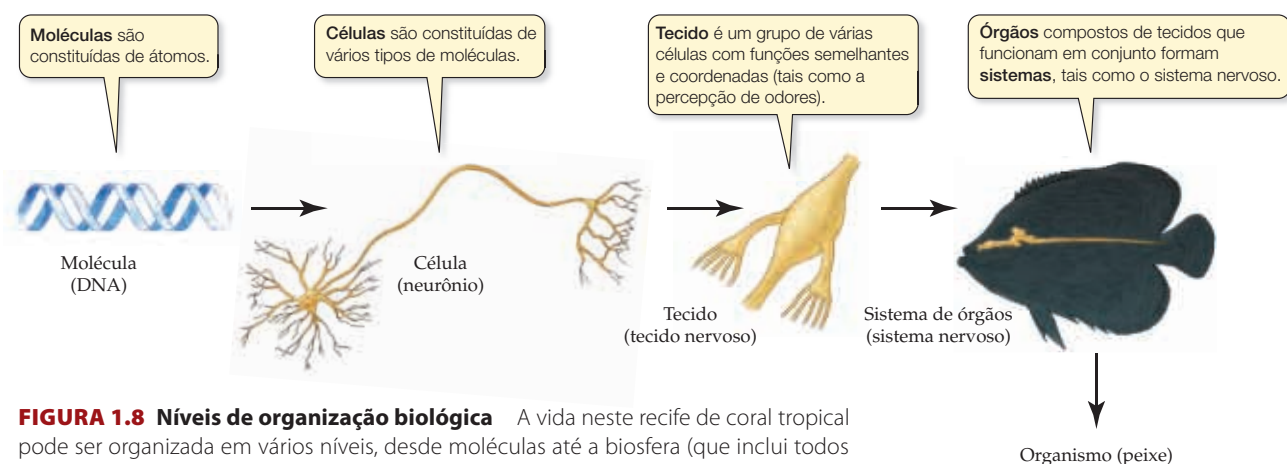


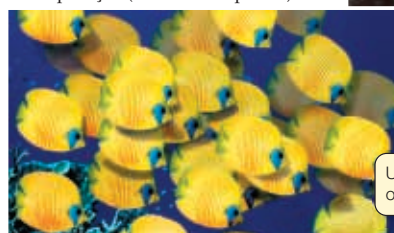
FIGURA 1.8 Níveis de organização biológica A vida neste recife de coral tropical pode ser organizada em vários níveis, desde moléculas até a biosfera (que inclui todos os ecossistemas da Terra). Estes níveis estão embutidos um dentro do outro, de modo que cada nível é composto de grupos das unidades encontradas no nível que o precede.

tema é uma comunidade de organismos mais o ambiente físico no qual eles vivem. Um ecólogo ao estudar ecossistemas pode querer saber de que modo as taxas em que substâncias químicas entram no ambiente físico em determinado local afetam as espécies encontradas nesse ambiente. Por exemplo, estudando as malformações em anfíbios, um ecólogo poderia investigar como a adição de fertilizantes em um açude afeta tanto o crescimento de algas como a presença de parasitos que causam as malformações. Os padrões globais de circulação do ar e da água (*ver* Capítulo 2) unem todos os ecossistemas do mundo em um ecossistema gigante, a **biosfera**, a qual consiste em todos os organismos vivos da Terra somados ao ambiente em que vivem. A biosfera constitui o nível mais elevado de organização biológica. Atualmente, os ecólogos trabalham de vários modos para ajudar a assegurar que as ações humanas não prejudiquem os sistemas naturais dos quais depende a vida. Tais esforços podem ser direcionados para qualquer nível de organização biológica, mas, como veremos na Unidade 6, os ecólogos buscam, de modo crescente, entender o grande cenário: como a biosfera funciona.

A escala de um estudo ecológico influencia o que pode ser aprendido a partir dele

Quando estudam indivíduos ou a biosfera – ou qualquer nível intermediário – os ecólogos sempre traçam limites em torno daquilo que observam. Um ecólogo interessado em malformações em rãs pode ignorar as aves que migram acima do local de estudo, enquanto um ecólogo estudando migrações de aves

População (cardume de peixes)



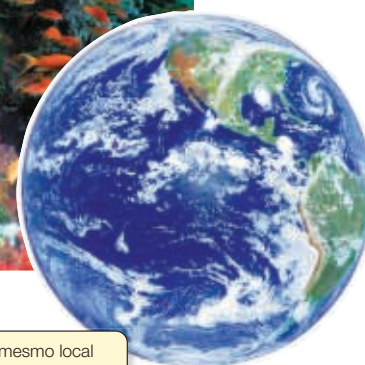
Um **organismo** é um indivíduo autoconstituído reconhecível. Um organismo multicelular é constituído de órgãos e sistemas de órgãos.

Uma **população** é um grupo de organismos da mesma espécie.



Comunidade (recife de coral)

Comunidades consistem em populações de diferentes espécies interagindo.



Biosfera

Comunidades biológicas em um mesmo local geográfico formam **ecossistemas**. Ecossistemas trocam energia e criam a **biosfera** da Terra.

pode ignorar os detalhes que ocorrem nas lagoas abaixo. Não é possível nem desejável estudar tudo ao mesmo tempo.

