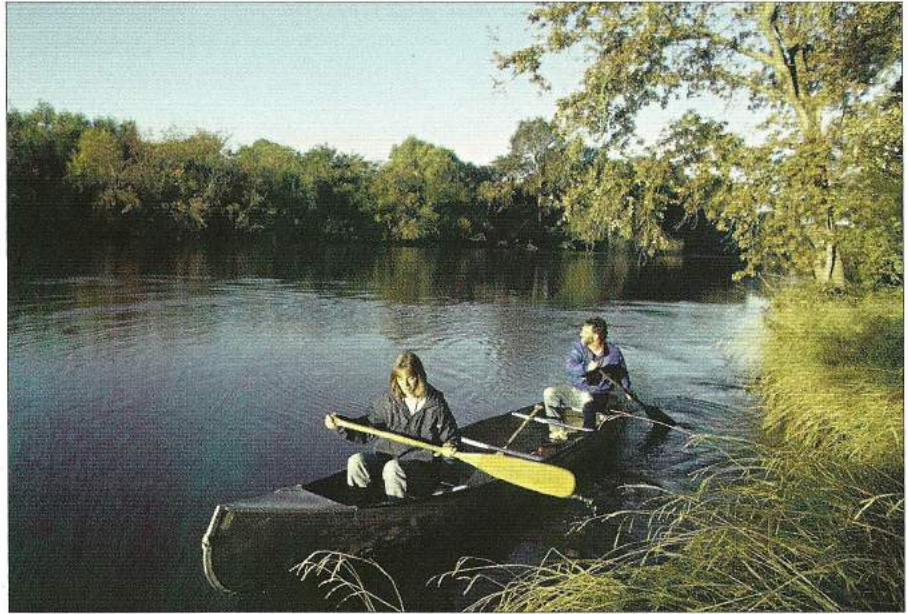


Biodiversidade, Extinção e Conservação



A população humana tem um imenso impacto na Terra. Há tantos de nós (a população de 2008 de 6,6 bilhões está aumentando numa taxa de quase 2% por ano), e cada indivíduo usa tanta energia e tantos recursos, que nossas atividades influenciam virtualmente tudo na natureza. A maior parte da superfície de terra do planeta, e cada vez mais dos oceanos, está passando ao controle direto da humanidade. Virtualmente todas as áreas nas latitudes temperadas que são adequadas para a agricultura já foram aradas ou cercadas. Em todo o mundo, mais de 35% da área de terra é usada para plantações ou pastos permanentes; hectares incontáveis adicionais são pastados por criações. As florestas tropicais estão sendo derrubadas numa taxa alarmante de 10 milhões de hectares por ano. As regiões subtropicais semiáridas, particularmente na África Subsaariana, têm se transformado em desertos pela sobrepastagem e coleta de madeira para fogo. Os rios e os lagos estão fortemente contaminados em muitas partes do mundo. Os gases das indústrias químicas e a queima de combustíveis fósseis poluem nossa atmosfera.

Nós estamos destruindo nosso ninho, e estamos ainda correndo para explorar mais do que resta para ser tomado. Se não controlada, esta deterioração do ambiente levará a um declínio da qualidade de vida para todos os habitantes humanos da Terra, como já acontece para muitos de nós. Dois bilhões e meio de pessoas, a maioria nos países em desenvolvimento, vivem com menos de dois dólares por dia. Os animais e as plantas com quem compartilhamos este planeta, e dos quais dependemos para todos os tipos de sustento, estão sentindo o impacto da população humana ainda mais. Eles têm sido empurrados para o lado à medida que nos apossamos da terra e do mar como nosso espaço de vida e para a produção de nossa comida. Temos degradado esses ambientes com nossos rejeitos. Muitas espécies sucumbiram à destruição de *habitat*, caça e outras atividades humanas.

A deterioração não precisa continuar. Embora muitos afirmem que nossa população excede o nível sustentável, os humanos podem viver num mundo mais limpo e mais autossustentável. Isso pode acontecer, contudo, somente se nós empreendermos esforços para colocar nossa própria população em equilíbrio com o sustento de outras espécies e os processos ecológicos que nos nutrem. A legislação em muitos países já levou a uma atmosfera e águas mais limpas, a um uso mais eficiente da energia e dos recursos materiais, e ao resgate de espécies

ameaçadas de um declínio ainda maior. Embora a população humana vá continuar a estressar os ecossistemas naturais e a sobrevivência das espécies no futuro, há muitas coisas que podemos fazer para amenizar a condição da biosfera e de seus habitantes não humanos.

CONCEITOS DO CAPÍTULO

- A diversidade biológica tem muitos componentes
- O valor da biodiversidade surge de considerações sociais, econômicas e ecológicas
- A extinção é natural, mas a sua taxa atual não é
- As atividades humanas aceleraram a taxa de extinção
- Os projetos de reservas para espécies individuais devem garantir uma população autossustentável
- Algumas espécies criticamente ameaçadas têm sido recuperadas da beira da extinção

Embora nosso conhecimento esteja muito longe da perfeição, a ciência da Ecologia tem muito a dizer sobre desenvolvimento e manejo racional do mundo natural como um sistema sustentável e autorrestaurador. O que nós aprendemos acerca das adaptações dos organismos, da dinâmica das populações e dos processos que ocorrem nos ecossistemas sugere linhas de conduta simples para viver em razoável harmonia com o mundo natural.

Primeiro, os problemas ambientais não serão controlados enquanto a população humana continuar a crescer. A Terra poderia sustentar mais pessoas do que o faz atualmente, mas sua qualidade de vida seria drasticamente reduzida a curto prazo, e haveria pouca perspectiva para uma sustentabilidade de longo prazo. Mesmo nossa população humana atual não pode se manter numa base sustentável. O reflorestamento não pode acompanhar as crescentes demandas por madeira, papel e combustível, e assim vastas quantidades de florestas anteriormente não desmatadas estão sendo coletadas a cada ano. A maior parte dos importantes pesqueiros do Hemisfério Norte colapsou e agora produzem apenas uma fração de sua produção anterior. Grandes áreas de fazendas deterioradas são perdidas para a agricultura a cada ano. A água doce está num suprimento criticamente curto em muitas partes do mundo. À medida que a população humana aumenta, essas demandas sobre o ambiente somente crescerão.

As populações naturais são controladas por fatores dependentes da densidade, que incluem falta de alimento, doenças, predação e conflito social. Esses fatores reduzem a fecundidade ou aumentam a mortalidade, ou ambos, à medida que as populações crescem. Se a população humana caísse sob tais controles externos, o preço do sofrimento humano — doença, fome, guerra — seria enorme. Assim, manter uma qualidade individual de vida com alto nível exigirá, acima de tudo, que os humanos apresentem uma restrição reprodutiva que desafie toda a história da evolução, durante a qual o “ajustamento” tem sido medido em termos de sucesso reprodutivo em vez de qualidade de vida. Somente uma apreciação da economia negativa e das consequências ambientais da superpopulação fará a humanidade valorizar a experiência humana individual sobre o número de filhos à medida que os dois se tornam crescentemente incompatíveis.

Recentemente, educação aprimorada (especialmente para as mulheres), oportunidade econômica e urbanização têm se combinado para reduzir taxas de natalidade e crescimento populacional na maioria das regiões do mundo. De fato, muitos países europeus agora têm crescimento populacional negativo, e o tamanho de família na Ásia e na América Latina tem declinado de

uma média de 6 para menos de 3 crianças durante os últimos 50 anos. Somente na África, com um tamanho de família médio acima de 5 e uma taxa de crescimento populacional de 2% ao ano, estas tendências estão atrasadas. Mas embora as taxas de crescimento da população humana estejam declinando globalmente, o uso humano dos recursos não está. A maioria das pessoas aspira a um padrão material mais alto de vida, e as aspirações de bilhões de pessoas colocarão — de fato, já têm colocado — uma tremenda pressão sobre os recursos da Terra. Uma consequência da globalização econômica é que as altas taxas de consumo material e demanda por materiais brutos dos países ricos adiciona estresses ambientais nas nações em desenvolvimento.