Quando buscam responder a uma questão em particular, os ecólogos devem selecionar a dimensão mais



apropriada, ou **escala**, para a coleta de informações. Cada estudo ecológico trata de eventos em alguma escala, mas ignora os eventos de outra escala. Por exemplo, um estudo sobre as atividades de micro-organismos do solo pode ser conduzido em escala espacial pequena (p. ex., as medições podem ser realizadas em escalas de centímetros a metros). Por outro lado, em um estudo tratando de como poluentes atmosféricos influenciam o clima global, a escala de observação certamente será maior e poderá incluir toda a atmosfera da Terra. Os estudos ecológicos também diferem bastante nas escalas de tempo que abrangem; alguns estudos, como aqueles que documentam como as folhas respondem a incre-

mentos momentâneos na disponibilidade de radiação solar, dizem respeito a eventos em uma curta escala de tempo (segundos a horas). Outros, como estudos que usam dados de fósseis para mostrar como as espécies presentes em dado local mudaram ao longo do tempo, tratam de eventos em escala de tempo muito mais longa (séculos a milênios ou maior duração).

Alguns termos-chave são úteis para o estudo das conexões na natureza

Quer estejamos discutindo organismos, populações, comunidades ou ecossistemas, todos os capítulos

deste livro incorporam o princípio de que eventos no mundo natural são interconectados. Por exemplo, na Unidade 2, veremos como uma explosão no tamanho populacional de uma espécie introduzida (ctenóforo *Mnemiopsis*) alterou todo o ecossistema do Mar Negro. Pelo fato de enfatizarmos as conexões na natureza em cada capítulo – e por causa disso podermos tratar de ecossistemas em um capítulo sobre organismos e vice-versa – descreveremos aqui uns poucos termos-chave que devem ser aprendidos tão logo se inicie o estudo de ecologia. Estes termos são resumidos na **Tabela 1.2**.

Uma característica universal dos sistemas vivos é que eles mudam ao longo do tempo ou evoluem. Dependendo das questões e da escala de tempo envolvidas, a **evolução** pode ser definida como (1) mudança nas características genéticas de uma população ao longo do tempo ou como (2) *descendência com modificação*, o processo pelo qual os organismos gradualmente acumulam diferenças a partir de seus ancestrais. Discutiremos evolução no contexto ecológico mais profundamente no Capítulo 6, mas aqui definiremos dois termos evolutivos essenciais: adaptação e seleção natural.

Uma **adaptação** é uma característica de um organismo que aumenta sua capacidade de sobreviver e reproduzir em seu ambiente. Adaptações são de importância fundamental para a compreensão de como os organismos funcionam e interagem uns com os outros. Como veremos no Capítulo 6, embora vários mecanismos possam causar mudanças evolutivas, somente a seleção natural pode produzir adaptações de forma persistente. Na **seleção natural**, indivíduos com determinadas características tendem a sobreviver e reproduzir-se a uma taxa maior do que os outros indivíduos *devido a essas características*. Se as características sendo selecionadas são herdáveis, então a descendência dos indivíduos favorecidos pela seleção natural tenderá a ter as mesmas características que deram aos seus antepassados uma vantagem. Como resultado, a frequência

dessas características pode aumentar na população ao longo do tempo.

Considere o que ocorre dentro do corpo de uma pessoa que toma um antibiótico. Algumas bactérias que vivem dentro dessa pessoa podem possuir alelos de um gene que proporciona resistência ao antibiótico. Devido a esses alelos, essas bactérias irão sobreviver e reproduzir a uma taxa maior do que aquelas não resistentes (**Figura 1.10**). Nesse caso, a característica na qual a seleção natural atua (resistência ao antibiótico) é herdável e, portanto, a descendência das bactérias resistentes tenderá a ser resistente. Como resultado, a proporção de bactérias resistentes no corpo da pessoa aumentará ao longo do tempo.

Os quatro termos-chave restantes que introduziremos nesta seção tratam de processos nos ecossistemas. Um modo de ver como os ecossistemas funcionam é considerar o movimento de energia e matéria através de uma comunidade. A energia entra na comunidade quando um organismo como planta ou bactéria captura energia a partir de uma fonte externa, como o sol, e usa essa energia para produzir alimento. Um organismo capaz de produzir o próprio alimento a partir de uma fonte externa de energia sem ter que comer outro organismo ou seus restos é chamado de **produtor** (esses organismos também são chamados *produtores primários* ou *autótrofos*). Um organismo que obtém energia consumindo outros organismos ou seus restos é chamado de **consumidor**. A quantidade de energia que os produtores capturam pela fotossíntese ou por outros meios, menos a quantidade de energia que perdem como calor na respiração celular, é chamada de **produtividade primária líquida (PPL)**. A PPL varia muito de um ecossistema para o outro, e variações na PPL podem ter um grande efeito sobre o funcionamento do ecossistema.

Cada unidade de energia capturada pelos produtores é por fim dissipada como calor pelo ecossistema (**Figura**

TABELA 1.2 Termos-chave para o estudo de conexões na natureza

Termo	Definição
Adaptação	Característica de um organismo que aumenta sua capacidade a sobreviver e reproduzir em seu ambiente
Seleção natural	Processo evolutivo no qual os indivíduos que possuem determinadas características sobrevivem ou se reproduzem em uma taxa maior do que outros indivíduos devido a essas características
Consumidor	Organismo que obtém sua energia comendo outros organismos ou seus restos
Produtor	Organismo que usa energia a partir de uma fonte externa, tal como o sol, para produzir seu próprio alimento sem ter que comer outros organismos ou seus restos
Produtividade primária líquida (PPL)	Quantidade de energia (por unidade de tempo) que os produtores fixam por fotossíntese ou outros meios, menos a quantidade usada na respiração celular
Ciclo de nutrientes	Movimento cíclico de um nutriente através dos organismos e o ambiente físico