Segundo, nosso consumo individual de energia, recursos materiais e alimento que é produzido nos níveis tróficos mais altos deve ser reduzido. A Terra não pode sustentar o uso de recursos e energia no nível agora gozado pelos cidadãos afluentes dos países desenvolvidos. O consumo de energia nos Estados Unidos em 2003 foi, em média, equivalente a quase 8.000 quilogramas de óleo por pessoa. Este nível de consumo é duas vezes o da Inglaterra e de outros países europeus, e quase 30 vezes o nível nos países mais pobres, incluindo o Congo, o Haiti e Myanmar. A eficiência do uso da energia pode ser aumentada e o consumo de supérfluos reduzido sem impactar o conforto ou o prazer da vida. Cada indivíduo humano pode reduzir seu impacto comendo mais baixo na cadeia alimentar (reduzindo o consumo de carne, por exemplo), investindo em tecnologias eficientes em consumo de recursos e energia, dirigindo carros menores e ocupando menores áreas de vida, e vivendo mais próximo do equilíbrio com o mundo físico (p. ex., reduzindo o termostato no inverno e aumentando-o no verão).

Terceiro, embora seja inevitável que a maior parte do mundo caia sob a gestão humana, os ecossistemas deveriam ser mantidos tão próximos de seu estado natural quanto possível, para manter os processos ecossistêmicos naturais intactos e reduzir os custos da água, energia e materiais. Como uma regra geral, quanto menos alterarmos a natureza, mais fácil será sustentar o ambiente numa condição saudável. Por exemplo, como vimos no Capítulo 24, muitas áreas cobertas pelas florestas tropicais são inadequadas para o pasto ou agricultura, porque estas atividades perturbam os processos de regeneração de nutrientes naturais e fazem com que o solo se deteriore. Tais áreas deveriam ser deixadas como reservas de florestas ou áreas recreacionais, ou usadas como exploração sustentável dos produtos da floresta. Analogamente, os desertos podem ser irrigados, e normalmente

se tornam tremendamente produtivos para certos tipos de agricultura. Mas os custos de manter tais sistemas manejados podem se tornar extremamente altos à medida que os solos acumulam sais da irrigação da água e os aquíferos se tornam deplecionados. Viver com a natureza é sempre preferível e menos dispendioso do que trabalhar contra ela.

As atividades humanas também afetam as populações de cada espécie, seja diretamente através da caça, por exemplo, ou indiretamente através da degradação de *habitat* ou introdução de patógenos. As ações humanas têm levado à extinção, ou à ameaça iminente de extinção, muitas espécies. Neste capítulo, consideraremos o desafio de conservar as espécies. No Capítulo 27, discutiremos formas de manter as populações naturais e os processos ecossistêmicos, tal que nossa geração e as futuras se beneficiem dele. As soluções de todos esses problemas estão contidas nos princípios básicos da Ecologia. Devemos lembrar, contudo, que embora as soluções possam ser propostas, a sua implementação exigirá uma ação social, política e econômica organizada.

A diversidade biológica tem muitos componentes

Quase 1.500.000 espécies de plantas e animais em todo o mundo foram descritas e receberam nomes em latim. Os insetos somam cerca de metade delas. Muitas mais espécies, particularmente nas regiões menos exploradas dos trópicos, esperam a descoberta científica. De fato, novas espécies estão continuamente sendo descritas. Por exemplo, uma expedição de 2006 à Nova Guiné, Indonésia, descobriu 20 novas espécies de rãs, 4 de borboletas, 5 tipos de palmeiras e 1 espécie de ave melívora, e redescobriu o canguru-de-manta-dourada, não previamente relatado na Nova Guiné, e que se pensava estar extinto. Alguns especialistas estimaram que as espécies finais do globo podem somar entre 10 e 30 milhões. Tais estimativas podem estar inflamadas, embora a diversidade de bactérias e outros micro-organismos seja provavelmente imensa e desconhecida. Mas não

há dúvida de que compartilhamos este planeta com diversos milhões de outros tipos de organismos.

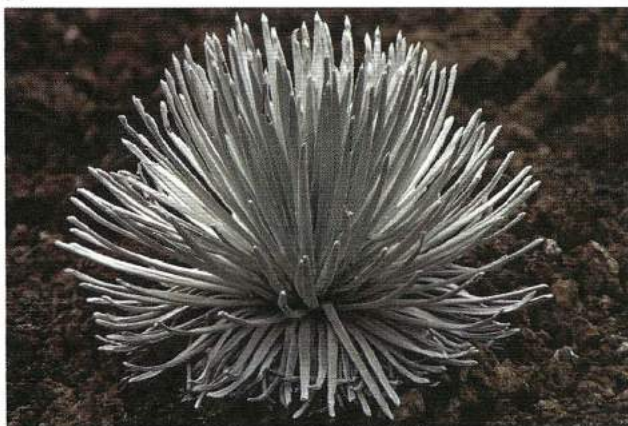
Fazer listas de nomes de espécies é uma forma de tabular a diversidade, mas estas listas representam somente parte do conceito da biodiversidade, que inclui os muitos atributos únicos de todos os seres vivos. Embora cada espécie difira de todas as outras no nome que a ciência assinala para ela, ela também difere na forma de suas adaptações e define seu espaço no ecossistema. As diferentes espécies de plantas, por exemplo, têm tolerâncias diferentes para as condições do solo e de estresse de água, e defesas bem diferentes contra os herbívoros; elas também diferem na forma de crescimento e nas estratégias para polinização e dispersão de sementes. Os animais, também, têm adaptações que definem seu lugar na natureza. Estas variações constituem a **diversidade ecológica**.

A biodiversidade resulta da mudança genética, ou evolução, que subjaz à formação de novas espécies. Como a variação genética é crucial para as respostas evolutivas das populações às mudanças no ambiente, a **diversidade genética**, tanto dentro quanto entre as espécies, é um outro componente importante da biodiversidade. Para muitos tipos de organismos, particularmente as bactérias, o sequenciamento do material genético descoberto nas amostras do solo e da água proporciona uma visão única de sua vasta diversidade.

Todas as espécies estão relacionadas pela descendência evolutiva de ancestrais comuns, algumas recentes e algumas no passado distante. A **diversidade filogenética** leva em conta o grau de relacionamento entre os organismos, dando um peso maior às formas distantemente aparentadas do que à dos parentes mais próximos. Assim, cinco espécies de roedores representam menos diversidade filogenética do que um rato, um morcego, um cervo, um coiote e um macaco. A diversidade ecológica e a diversidade filogenética estão intimamente relacionadas, mas a convergência evolutiva e a diversificação de espécies descendentes de um ancestral recente comum (**radiação adaptativa**) acrescentam complexidade a esses conceitos.

Finalmente, a biodiversidade tem um componente geográfico. As diferentes regiões têm números diferentes de espécies. Se a diversidade fosse uma competição, as florestas pluviais tropicais

(a)



(b)



FIG. 26.1 Muitas ilhas oceânicas abrigam espécies endêmicas. (a) A espada-de-prata havaiana é encontrada somente nas altas elevações do vulcão Haleakala na ilha de Maui, Havaí. (b) Esta tartaruga é endêmica do arquipélago de Galápagos, onde cada ilha tem uma forma distinta. Fotografia (a) por James L. Amos/Peter Arnold; fotografia (b) por R. E. Ricklefs.

e os recifes de coral seriam os óbvios vencedores. Igualmente importante, contudo, é o fato de que a maioria das regiões abriga espécies únicas não encontradas em nenhuma outra parte. As espécies cujas distribuições estão limitadas a pequenas áreas são chamadas de **espécies endêmicas**, e diz-se que as regiões com grande número de espécies endêmicas possuem um alto nível de **endemismo**. Claramente, a conservação de biodiversidade global é mais bem servida dirigindo-se esforços em direção às áreas de alto endemismo bem como de alta diversidade.

As ilhas oceânicas são bem conhecidas por abrigar formas endêmicas; virtualmente todas as aves, plantas e insetos dessas ilhas isoladas, como nos arquipélagos do Havai e Galápagos, não ocorrem em nenhuma outra parte (Fig. 26.1). Por isso, quando a destruição de *habitat*, a caça ou a introdução de espécies alienígenas resultam numa perda das populações locais nesses lugares, aquela perda provavelmente significa uma extinção global. Os depósitos de fósseis mostram que mais da metade das aves das Ilhas do Havai desapareceram desde que a colonização humana se instalou nas ilhas. Aquelas aves não ocorriam em nenhuma outra parte; agora elas se foram para sempre. Assim foi com o Dodô, uma ave gigante que não voava, conhecida somente da ilha de Mauritius no Oceano Índico, extinta desde meados dos anos 1600. A vaca-do-mar-de-steller (um parente gigante dos dugongos e do peixe-boi), que era endêmica do Mar de Bering, extinguiu-se em 1768, menos de 30 anos depois de ter sido descoberta pela primeira vez e “caçada” pelos europeus.