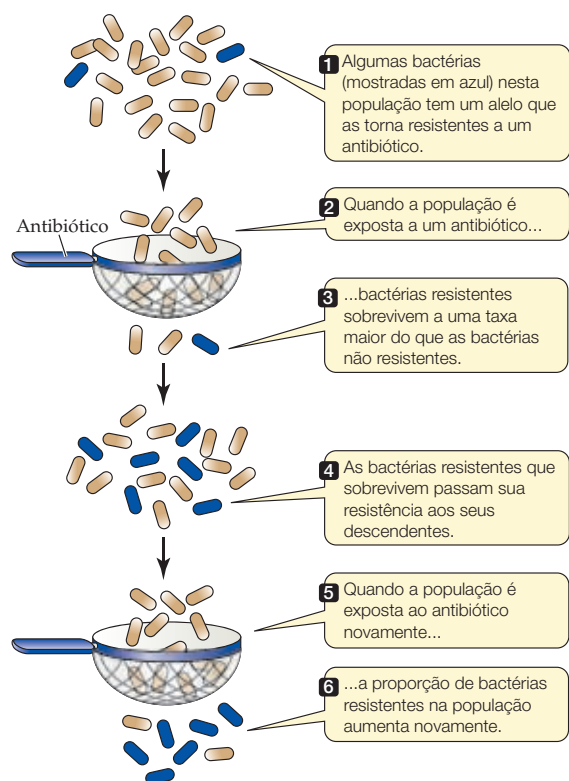
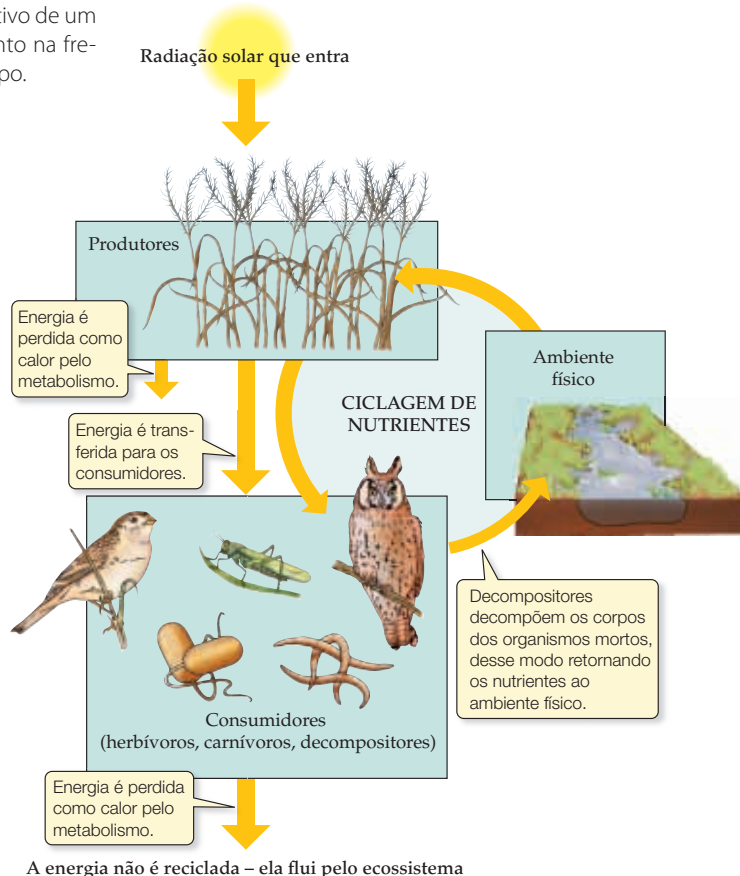


FIGURA 1.10 A seleção natural em ação Como mostrado nesta figura, na qual a peneira representa o efeito seletivo de um antibiótico, a seleção natural pode causar um aumento na frequência da resistência ao antibiótico ao longo do tempo.

1.11). Como resultado, a energia se move pelos ecossistemas em uma única direção – não pode ser reciclada. Os nutrientes, entretanto, são reciclados continuamente do ambiente físico para os organismos e destes para aquele novamente. O movimento cíclico de nutrientes como o nitrogênio ou fósforo entre organismos e o ambiente físico é referido

FIGURA 1.11 Como os ecossistemas funcionam Cada vez que um organismo se alimenta de outro, uma quantidade da energia originalmente capturada pelo produtor é perdida como calor dissipado durante a decomposição química dos alimentos pela respiração celular. Como resultado, a energia se move através do ecossistema em uma única direção e não é reciclada. Nutrientes como o carbono e o nitrogênio, por outro lado, alternam-se ciclicamente entre os organismos e o ambiente físico. Este diagrama baseia-se em um ecossistema no qual os produtores obtêm energia a partir da radiação solar; em alguns ecossistemas, produtores como bactérias obtêm energia a partir de substâncias químicas.



como **ciclo de nutrientes**. A vida cessaria se os nutrientes não fossem reciclados, pois as moléculas de que os organismos necessitam para crescimento e reprodução não estariam disponíveis para eles.

Quer estejam preocupados com a adaptação ou PPL, populações ou ecossistemas, os cientistas que estudam sistemas ecológicos não produziram um corpo imutável de conhecimento, esculpido em rocha. Ao contrário, o que sabemos sobre ecologia muda constantemente quando as ideias são testadas e, se necessário, revistas ou descartadas sempre que surgem novas informações. Como veremos na próxima seção, assim como todos os ramos da ciência, a ecologia está interessada na resolução de questões e busca compreender as causas subjacentes dos fenômenos naturais.

Respondendo questões ecológicas

CONCEITO 1.3

Os ecólogos avaliam hipóteses concorrentes sobre os sistemas naturais com experimentos, observações e modelos.

Os estudos sobre malformações em anfíbios anteriormente discutidos neste capítulo ilustram os vários modos pelos quais os ecólogos buscam responder questões sobre o mundo natural. O estudo de Johnson e colaboradores (1999), por exemplo, teve dois componentes essenciais: observações de campo e um experimento controlado em laboratório. Na parte observacional do trabalho, os pesquisadores examinaram lagoas, registraram as espécies presentes e observaram que as malformações foram encontradas apenas em lagoas que continham tanto as rãs arborícolas e um caramujo que hospedava o parasito *R. ondatrae*. Essas observações sugeriam que *R. ondatrae* pudesse causar as malformações, então Johnson e seus colaboradores realizaram um experimento em laboratório para testar se era esse o caso (e era).