ECÓLOGOS EM CAMPO

Identificando os hotspots da biodiversidade para a conservação. Algumas áreas relativamente pequenas do mundo possuem números

excepcionalmente grandes de espécies. É provável que as áreas conhecidas pela sua riqueza em espécies de grandes plantas, aves, mamíferos e répteis também sejam ricas em espécies que pertencem a grupos menos presentes. Norman Myers, da Universidade de Oxford, e seus colegas identificaram 25 *hotspots* (“pontos críticos”) de biodiversidade em todo o mundo, que eles então propuseram para uma consideração especial em termos de conservação (Fig. 26.2). As fronteiras dos *hotspots* são relativamente fáceis de estabelecer para lugares como as ilhas das West Indies, Madagascar e Nova Caledônia. Nos continentes, as fronteiras dos *hotspots* normalmente correspondem às fronteiras de importantes biomas, como a vegetação do Cerrado do Brasil e a região climática mediterrânea do sul da Europa e norte da África. Para se qualificar como *hotspot*, uma região deve ter um alto nível de endemismo.

A vegetação natural remanescente em todos os *hotspots* identificados por Myers ocupa somente 1,4% da área total de terra do planeta, embora esses *hotspots* contenham cerca de 44% de todas as espécies de plantas e 35% de todas as espécies de vertebrados terrestres. Eles são também regiões de rápida destruição de *habitat*, onde uma alta proporção de espécies está ameaçada com populações em declínio ou em extinção. Dentro dessas áreas de *hotspots*, uma média de 88% da vegetação natural já desapareceu.

Myers enfatizou que o endemismo deveria ser o critério chave usado para classificar o valor de conservação de uma área. Em apoio a esta proposta, uma análise por David Orme, do Imperial College de Londres, e seus colegas sobre a distribuição das espécies de aves do mundo mostrou que as regiões de alta riqueza de espécies não contêm necessariamente os números mais altos de espécies ameaçadas ou endêmicas (Fig. 26.3). Por exemplo, a parte oeste da Bacia Amazônica tem a mais alta riqueza de

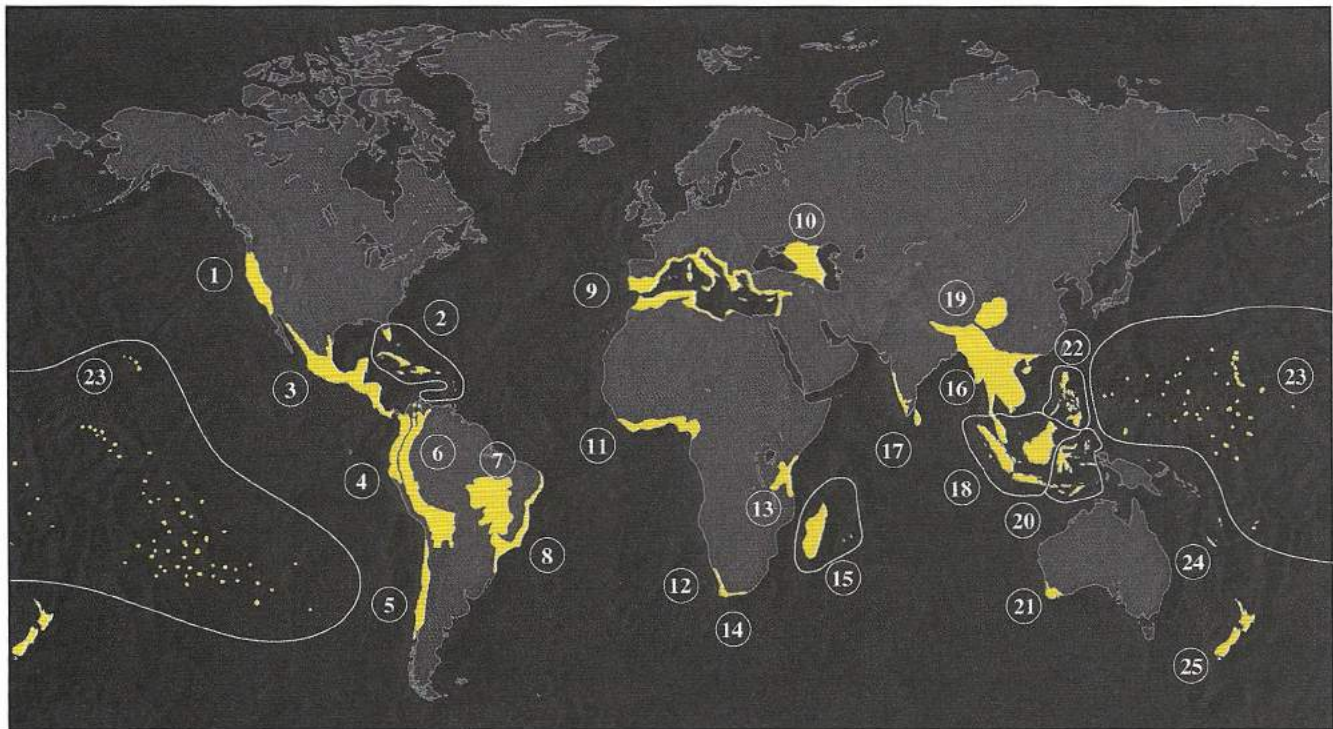


FIG. 26.2 Vinte e cinco *hotspots* de biodiversidade foram identificados em todo o mundo. Essas áreas estão recebendo uma consideração especial em relação aos esforços de conservação. Os *hotspots* podem incluir regiões inteiras, como as West Indies (2), ou as Ilhas Sunda (18), ou podem focalizar-se em ambientes específicos, tais como o Cerrado da América do Sul (7), uma vasta região de bosques e savanas, ou áreas localizadas de grande diversidade e endemismo, tais como a Província Florística do Cabo (14) da África do Sul. Segundo N. Myers et al., *Nature* 403:853–858 (2000).

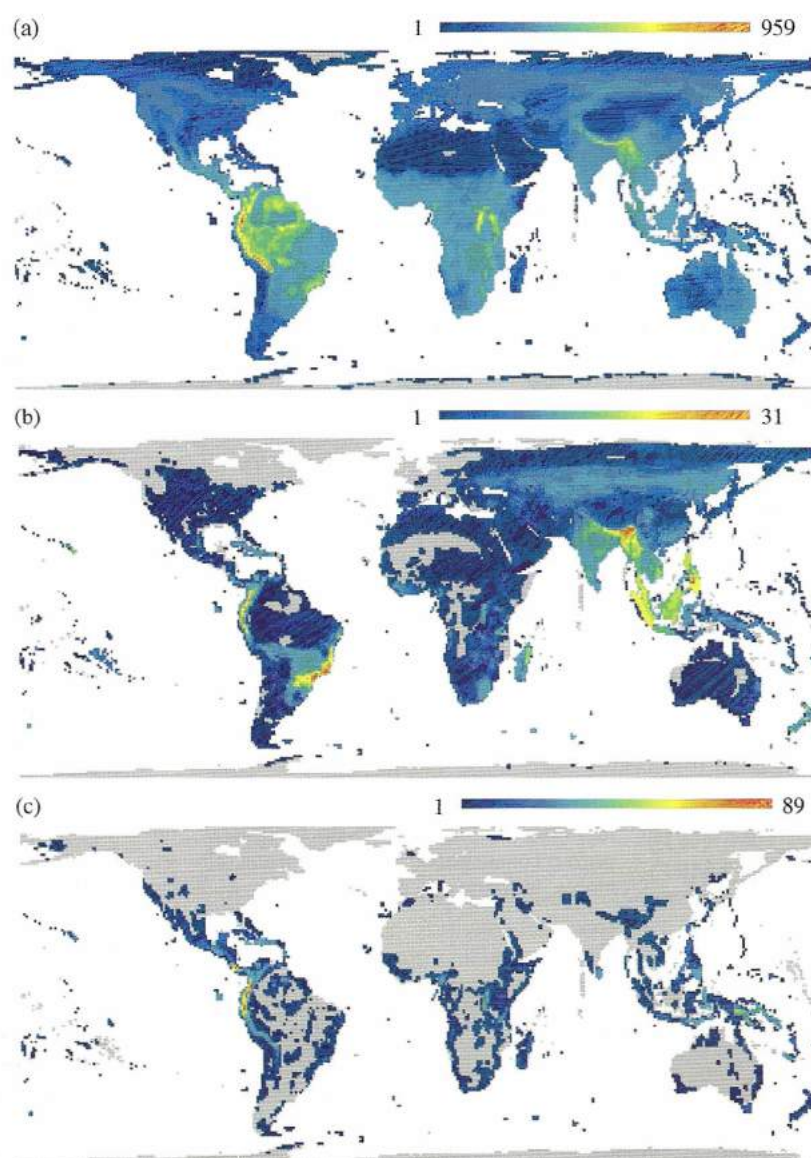


FIG. 26.3 As áreas de alto endemismo não necessariamente coincidem com uma alta riqueza de espécies. (a) A distribuição global da riqueza de espécies totais de aves. (b) A distribuição global de espécies de aves ameaçadas com extinção (categorias da IUCN de criticamente ameaçada, ameaçada e vulnerável). (c) A distribuição global de espécies de aves endêmicas (aquelas ocorrendo em menos de 30 quadrados numa malha de 1°). A escala de cor acima de cada mapa é linear de uma espécie para até o máximo mostrado. Segundo C. D. L. Orme et al., *Nature* 436:1016–1019 (2005).

espécies de aves (e a maior parte de outros organismos) no planeta, mas suas espécies tendem a estar bem espalhadas ao longo da América do Sul Tropical, e relativamente poucas estão em perigo de extinção. Por outro lado, as espécies de aves dos Andes e da Mata Atlântica do Brasil tendem a ter distribuições mais estreitas. Além de ter altas proporções de espécies endêmicas, essas áreas têm sido mais amplamente transformadas pelas atividades humanas, enquanto grandes partes da Bacia Amazônica permanecem relativamente intocadas por causa de sua localização remota.

Richard Cincotta e seus colegas no Population Action International têm apontado que os *hotspots* de biodiversidade de Myers também tendem a ter densidades populacionais humanas acima da média, combinadas com altas taxas de crescimento populacional. Em 2000, mais de 1,1 bilhão de pessoas — quase 20% da população humana — viviam em 12% da área de terra do planeta incluída nos *hotspots*, e a taxa de crescimento médio dessas populações era de 1,8% ao ano. Entre as áreas mais densamente povoadas estão o sul da Índia e do Sri Lanka, as Filipinas e as West Indies. As taxas de crescimento populacional são particularmente altas nos Andes Colombianos, Equador e Peru, em Madagascar e no oeste da África. Cada uma dessas áreas apre-

senta desafios de conservação especiais urgentes. As três grandes áreas selvagens tropicais — a Bacia Amazônica da América do Sul, a Bacia do Congo da África e a Nova Guiné — têm baixas densidades populacionais no presente, mas altas taxas de crescimento populacional, devido em grande parte à imigração. Do ponto de vista da conservação da biodiversidade, os *hotspots* identificados por Myers e seus colegas são lugares lógicos para focalizar a conservação e os esforços de manejo. |

O valor da biodiversidade surge de considerações sociais, econômicas e ecológicas

A taxa de desaparecimento de certos tipos de espécies, particularmente aquelas mais vulneráveis à caça, poluição e destruição de *habitat*, está provavelmente agora mais alta do que em toda a história da Terra. Algumas estimativas sugerem que mais de uma espécie desaparece por dia, a maioria delas insetos de florestas pluviais tropicais. Esta perda acelerada de espécies está

diretamente conectada com o crescimento e as capacidades tecnológicas da população humana.

Por que ligar? Que preocupação é essa nossa com o desaparecimento de uma espécie de abelha em um canto remoto da América do Sul? Muitas espécies já se foram. Nós realmente sentimos falta delas? De fato, a extinção ocorre normalmente nos sistemas naturais. Por que deveríamos tentar parar isso?

Responsabilidade moral

Para muitas pessoas, a extinção levanta uma questão moral. Algumas assumem que, como a humanidade afeta toda a natureza, é nossa responsabilidade moral proteger a natureza. Se a moral deriva de uma lei natural — isto é, se a moral é intrínseca à vida ela própria — então devemos presumir que os direitos dos indivíduos e das espécies não humanas são tão legítimos quanto os da sociedade humana. Naturalmente, nenhuma espécie tem garantido um direito à existência perpétua, assim como a nenhum humano é garantida a imortalidade. Mas a extinção através de caça, poluição e destruição de *habitat* irrestritas e disseminação irresponsável de doenças é considerada por muitos como assassinato, genocídio e outras violações de direitos humanos.

Benefícios econômicos

O valor de cada espécie pode ser questionado do ponto de vista de seus benefícios econômicos para a humanidade. Cada espécie tem óbvia importância econômica como recursos alimentares, caça e fontes de produtos naturais, drogas e químicos orgânicos (Fig. 26.4). Por exemplo, mais de 100 drogas médicas importantes (incluindo a codeína, a colchicina, a digitalina, a L-dopa, a morfina, a quinina, a artimesinina, a estricnina e a vimblastina) são extraídas diretamente de plantas com flores. Estas drogas são responsáveis por cerca de um quarto de todas as prescrições feitas nos Estados Unidos.

Algumas espécies de plantas e animais de importância econômica são cultivadas ou domesticadas e então seletivamente reproduzidas para aumentar suas qualidades valiosas. Estas espécies não estão em perigo de extinção, mas abrir espaço para seu cultivo em alta escala tem normalmente ameaçado outras espécies percebidas como de menor valor. Um exemplo é o clás-

sico conflito entre os rancheiros de carneiros e os lobos, que ocasionalmente matavam carneiros e outras criações. Por causa do valor econômico da criação de carneiros, os lobos foram eliminados da maior parte da América do Norte, frequentemente com recompensa sobre suas cabeças. Frequentemente acontecia que manadas de cervos e outros herbívoros se tornavam tão grandes que danificavam o ambiente, incluindo, ironicamente, seu valor para o pasto dos carneiros. O ponto é que associar um valor econômico para uma espécie favorece algumas outras e normalmente não resolve a questão de conservar a biodiversidade num sentido geral.

Em muitos sistemas de contabilidade, assume-se que os ganhos econômicos de curto prazo de converter sistemas naturais para usos humanos (como a conversão de florestas em plantações), ou de recursos naturais sobre-explorados (como a pesca intensa das populações de bacalhau do Atlântico), sobrepujam qualquer valor de longo prazo de conservar o sistema natural para um benefício econômico sustentável. O valor de espécies e *habitats* conservados normalmente só se torna aparente quando os custos de longo prazo da sobre-exploração ou da conversão de *habitat* são adequadamente levados em conta.

Um alto valor pode ser colocado em determinadas espécies porque elas atraem turistas para uma área. A prática de visitar uma área para ver *habitats* intocáveis e animais e plantas que vivem lá é denominada de **ecoturismo**. Muitos países tropicais têm capitalizado esta atração estabelecendo parques e sustentando serviços para o turismo. Na América Latina, os quetzals, as araras e os macacos atraem turistas para áreas onde essas espécies estão protegidas. A diversidade, ela própria, é frequentemente uma atração em florestas pluviais tropicais e recifes de coral, com suas centenas de diferentes espécies de árvores, aves, corais ou peixes.

No leste da África, os leões, os elefantes e os rinocerontes têm grande valor por causa dos dólares, libras, euros e iens do turismo que eles trazem para os países que precisam muito de moedas estrangeiras (Fig. 26.5). Infelizmente, existe conflito entre aquelas poucas pessoas que caçam os elefantes por seu marfim e os rinocerontes por seus chifres e os muitos que têm prazer em vê-los. A intensidade da caça foi revelada num estudo de um parque nacional na Zâmbia, onde a fração de elefantes fêmeas sem marfim aumentou de 10% em 1969 para 38% em

FIG. 26.4 Muitas espécies têm valores econômicos para os humanos. Os mercados públicos nos países tropicais, como este em Nairóbi, Quênia, oferecem centenas de variedades de produtos vegetais locais, tais como frutos, fibras e plantas medicinais. Muitos desses produtos são coletados de ecossistemas naturais, outros de espécies cultivadas localmente ou por todo o mundo. Fotografia de R. E. Ricklefs.





FIG. 26.5 A biodiversidade pode atrair turistas para uma área.

A diversidade inspiradora da vida selvagem na África é boa parte de seu atrativo para determinadas espécies. Em nenhuma outra parte pode-se ver a zebra-de-grevy (*Equus grevyi*, fotografada aqui) ou dúzias de outros grandes mamíferos em seus ambientes naturais. Muitas dessas espécies estão ameaçadas: a população da zebra-de-grevy na África caiu de 70% para uns poucos 2.000 indivíduos entre 1977 e 1988, e sua recuperação está dificultada pela competição com a criação doméstica e a sobrepastagem de suas terras de alimentação. Fotografia de R. E. Ricklefs.