O artigo de Kiesecker (2002) também descreve dois experimentos, um realizado em campo e outro em laboratório. Para examinar os efeitos de agrotóxicos sobre as malformações de rãs, primeiro Kiesecker comparou os resultados de três lagoas com níveis detectáveis de agrotóxicos com os de três lagoas sem níveis detectáveis de agrotóxicos. Enquanto essa abordagem tinha a vantagem de permitir que os efeitos de *R. ondatrae* fossem examinados sob as diferentes condições a campo (em lagoas com e sem agrotóxicos), Kiesecker não pôde controlar as condições tão precisamente como fizera em seu laboratório. As restrições do trabalho a campo significam, por exemplo, que ele não poderia iniciar com seis lagoas idênticas e então adicionar agrotóxicos a três lagoas, mas não colocar nas outras três – experimento que testaria com mais precisão se os agrotóxicos eram responsáveis pelos resultados que ele obteve. Como esse exemplo sugere, não há uma abordagem única que funcione bem em todas as situações. Portanto, os ecólogos usam um leque de métodos quando buscam resolver questões ecológicas.

Os ecólogos usam experimentos, observações e modelos para responder a questões ecológicas

Em um experimento ecológico, o investigador altera uma ou mais características do ambiente e observa o efeito dessa alteração no processo natural. Quando possível, tais experimentos incluem tanto um grupo-controle (não sujeito a nenhuma alteração) e um ou mais grupos experimentais (*ver* página 4). Ao planejar um experimento, os ecólogos têm uma gama de escalas para escolher (**Figura 1.12**). A escala dos experimentos ecológicos varia amplamente, desde estudos em pequena escala que cobrem poucos metros quadrados até estudos em larga escala, nos quais ecossistemas inteiros, como lagos ou florestas, são manipulados.

Em alguns casos, entretanto, pode ser difícil ou impossível realizar experimentos. Por exemplo, se a questão de interesse refere-se a eventos que abrangem extensas regiões geográficas ou que ocorrem durante longos períodos, como o aquecimento global, um experimento conduzido no laboratório ou em uma pequena parcela durante um ou poucos anos pode proporcionar pouca informação útil. Nessa situação, observações podem ser conduzidas de modo que dados de campo sejam coletados em extensas regiões ou durante longos períodos. Essas observações podem então ser analisadas para determinar se uma suposta causa subjacente (tal como o aumento na temperatura) mostra associação consistente com determinados

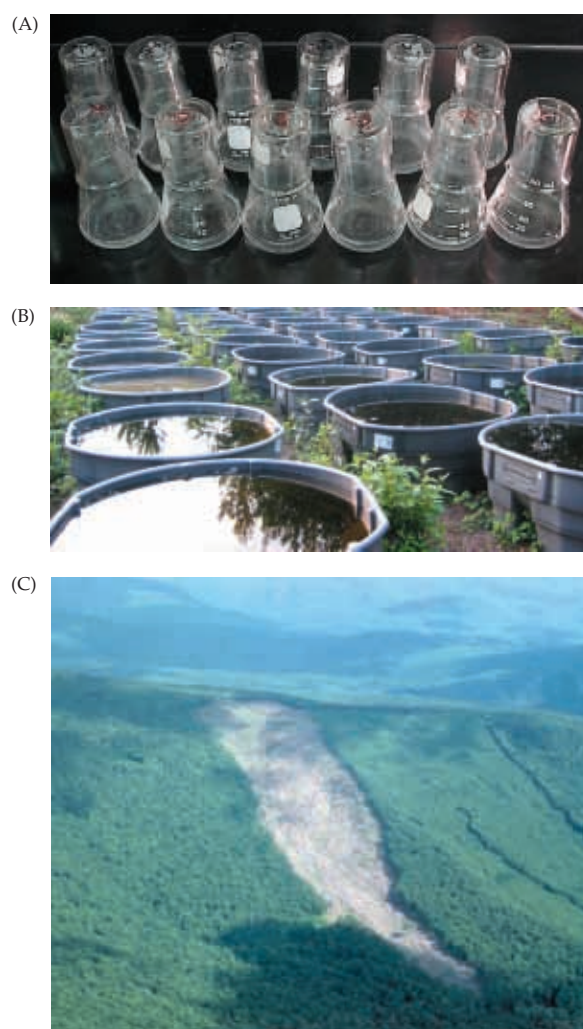


FIGURA 1.12 Experimentos ecológicos Experimentos em ecologia variam desde experimentos em laboratório (A) passando por experimentos de campo em pequena escala conduzidos em ambientes naturais ou artificiais (B) até experimentos de larga escala que alteram importantes componentes de um ecossistema (C).

resultados (tal como o deslocamento para o norte na localização de diferentes espécies).

Vamos olhar com mais atenção para o estudo sobre o aquecimento global. Como veremos no Capítulo 24, os cientistas concordam que o clima da Terra está se aquecendo. Entretanto, a futura magnitude e os efeitos do aquecimento global permanecem incertos. Não estamos seguros, por exemplo, de como a extensão geográfica de diferentes espécies se alterará como resultado do aumento previsto na temperatura. A Terra é uma só, então é claro que, mesmo se quiséssemos, não poderíamos aplicar níveis diferentes de aquecimento global a réplicas do planeta e observar como a área de distribuição das espécies mudaria ao longo do tempo em cada um de nossos tratamentos experimentais.