1989, consequência direta da caça ilegal de marfim seletiva. Não ter dentes nas fêmeas é um atributo genético, e como os caçadores matam somente os indivíduos com marfim, a caça favorece fortemente uma população sem marfim. Uma mudança na frequência de um atributo de 10% para quase 40% em uma geração sugere uma forte seleção de fato.

O ecoturismo tem sido responsável pelo desenvolvimento e a manutenção de um número crescente de parques e reservas em muitas partes do mundo. Seu impacto se expandirá à medida que mais pessoas se tornem conscientes da gratificação que vem de experimentar a natureza diretamente. A capacidade do ecoturismo em conferir valor às espécies é, contudo, finita. As pessoas têm dinheiro limitado para gastar, e um mero aumento no sistema de reserva não necessariamente gerará mais turismo. Além do mais, algumas áreas de imensa importância biológica, com alta diversidade e endemismo, não são atraentes como destinos ou são inacessíveis para a maioria dos turistas. Os desertos, as regiões semiáridas, muitas ilhas e a maioria dos ecossistemas marinhos caem nesta categoria. Mais ainda, a maioria das espécies simplesmente não são interessantes ou mesmo perceptíveis para o público em geral. Sua preservação dependerá de viver em associação com espécies mais valiosas — as assim chamadas **espécies-bandeira**, como os pandas-gigantes, os guepardos ou as tartarugas-de-couro — ou *habitats*.

Indicação de qualidade ambiental

Cada espécie pode ter um considerável valor como indicador de uma mudança ambiental mais ampla e de alcance mais longo. Durante as décadas de 1950 e 1960, as populações de muitas aves predadoras e piscívoras nos Estados Unidos, particularmente o falcão-peregrino, a águia-americana, a águia-pescadora e o pelicano-marrom, declinaram drasticamente. Diversas destas espécies desapareceram de grandes áreas, e o falcão-peregrino,

de todo o leste dos Estados Unidos. As causas do declínio dessas populações foram rastreadas até a poluição dos *habitats* aquáticos por produtos decompostos (resíduos) do DDT, um pesticida amplamente usado para gerar um benefício imediato no controle das pragas de plantações e vetores de mosquito da malária após a Segunda Grande Guerra. A produção em todo o mundo do pesticida durante a década de 1970 foi cerca de 70.000 t/ano. Infelizmente, os resíduos do pesticida resistem à degradação e entram nas cadeias alimentares aquáticas, onde se acumulam nos tecidos gordurosos dos animais e se concentram a cada passo da cadeia alimentar. As altas doses consumidas pelas aves predadoras interferem com sua fisiologia e reprodução, tornando as cascas dos ovos excessivamente finas e causando a morte dos embriões (Fig. 26.6). O sucesso da reprodução despencou, e as populações em seguida.

A população do peregrino foi um indicador sensível da saúde geral do ambiente. Seu sumiço disparou o alarme para os ambientalistas; em 1962, Rachel Carson alertou sobre uma “primavera silenciosa” quando nenhuma ave restaria para cantar. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA) respondeu banindo o DDT e pesticidas relacionados em 1972, e as companhias químicas têm desde então imaginado alternativas que tenham efeitos menos drásticos no ambiente. De fato, o DDT vem também perdendo muito de sua eficiência na América do Norte e em toda parte, à medida que as populações de mosquitos e outras pragas de insetos desenvolveram resistência a ele. A águia-americana e a águia-pescadora estão sendo avistadas novamente, e graças à ajuda de dedicados biólogos, que criaram aves obtidas de outras partes da abrangência geográfica e as liberaram no leste dos Estados Unidos, o falcão-peregrino tem ensaiado um retorno. Isto foi uma grande vitória, não somente para o peregrino e a causa da conservação das espécies, mas também para a qualidade geral do nosso próprio ambiente, porque a população do peregrino não poderia ser salva até que o uso do DDT, que afeta muitas espécies, fosse banido. O DDT continua a ter utilidade em alguns locais — por exemplo, dentro de casas em países tropicais para controlar os vetores do mosquito da malária — mas seu uso, e o de outros pesticidas com resíduos persistentes, tem declinado tremendamente sob uma regulação mais rigorosa e uma consciência do público de seus perigos potenciais.



FIG. 26.6 As aves predadoras eram importantes bioindicadores dos efeitos do DDT. A casca destes ovos quebrados no ninho de um pelicano-marrom estavam afinadas pelos resíduos do pesticida DDT. Os pelicanos se alimentam alto na cadeia alimentar, de peixes nos estuários e outras águas costeiras. Fotografia de Betty Anne Schreiber/Animals Animals.

A manutenção da função ecossistêmica

A diversidade de espécies pode ter um valor intrínseco para estabilizar o funcionamento dos ecossistemas. Diversos estudos experimentais sugerem que sistemas mais diversos são mais capazes de manter uma alta produtividade em face de uma variação ambiental. Por exemplo, David Tilman e J. A. Downing, da Universidade de Minnesota, usando áreas experimentais da pradaria de Minnesota contendo diferentes números de espécies de plantas, demonstraram que uma seca severa reduziu a produção da biomassa nas áreas de alta diversidade menos do que nas de baixa (Fig. 26.7a). Tais resultados podem ser explicados pelo fato de que sistemas de densidade mais alta têm mais probabilidade

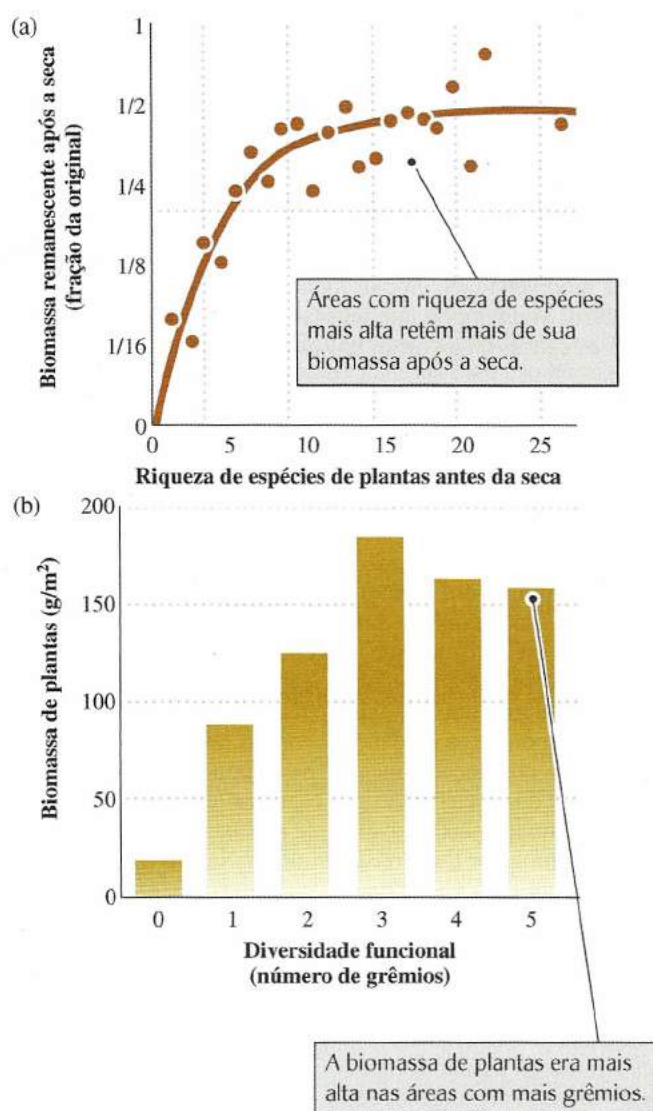


FIG. 26.7 Os ecossistemas diversos são mais produtivos e resistentes à perturbação. (a) O efeito da riqueza de espécies de plantas em áreas de pradaria antes de uma seca sobre a biomassa de plantas e após a seca. (b) A biomassa das plantas nas áreas experimentais artificialmente semeadas em relação ao número de grêmios (anuais de início de estação, anuais de fim de estação, gramíneas perenes, forbiáceas perenes e fixadoras de nitrogênio). Segundo D. Tilman e J. A. Downing, *Nature* 367:363–365 (1994) e D. Tilman et al., *Science* 277:1300–1305 (1997).

de incluir espécies que podem resistir a estresses específicos. À medida que o ambiente muda, espécies diferentes podem assumir o papel de produtores predominantes num ecossistema. É menos provável que tais trocas entre as espécies ocorram em ecossistemas menos diversos. Experimentos controlados por comunidades artificiais estabelecidas em pequenas áreas ou em microcosmos de laboratório analogamente mostram que aumentar o número de grêmios funcionais entre os produtores primários ou aumentar o número de conexões na cadeia alimentar aumenta a produtividade do ecossistema e a instabilidade em face de uma variação ambiental (Fig. 26.7b).

Como vimos na nossa discussão da estrutura de comunidade (Capítulo 18), algumas espécies, especialmente os predadores do topo da cadeia, agem como elementos-chave nas comunidades ecológicas, e sua perda pode levar a mudanças dramáticas na estrutura da comunidade e do funcionamento do ecossistema. A remoção da maior parte dos lobos, ursos e leões-da-montanha na América do Norte, por exemplo, resultou numa sobreabundância de cervos. Sem a predação sobre os cervos, eles tornaram-se tão numerosos que desnudaram florestas de sua vida vegetal, colocando suas próprias populações em condições ruins com um efeito negativo sobre a vida selvagem e os habitats naturais. Uma consequência para os humanos tem sido um aumento no número de acidentes com automóveis (mais da metade de 1 milhão em 2003, resultando em cerca de 100 mortes, 10.000 feridos e mais de 1 bilhão de dólares em danos a veículos) e um aumento na transmissão de doenças de carrapatos, tais como a doença de Lyme (20.000 casos por ano). Em casos extremos, a remoção de um predador-chave pode levar a um colapso total de um ecossistema.

Este resumo básico ilustra por que devemos valorizar a biodiversidade e conservá-la. Mas o que acontece se nossos valores conflitantes não são resolvidos em favor da preservação da biodiversidade?

A extinção é natural, mas a sua taxa atual não é

A extinção é uma grande preocupação dos conservacionistas porque representa o desaparecimento de linhagens evolutivas que não podem nunca mais ser recuperadas. Naturalmente, os sistemas ecológicos de fato continuam a funcionar após a perda de espécies, à medida que retroalimentações ecológicas compensam as mudanças na produção e nas interações das espécies. Contudo, a atual taxa de declínio e perda de espécies, local ou globalmente, é um indicador forte de que muitos sistemas ecológicos estão de fato se deteriorando, descrita de forma melhor no Capítulo 27. Os humanos já causaram a extinção de muitas espécies, e a taxa da perda de espécies provavelmente vai acelerar. Para efetivamente confrontar este problema, precisamos compreender as causas básicas da extinção.

Será útil para nós distinguirmos três tipos de extinção. À medida que os ecossistemas mudam através dos milhares e milhões de anos em resposta às mudanças no clima e nas paisagens, algumas espécies desaparecem e outras assumem seus lugares. Esta substituição de espécies, numa taxa relativamente baixa, é conhecida como **extinção de fundo**. Parece ser uma característica normal dos sistemas naturais.

A **extinção em massa** se refere à morte de um grande número de espécies devido a catástrofes naturais. Os furacões, as erupções vulcânicas e os impactos de meteoros acontecem ocasio-

nalmente, e as espécies que estejam em seu caminho podem desaparecer. Algumas dessas catástrofes têm consequências locais; outras afetam o planeta inteiro.

A extinção antropogênica — extinção causada pelos humanos — é semelhante à extinção em massa no número de táxons afetados, em suas dimensões globais e na sua natureza catastrófica. A extinção antropogênica difere da extinção em massa, contudo, no sentido de que suas causas teoricamente estão sob nosso controle.

A maior parte da informação sobre a extinção de fundo vem do registro fóssil, que revela o surgimento e o desaparecimento de espécies através do tempo geológico. As durações de vida das espécies no registro fóssil variam de acordo com o táxon, mas geralmente caem dentro do intervalo de 1 a 10 milhões de anos. A dinâmica da especiação e extinção revelada pelas reconstruções filogenéticas baseadas nas sequências de DNA das espécies vivas geralmente corrobora estas estimativas. Assim, em média, a probabilidade de que uma determinada espécie se extinguirá num único ano está no intervalo entre 1/1.000.000 e 1/10.000.000. Se, como as estimativas conservadoras têm colocado, algumas de 1 a 10 milhões de espécies habitam a Terra, a taxa de extinção de fundo seria de cerca de uma extinção de espécie por ano.

As extinções em massa ocupam o extremo do espectro. As catástrofes naturais podem causar o desaparecimento de uma proporção substancial de espécies local ou globalmente, dependendo da severidade e da extensão geográfica da catástrofe. As catástrofes locais incluem secas prolongadas, furacões de grande força e erupções vulcânicas. Quando Cracatoa, uma ilha vulcânica das East Indies, explodiu em 1883, nenhum organismo foi deixado vivo; os que por acaso sobreviveram à explosão inicial foram queimados sob uma grossa camada de restos de cinzas vulcânicas (veja o Capítulo 19). Não temos como saber se qualquer espécie desapareceu nesta catástrofe, porque a diversidade

da ilha não havia sido levantada antes da explosão, mas qualquer espécie que fosse endêmica da ilha certamente se extinguiu.

Acredita-se que alguns eventos de extinção em massa aparentes no registro fóssil tenham sido causados pelo impacto de grandes cometas ou asteroides (coletivamente denominados de *bólidos*). Grandes impactos de bólidos com efeitos globais têm ocorrido em intervalos de 10 a 100 milhões de anos ao longo da história da vida. Um exemplo espetacular ocorreu no fim da era Mesozoica (período Cretáceo). Este impacto é o mais famoso por causar a extinção dos dinossauros, mas outros grandes grupos desapareceram também, incluindo o molusco predador semelhante ao náutilus chamado de amonita (Fig. 26.8). A causa de uma extinção ainda maior no fim da era Paleozoica (período Permiano), na qual talvez 95% das espécies de numerosos táxons mais altos desapareceram, é menos certa. Qualquer que tenha sido, essas extinções foram associadas com eventos catastróficos pontuais.

E a extinção antropogênica? Seremos olhados como um “bólide humano” em termos de nosso impacto na biodiversidade? Bem, não ainda. As taxas de extinção em muitos grupos (particularmente entre os grandes animais caçados para alimento e entre as formas de vida) estão muito acima dos níveis de fundo, e muito mais eventos de extinção têm indubitavelmente ficado sem registro. Contudo, se a humanidade se tornar um desastre para a biodiversidade global, toda a força de seu impacto virá no futuro. Mais importante, um tal desastre é prevenível. Examinar as causas da extinção nos capacitará a ver por que isso é assim.

As atividades humanas aceleraram a taxa de extinção

As populações desaparecem quando as mortes excedem os nascimentos durante um período prolongado. Isso é muito óbvio, mas esta verdade também enfatiza que a extinção pode resultar de diversos mecanismos que influenciam os processos de nascimento e morte numa população. Também foi estabelecido que a extinção representa uma falha em se adaptar a condições mutantes, seja porque as mudanças ocorrem muito rapidamente ou porque uma população é incapaz de responder a elas.

O status de conservação das espécies tem sido avaliado de diversas formas, mais notavelmente na Lista Vermelha da International Union for the Conservation of Nature (IUCN, União Internacional para Conservação da Natureza). O esquema de classificação da IUCN reconhece diversos níveis de risco de extinção, classificados do mais em perigo como criticamente ameaçado, ameaçado e vulnerável. As espécies *criticamente ameaçadas* são aquelas cujos números diminuíram, ou se espera que diminuam, por 80% dentro de 3 gerações; acima de 3.000 espécies em todo o mundo foram colocadas nesta categoria. As espécies *ameaçadas* incluem cerca de 5.000 espécies em risco de se tornarem extintas porque suas populações estão pequenas, seus habitats críticos estão ameaçados ou estão em iminente risco de predação ou doenças. Pelo menos no extremo menos crítico da escala de ameaça, as espécies *vulneráveis* incluem cerca de 8.000 espécies que devem se tornar ameaçadas a menos que os fatores que as ameaçam mudem.

Um levantamento de Theodore C. Foin, da Universidade da Califórnia em Davis, e seus colegas descobriu diversas causas que explicam os declínios populacionais das espécies ameaçadas nos Estados Unidos. A causa primária foi (1) redução e modifi-



FIG. 26.8 A segunda maior extinção em massa da Terra ocorreu no fim do período Cretáceo. Os dinossauros e outros grupos, incluindo as amonitas, das quais um fóssil está fotografado acima, se extinguíram devido aos efeitos globais do impacto de um bólido. Fotografia de Kerry Givens/Bruck Coleman.