Em vez disso, podemos abordar esse problema usando uma mistura de observações, experimentos em pequena escala e modelos quantitativos (matemáticos ou computacionais). Observações de campo revelam que centenas de espécies têm deslocado suas áreas de distribuição em direção ao norte ou montanha acima de maneira consistente com a quantidade de aquecimento global já ocorrida (*ver* Capítulo 24). Observações de campo também podem ser usadas para sintetizar as condições ambientais sob as quais as espécies são encontradas atualmente, e experimentos em pequena escala podem ser usados para examinar o desempenho das espécies sob diferentes condições ambientais. Reunindo todas essas informações, os resultados das observações de campo e experimentos de pequena escala podem ser usados para alimentar dados em modelos quantitativos que formulem previsões de como as condições ambientais – e, portanto, as distribuições geográficas das espécies – serão provavelmente alteradas dependendo de quanto o planeta realmente se aqueça no futuro.

Os experimentos são planejados e analisados de modo coerente

Quando os ecólogos realizam experimentos controlados, frequentemente executam três etapas para reduzir a chance de que variáveis não controladas no experimento influenciem indevidamente os resultados do experimento (**Figura 1.13**): (1) **repetem** (isto é, efetuam mais de uma vez) cada tratamento, incluindo o controle; (2) **impõem** os tratamentos às unidades amostrais ou parcelas ao acaso; e (3) **usam análises estatísticas** para determinar se o tratamento teve um efeito significativo.

Uma vantagem da replicação é que quando o número de réplicas aumenta, torna-se menos provável que os resultados se devam, na verdade, a variáveis não medidas ou controladas no estudo. Imagine que Kiesecker tivesse realizado seu experimento com apenas

duas lagoas, uma com níveis detectáveis de agrotóxicos, e outra sem agrotóxicos. Admita que as malformações fossem mais comuns na única lagoa que continha agrotóxicos. Embora os agrotóxicos pudessem ter causado esse resultado, as duas lagoas poderiam diferir de muitos outros modos também, e um ou mais desses modos poderia ser a causa real dessas deformidades. Usando três lagoas com agrotóxicos e três lagoas sem, Kiesecker tornou isso menos provável – embora não impossível – que cada uma das três lagoas com agrotóxicos também contivesse alguma coisa a mais que aumentasse a chance de malformações em anfíbios. No experimento verdadeiro, Kiesecker levou em consideração os possíveis efeitos de algumas variáveis não medidas: ele mostrou, por exemplo, que o número de caramujos e a frequência de sua infecção por *R. ondatrae* eram similares em todas as seis lagoas, assim tornando improvável que as lagoas com agrotóxicos tivessem muito mais *R. ondatrae* do que as lagoas sem agrotóxicos.

Os ecólogos também buscam limitar os efeitos de variáveis não medidas pela imposição ao acaso dos tra-



FIGURA 1.13 Delineamento experimental e análise Esta fotografia aérea mostra o esquema de um estudo de campo que inclui as três etapas comuns a muitos experimentos ecológicos: replicação, imposição ao acaso dos tratamentos e análise estatística. Este estudo foi planejado para testar os efeitos de insetos herbívoros sobre o crescimento vegetal e a reprodução assexuada. Havia dois tratamentos: um controle, no qual os processos naturais foram deixados inalterados em um conjunto de parcelas de 5 × 5 metros, e um tratamento de remoção de insetos, no qual um inseticida foi usado para reduzir o número de insetos herbívoros que se alimentam das partes aéreas das plantas em outro conjunto de parcelas de 5 × 5 metros.

tamentos. Suponha um experimento planejado para testar se insetos que comem plantas reduzem o número de sementes que as plantas produzem. Um modo de testar essa ideia seria dividir uma área em uma série de parcelas experimentais (ver Figura 1.13). Cada parcela receberia um dos dois tratamentos seguintes: pulverizado regularmente com inseticida para reduzir o número de insetos comedores de plantas ou deixado inalterado.

Se os insetos herbívoros tivessem muito efeito na produção de sementes, as parcelas pulverizadas deveriam produzir mais sementes. A decisão quanto a se uma determinada parcela deve ser pulverizada (ou não) deve ser tomada ao acaso no início do experimento. O propósito da imposição ao acaso dos tratamentos destina-se a tornar menos provável que as parcelas recebam um determinado tratamento que compartilhe outras características que possam influenciar a produção de sementes, como níveis elevados ou reduzidos de nutrientes no solo.

Por fim, os ecólogos costumam usar análises estatísticas para determinar se os seus resultados são “significantes”. Para compreender o porquê, retornemos ao experimento de Kiesecker. Teria sido muito raro se Kiesecker tivesse verificado que as taxas de malformações em rãs em lagoas com agrotóxicos fossem exatamente iguais daquelas nas lagoas sem agrotóxicos. Uma vez que os resultados dos diferentes tratamentos experimentais raramente são idênticos, o investigador deve questionar se uma diferença observada é grande o suficiente para ter importância biológica. Métodos estatísticos são usados com frequência como um modo padronizado para auxiliar a tomar essa decisão. Descrevemos os princípios estatísticos gerais e um método estatístico – o teste t – na **Revisão estatística na web**. Há muitos tipos diferentes de análises estatísticas; livros como os de Zar (2006), Sokal e Rohlf (1995) e de Gotelli e Ellison (2004) fornecem exemplos de quais métodos usar e em que circunstâncias.

O que sabemos sobre ecologia está sempre mudando

As informações que descrevemos neste livro não compõem um conjunto estático de conhecimento. Em vez disso, assim como o próprio mundo natural, nossa compreensão sobre ecologia muda constantemente. A exemplo de todos os cientistas, os ecólogos observam a natureza e formulam questões sobre como a natureza funciona. Por exemplo, quando a existência de malformações em anfíbios tornou-se amplamente conhecida em 1995, alguns cientistas prepararam-se para responder uma série de perguntas sobre essas malformações. Havia muitas coisas que eles queriam saber. Quantas espécies eram afetadas pelas malformações?