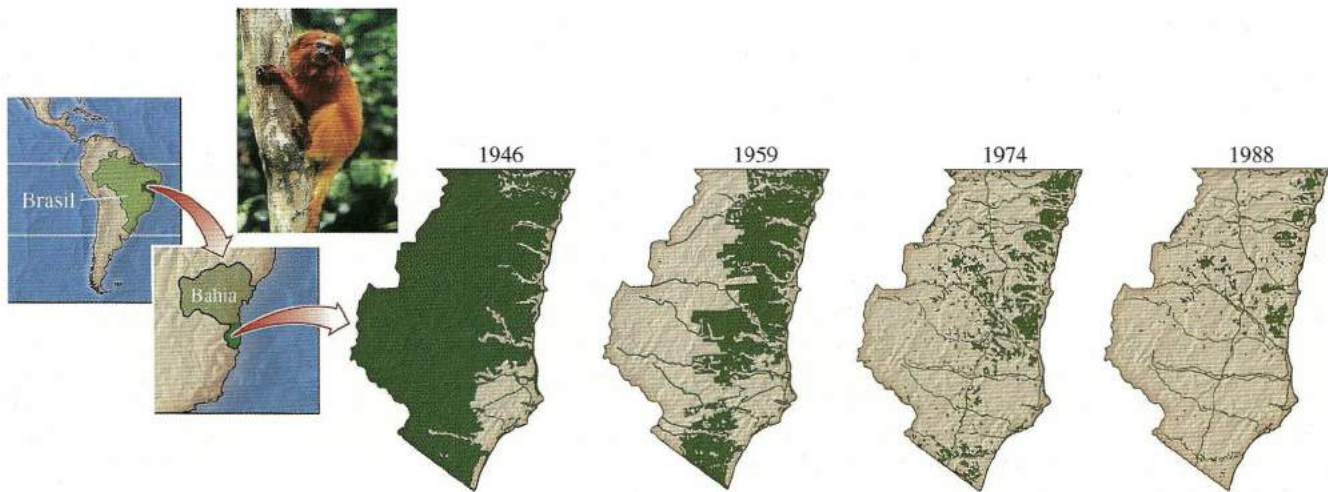


FIG. 26.9 As florestas costeiras atlânticas do Brasil (Mata Atlântica) foram reduzidas a uma pequena fração da sua extensão original. Esses mapas documentam a eliminação da Mata Atlântica no estado da Bahia, Brasil, durante os últimos 60 anos. Diversas espécies endêmicas desapareceram dessa área, e outras, como o mico-leão-dourado, estão gravemente ameaçadas.¹ Mapas de J. R. Mendonça, Projeto Mata Atlântica Nordeste, Convênio CEPLAC/New York Botanical Garden; fotografia de Tom McHugh/Photo Researchers.

¹N.R.T.: O mico-leão-dourado encontra-se em franca recuperação.

cação de *habitat* (67% dos casos), (2) tamanho de população pequeno, (3) sobre-exploração e (4) introdução de espécies. Claramente, a conversão de *habitats* naturais para uso humano e a exploração de recursos naturais inadvertidamente reduzem as populações de muitas espécies até o ponto no qual elas não podem mais se sustentar.

Perda de *habitat* e fragmentação

A redução de *habitat* causa a extinção ao eliminar os lugares adequados para as espécies viverem. Os animais das florestas desaparecerão quando todas as florestas tiverem sido cortadas. Mesmo onde o *habitat* permanece, as condições dentro do *habitat* podem se deteriorar, fazendo com que uma população comece a declinar em direção à extinção.

A redução de *habitat* e, especialmente, a fragmentação em pequenos fragmentos remanescentes impõem uma tremenda ameaça para alguns tipos de vida selvagem. Por exemplo, as florestas costeiras atlânticas do Brasil (Mata Atlântica) têm sido reduzidas a somente um pequeno percentual de sua extensão original (Fig. 26.9), criticamente ameaçando muitas aves e mamíferos endêmicos, como o mico-leão-dourado.² A fauna remanescente é agora o foco de intensos esforços de conservação, mas provavelmente tarde demais para muitas das espécies endêmicas da região. Mesmo na América do Norte, a fragmentação de *habitat* está causando declínios populacionais. A pradaria de grama alta agora existe somente em uns poucos refúgios isolados, e muitas populações de plantas e animais de pradaria estão localmente extintas. Os parques nacionais maiores vêm perdendo muitas de suas espécies de mamíferos nos últimos 50 anos, sugerindo que estas reservas são muito pequenas para manter populações viáveis.

O efeito da redução diária de *habitat* sobre a riqueza de espécies é uma extensão direta da Teoria de Biogeografia de Ilha. No Capítulo 20, vimos que ilhas menores sustentam menos espécies, em parte porque populações menores estão sob um risco maior de extinção devido a processos estocásticos. Da mesma forma, à medida que o *habitat* de uma espécie no continente tem sua área reduzida, sua população se torna menor e seu risco de extinção aumenta. A redução de populações e sua eventual extinção leva tempo, naturalmente, e poderia não ser percebida por muitos anos após a redução da área do *habitat*.

O desaparecimento de muitas espécies de aves canoras nativas de pequenos fragmentos de floresta temperada na América do Norte é parcialmente uma consequência de tamanho pequeno de população e de extinção estocástica local. Mas, como vimos no Capítulo 25, a fragmentação de florestas aumentou o acesso a estas de predadores e parasitas benignos, que são mais típicos de campos e áreas cultivadas. Assim, a fragmentação também causa uma deterioração da qualidade do *habitat*.

A fragmentação pode reduzir a dispersão de indivíduos, transformando grandes populações em metapopulações. Como vimos nos Capítulos 12 e 25, a persistência de uma metapopulação depende da probabilidade de extinção de cada subpopulação nos fragmentos e da taxa de migração dos indivíduos entre os fragmentos. Quanto menores os fragmentos, maior a distância entre eles, e maior a hostilidade da matriz interveniente. E menor a taxa de dispersão, e menor o tempo que a população pode persistir.

Com o tempo, as mudanças no clima fazem com que as populações dos grandes biomas, e dos *habitats* dentro de cada um deles, mudem, como vimos no Capítulo 21. A fragmentação impõe uma séria ameaça à capacidade de os organismos se moverem com a mudança do clima. Ao longo da história da Terra, as mudanças no clima global ocorreram pela deriva dos continentes e as mudanças correspondentes na circulação oceânica. Nos lugares onde as barreiras físicas impedem que as espécies sigam as mudanças climáticas, as populações locais podem se extinguir. Por exemplo, as mudanças climáticas drásticas durante a Era do Gelo, combinadas com as barreiras à dispersão no sul da Europa,

²N.R.T.: Atualmente a espécie está se recuperando, já com mais de 1.000 indivíduos.