As malformações em anfíbios ocorriam em poucas ou em muitas regiões geográficas? O que causava as malformações?

Essas questões estimuladas pela descoberta das malformações em anfíbios ilustram a primeira de uma série de quatro etapas pelas quais os cientistas aprendem sobre o mundo natural. Essas quatro etapas consistem no **método científico**, que pode ser sintetizado assim:

1. Observe a natureza e formule uma questão sobre essas observações.
2. Use o conhecimento prévio ou a intuição para desenvolver possíveis respostas para essas questões (**hipótese**).
3. Avalie hipóteses concorrentes pela execução de experimentos, reunindo observações cuidadosamente selecionadas ou analisando resultados de modelos quantitativos.
4. Use os resultados desses experimentos, observações ou modelos para modificar uma ou mais hipóteses, propor novas questões ou inferir conclusões sobre o mundo natural.

Esse processo em quatro etapas é iterativo e autocorretivo. Novas observações conduzem a novas perguntas, as quais estimulam os ecólogos a formular e testar novas ideias sobre como a natureza funciona. Os resultados obtidos nesses testes podem conduzir a novo conhecimento, novas perguntas e ao abandono de ideias que não explicam os resultados.

Já vimos alguns exemplos de como o processo de investigação científica funciona: quando as respostas a algumas questões sobre as malformações em anfíbios foram encontradas, surgiram novas questões e novas descobertas foram feitas. Como veremos rapidamente, essas descobertas levaram a que algumas ideias prévias fossem abandonadas, como a noção de que o declínio global das populações de anfíbios era causado por somente um ou poucos fatores. Acima de tudo, a pesquisa sobre malformações e declínio populacional em anfíbios sugere que nossa compreensão dos processos ecológicos é – e sempre será – um trabalho em desenvolvimento.

ESTUDO DE CASO REVISITADO

Malformações e declínio em populações de anfíbios

Como vimos neste capítulo, as malformações em anfíbios são causadas frequentemente por parasitos, mas também podem ser influenciadas por outros fatores, como a exposição a defensivos agrícolas ou fertilizantes. Com respeito ao declínio populacional, os estudos têm sugerido que uma gama de fatores pode causar a redução na abundância de anfíbios; esses fatores incluem a perda de

hábitat, sobre-exploração, mudança climática, doenças, parasitismo, poluição, espécies introduzidas e radiação UV. Coletivamente, esses estudos sugerem que nenhum fator único ou conjunto de fatores pode explicar a maior parte do declínio de anfíbios – achado que contraria a visão prévia de que um fator único e global poderia ser responsável. Em vez disso, o declínio parece ser causado por fatores complexos que muitas vezes atuam em conjunto e podem variar de um lugar para o outro.

Por exemplo, Audrey Hatch e Andrew Blaustein (2003) conduziram um experimento de campo para examinar o efeito conjunto da radiação UV e nitrato (um nutriente) sobre a sobrevivência de girinos. Em local de altitude elevada, eles verificaram que nem a exposição à radiação UV nem a exposição ao nitrato, por si só, exerciam algum efeito sobre a sobrevivência de girinos de rã arborícola do Pacífico. Atuando em conjunto, entretanto, a radiação UV e o nitrato reduziam a sobrevivência dos girinos em uma quantidade significativa (**Figura 1.14**). Em contraste, quando conduziram experimento semelhante em local de baixa altitude, a atuação conjunta de radiação UV e nitrato não teve efeito significativo na sobrevivência dos girinos. A explicação mais simples para esse resultado é que os níveis de radiação UV em locais de altitude elevada são maiores do que aqueles em locais de baixa altitude (como relatado na Tabela 1, em Hatch e Blaustein, 2003). Também é possível que as populações experimentais de rãs pudessem ser diferentes na sensibilidade à radiação UV ou nitrato; por exemplo, rãs de locais de baixa altitude (onde o nitrato proveniente de fertilizantes é comum) podem ser menos sensíveis ao nitrato do que rãs oriundas de locais de altitude elevada (onde o nitrato é menos comum).

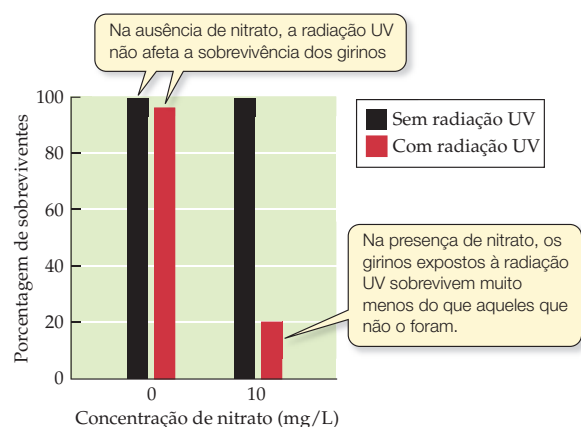


FIGURA 1.14 Efeito conjunto do nitrato e radiação UV na sobrevivência de girinos Em um experimento de campo realizado nas Montanhas Cascade, os ecólogos descobriram que o nitrato e a radiação UV apresentam efeito conjunto, porém não isolado na sobrevivência de girinos da rã arborícola do Pacífico (*Hyla regilla*). (Hatch e Blaustein, 2003.)

Descobertas recentes sobre os efeitos de agrotóxicos sugerem também que as causas do declínio de anfíbios são provavelmente complexas e variáveis. Enquanto os agrotóxicos podem contribuir para as malformações em rãs (*ver* páginas 5-8), muitos estudos têm falhado em vincular os agrotóxicos à redução no tamanho das populações de anfíbios. Muitos desses resultados negativos originam-se de estudos de laboratório que mantêm outros fatores constantes e examinam unicamente o efeito de agrotóxicos no crescimento ou sobrevivência de anfíbios. Rick Relyea, da Universidade de Pittsburgh, repetiu esses experimentos, mas com outra mudança adicional: predadores. Em duas de seis espécies de anfíbios estudadas, concentrações de agrotóxicos tornaram-se até 46 vezes mais letais se os girinos sentiam a presença de um predador (Relyea, 2003). O predador era mantido separado dos girinos por telas, mas os girinos podiam sentir seu odor.

No experimento de Relyea, a capacidade de girinos de algumas espécies resistirem aos agrotóxicos foi reduzida pelo estresse causado pela presença do predador. O mecanismo pelo qual isso funciona não é conhecido. O que é certo no trabalho de Relyea é correto de modo geral: sabemos relativamente pouco sobre os mecanismos que estão por trás das complexas respostas das espécies de anfíbios aos diferentes estressores. Embora saibamos que um amplo conjunto de fatores pode causar malformações em rãs (**Figura 1.15**), pouco se sabe sobre a extensão com que esses fatores interagem ou como algumas dessas interações exercem seus efeitos. Nessa e em muitas outras áreas da ecologia, aprendemos o suficiente para resolver partes do mistério, mas ainda resta muito para ser descoberto.

CONEXÕES NA NATUREZA

Missão impossível?

Como salientado nas páginas de abertura deste capítulo, as pessoas começaram a perceber que é importante entendermos como a natureza funciona, nem que seja apenas para nos protegermos de alterações inesperadas que causem danos em nosso ambiente. O fato de o mundo natural ser enorme, complexo e interligado significa que é impossível compreendê-lo? A maioria dos ecólogos não pensa assim. Nossa compreensão dos sistemas naturais tem melhorado enormemente nos últimos cem anos. Os esforços em curso para compreender como funciona a natureza certamente são desafiantes, mas esses esforços também são imensamente empolgantes e importantes. O que aprendemos e como usamos esse conhecimento, terão grande impacto no atual e no futuro bem-estar das sociedades humanas. Qualquer que seja sua carreira profissional, esperamos que este livro o auxilie a compreender o mundo natural em que vive, bem como você afeta – e é afetado por – esse mundo.

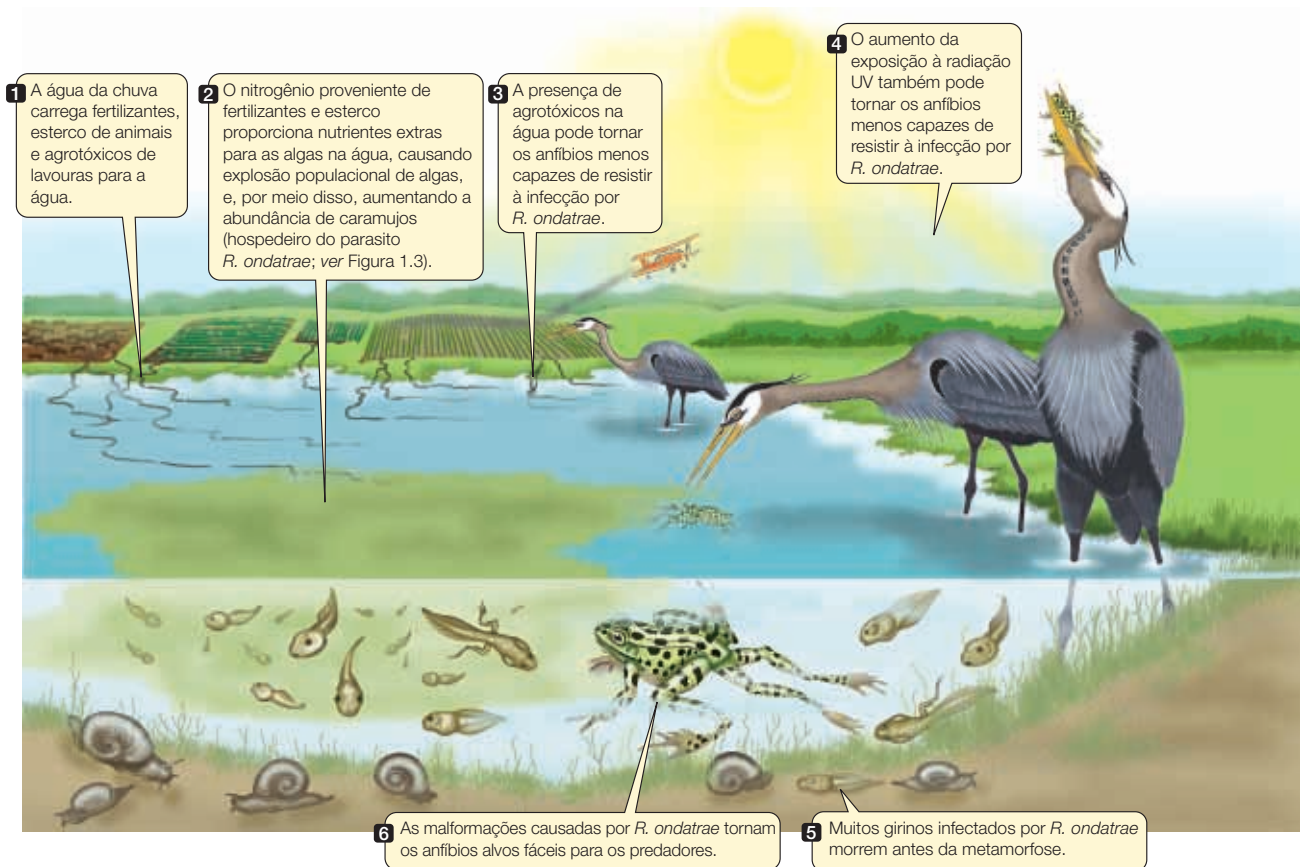


FIGURA 1.15 Causas complexas das malformações em anfíbios Como vimos, as malformações em anfíbios podem ser causadas por parasitos como *R. ondatrae*. Entretanto, outros fatores – muitos dos quais resultam das ações humanas – também podem estar envolvidos em malformações e no declínio de anfíbios. (Hatch e Blaustein, 2003.)

RESUMO

CONCEITO 1.1 Os eventos no mundo natural são interligados.

- Experimentos de laboratório e de campo sobre os efeitos de parasitos nas malformações em anfíbios ilustram como os eventos na natureza podem ser conectados uns aos outros.
- Devido aos eventos nos sistemas naturais serem interligados, qualquer ação pode ter um efeito colateral imprevisto.
- O ser humano tanto depende do ambiente natural como o afeta.

CONCEITO 1.2 Ecologia é o estudo científico das interações entre os organismos e seu ambiente.

- Ecologia é uma disciplina científica relacionada a – embora diferente de – outras disciplinas como a ciência ambiental.
- A opinião pública e a profissional sobre ecologia diferem com frequência.

- O escopo da ecologia é amplo e inclui estudos em muitos níveis de organização biológica.
- Todos os estudos ecológicos tratam de eventos em alguma escala espacial ou temporal enquanto ignoram os eventos em outras escalas.

CONCEITO 1.3 Os ecólogos avaliam hipóteses concorrentes sobre os sistemas naturais com experimentos, observações e modelos.

- Em um experimento ecológico, o pesquisador altera uma ou mais características do ambiente e observa o efeito dessa alteração nos processos naturais.
- Algumas características do mundo natural são mais bem investigadas com uma combinação de observação a campo, experimentos em pequena escala e modelos quantitativos.
- Os experimentos são planejados e analisados de modo coerente: tipicamente, cada tratamento, incluindo o controle, é replicado; os tratamentos são impos-

tos ao acaso; e métodos estatísticos são usados para analisar os resultados.

- A informação contida neste livro não é um conjunto estático de conhecimento; o que sabemos sobre ecologia está sempre mudando.

QUESTÕES DE REVISÃO

1. Descreva o que significa a expressão “conexões na natureza” e explique como essas conexões podem levar a efeitos colaterais imprevistos. Ilustre seus pontos de vista com um exemplo discutido no capítulo.
2. O que é ecologia, e o que os ecólogos estudam? Se um ecólogo estudasse os efeitos de um determinado gene, descreva como a ênfase do trabalho desse pesquisador poderia diferir da ênfase de um geneticista ou de um biólogo celular?
3. Como funciona o método científico? Inclua na resposta a descrição de um experimento controlado.

MÃOS À OBRA: RESOLVENDO UM PROBLEMA

Declínio de população de anfíbios e répteis

Este exercício na web (www.sinauer.com/ecology) explora os declínios no tamanho das populações de anfíbios e répteis na Costa Rica, sugerindo um elo climático. Você interpretará dados de um artigo recente mostrando mudanças no tamanho de populações de espécies de répteis e anfíbios, bem como alterações nas condições climáticas.

LEITURAS SUGERIDAS

- Blaustein, A. R. and J. M. Kiesecker. 2002. Complexity in conservation: Lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecology Letters* 5: 597–608. *Este artigo de revisão sustenta que o declínio de anfíbios resulta de uma ampla gama de fatores cujos efeitos dependem do ambiente específico no qual dada população é encontrada. Os autores também observam que deveríamos esperar que espécies diferentes, e até mesmo populações diferentes de uma mesma espécie, respondam diferentemente a um mesmo estresse ambiental.*
- Kingsland, S. 2004. Conveying the intellectual challenge of ecology: An historical perspective. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 367–374. *Uma breve visão da história do pensamento ecológico que enfatiza a importância da integração do conhecimento de diferentes campos quando tentamos compreender como a natureza funciona ou resolver problemas práticos difíceis.*
- Krebs, C. J. 1988. *The Message of Ecology*. Harper Collins, New York. *Este pequeno livro (195 páginas) fornece uma excelente visão geral de algumas das lições fundamentais que emergiram a partir da disciplina científica da ecologia.*
- Stuart, S. N., J. S. Chanson, N. A. Cox, B. E. Young, A. S. L. Rodrigues, D. L. Fischman and R.W. Waller. 2004. Status and trends of amphibian declines and extinction worldwide. *Science* 306: 1783–1786. *Sóbrio artigo que ilustra que, enquanto a perda de hábitat e a sobre-exploração frequentemente causam o declínio de anfíbios, num universo de 435 espécies cujas populações estão declinando rapidamente, a causa do declínio permanece desconhecida em 48% dos casos.*
- Wilson, E. O. 2006. *Nature Revealed: Selected Writings, 1949–2006*. John Hopkins University Press, Baltimore. *Este livro oferece uma introdução ao pensamento ecológico fornecendo uma seleção de artigos escritos por Edward O. Wilson, proeminente ecólogo e biólogo evolutivo. Os tópicos, abrangendo desde estudos detalhados sobre formigas até extensos ensaios sobre ecologia e a diversidade da vida, tornam a leitura fascinante.*
- Worster, D. 1985. *Nature's Economy: A History of Ecological Ideas*. Cambridge University Press, Cambridge. *Um bem escrito relato de episódios essenciais na história da ecologia. O livro descreve como o pensamento ecológico mudou ao longo do tempo e influenciou as ideias humanas acerca de nosso lugar na natureza.*