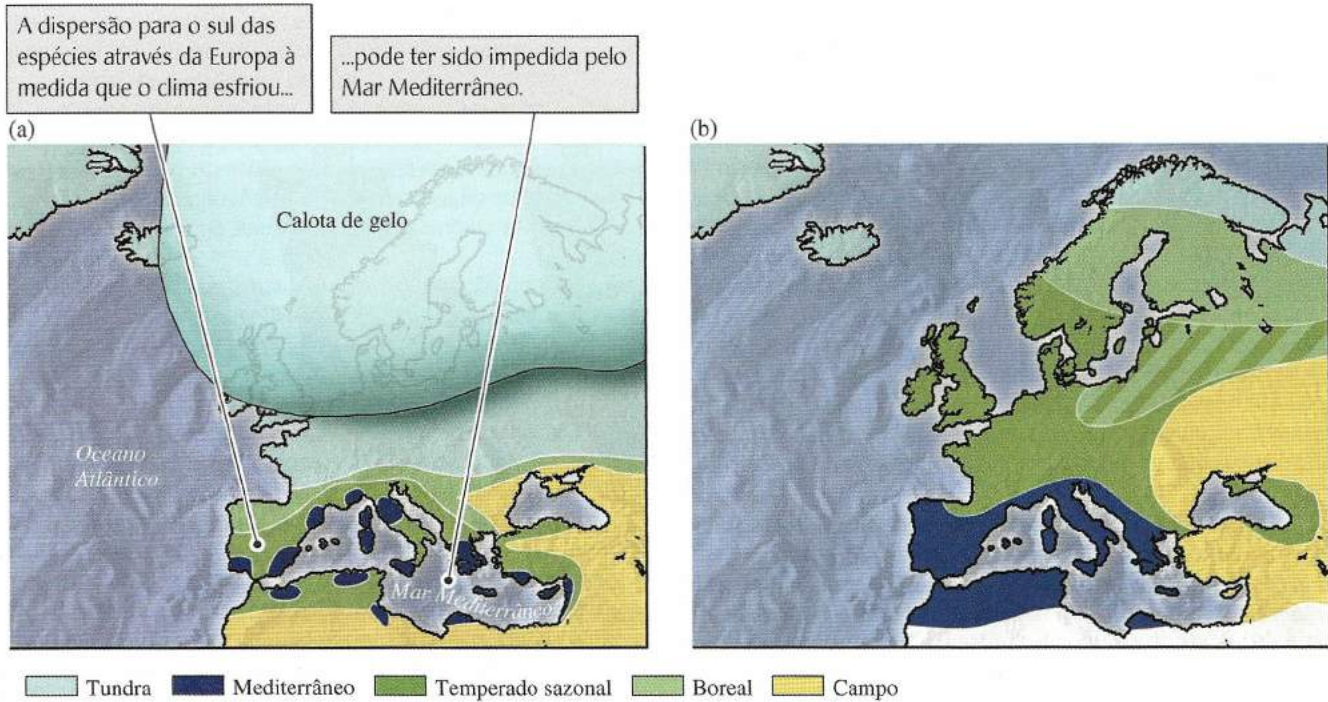


FIG. 26.10 A mudança do clima e as barreiras à dispersão contribuíram para a baixa riqueza de espécies da Europa. Mapas dos tipos vegetacionais da Europa (a) na altura da última glaciação e (b) hoje mostram como a localização do Mar Mediterrâneo pode ter impedido que algumas espécies se movessem em direcção ao sul com a mudança do clima. Segundo J. Blondel e J.-D. Vigne, in R. E. Ricklefs e D. Schluter (eds.), *Species Diversity in Ecological Communities*, University of Chicago Press, Chicago (1993), pp. 135–146.

foram responsáveis pelo empobrecimento atual da flora e fauna europeias (Fig. 26.10).

Os efeitos da fragmentação de *habitat* podem ser amplificados pelo aumento do aquecimento global. Esta mudança antropogénica nas temperaturas médias globais, que pode atingir um aumento de 2–6°C nos próximos 50 anos, poderia igualar o aquecimento do clima da Terra desde a última glaciação somente se acontecer 50 vezes mais rápido (veja o Capítulo 27). Isso causaria provavelmente a extinção de muitas espécies, particularmente de plantas e animais sedentários com tolerâncias estreitas de temperatura, que não podem mudar sua distribuição geográfica rapidamente entre os fragmentos.

Populações pequenas

Apenas ao acaso, todas as populações passam por variações nas taxas de natalidade e mortalidade. Estas variações causam o que é conhecido como variação estocástica, ou randômica, no tamanho da população (veja o Capítulo 12). A magnitude desta variação está inversamente correlacionada com o número de indivíduos numa população. Populações muito pequenas, como aquelas dos fragmentos isolados, podem se extinguir apenas pelo acaso se passarem por vários anos de azar. Este fenómeno é denominado extinção estocástica, e embora seja relativamente improvável, exceto em pequenas populações, sua probabilidade aumenta com a fragmentação dos *habitats*. É particularmente uma ameaça para espécies como os grandes predadores, que tipicamente têm baixas densidades populacionais.

Uma população pequena pode aumentar ainda mais a probabilidade de extinção pela redução da variação genética em sua população (veja o Capítulo 13). Uma pequena população contém

uma proporção menor do *pool* genético da espécie do que uma população maior. Além disso, o endocruzamento tende a reduzir a variação genética. Se uma população passa por um gargalo populacional e perde variação genética, ela pode não ter a capacidade de responder a uma mudança rápida no ambiente. O lagarto-de-colar, por exemplo, vive em pequenas populações — geralmente 20–50 indivíduos — em glebas isoladas de *habitat* xérico em afloramentos rochosos nas Montanhas Ozark do Missouri. Este lagarto é um residente dos desertos do sudoeste, que colonizou as Ozark durante um período de clima quente e seco cerca de 4.000 a 8.000 anos atrás. Os levantamentos genéticos mostraram que as populações de lagartos de Ozark são geneticamente uniformes dentro de cada população, mas diferem-se entre as populações. Este é exatamente o padrão esperado em resultado de perdas estocásticas e diversidade genética em pequenas populações e a ausência de dispersão de indivíduos entre as populações.

É difícil generalizar sobre problemas que resultam de gargalos populacionais, porque há diversos casos de espécies que foram reduzidas quase à extinção e perderam muito de sua variação genética mas se recuperaram quando protegidas. A foca-elefante do norte é um caso desses (veja a Fig. 11.11). Em 1890, a caça tinha reduzido sua população anteriormente numerosa a apenas 100 indivíduos. Desde então, a população aumentou explosivamente para mais de 150.000 indivíduos, distribuídos por toda a parte da sua abrangência anterior na Califórnia e no México. Este aumento representa uma taxa de crescimento populacional anual de mais de 10%. Há vários anos, os pesquisadores não poderiam detectar nenhuma diferença genética entre os indivíduos nas espécies, embora usassem testes que revelassem uma ampla variação genética em outras espécies de mamíferos.

Analogamente, um dos grandes gatos da África, o guepardo (veja a Fig. 13.10), tem pouca variação genética detectável em sua população. A ausência de variação genética pode ter resultado de uma série de crises populacionais e gargalos genéticos. Ou a explicação poderia ser encontrada na estrutura de metapopulação do guepardo: o guepardo poderia ter muitas vezes se extinguido em fragmentos isolados de *habitats*, que foram então recolonizados por indivíduos de subpopulações de outra parte. Embora os guepardos raramente se acasalem em cativeiro, a população parece ser saudável e autossustentável onde ela não é caçada por humanos. Em muitos outros casos, contudo, as populações com uma variação genética reduzida passam por sérias depressões por endocruzamento, reprodução interrompida e mortalidade aumentada.

Sobre-exploração

Armas e outras ferramentas de caça, como redes de arrasto quilométricas, têm feito dos humanos caçadores tão eficientes que muitas espécies literalmente foram caçadas até a extinção. Na história recente, estas perdas na América do Norte incluíram a vaca-marinha, o arau-gigante, o pombo-passageiro e o pato-do-labrador — todos anteriormente abundantes, todos premiados como guloseimas, todos vulneráveis e todos caçados até que o último dos indivíduos desaparecesse. As frotas de pesca de longo alcance e tecnologia de pesca aprimorada vêm reduzindo a produção de muitas espécies de peixes e mudaram a composição das capturas em Georges Bank, ao largo da costa de New

England, e no mar do Canadá, que já foram outrora regiões de pesqueiros ricos no mundo (Fig. 26.11).

A extinção causada pela sobrecaça e sobrepesca não é, contudo, um fenômeno recente. Sempre que os humanos colonizaram novas regiões, alguns elementos da fauna sofreram. Por exemplo, as populações humanas primitivas na região do Mediterrâneo comeram grandes quantidades de tartarugas e moluscos, que eram fáceis de capturar. À medida que as fontes de suprimentos daqueles alimentos foram reduzidas, cerca de 30.000 anos atrás no que agora é a Itália, e cerca de 15.000 anos atrás no que agora é Israel, aquelas populações humanas foram forçadas a mudar seus alvos para as lebres, perdizes e outros pequenos animais e aves (Fig. 26.12).

Logo após humanos aborígenes terem colonizado a Austrália, cerca de 50.000 anos atrás, diversos grandes mamíferos marsupiais, aves sem voo e uma tartaruga desapareceram da ilha continental. Madagascar, uma grande ilha ao largo da costa sudeste da África, recebeu seus primeiros habitantes humanos somente há 1.500 anos, embora sua chegada trouxesse o fim de 14 das 24 espécies de lêmures (a maioria espécies grandes, adequadas para alimento) e entre 6 e 12 espécies de aves-elefantes, gigantes sem voo encontradas somente em Madagascar. Uma análise recente sugeriu que menos que 1.000 colonizadores polinésios da Nova Zelândia caçaram 11 espécies de moas (grandes aves sem voo) até a extinção em menos de um século por volta da mesma época. Extinções semelhantes ocorreram amplamente em ilhas do Pacífico Oeste e nas Ilhas Havaianas, à medida que os humanos se espalhavam pela região. Em cada um desses casos, uma

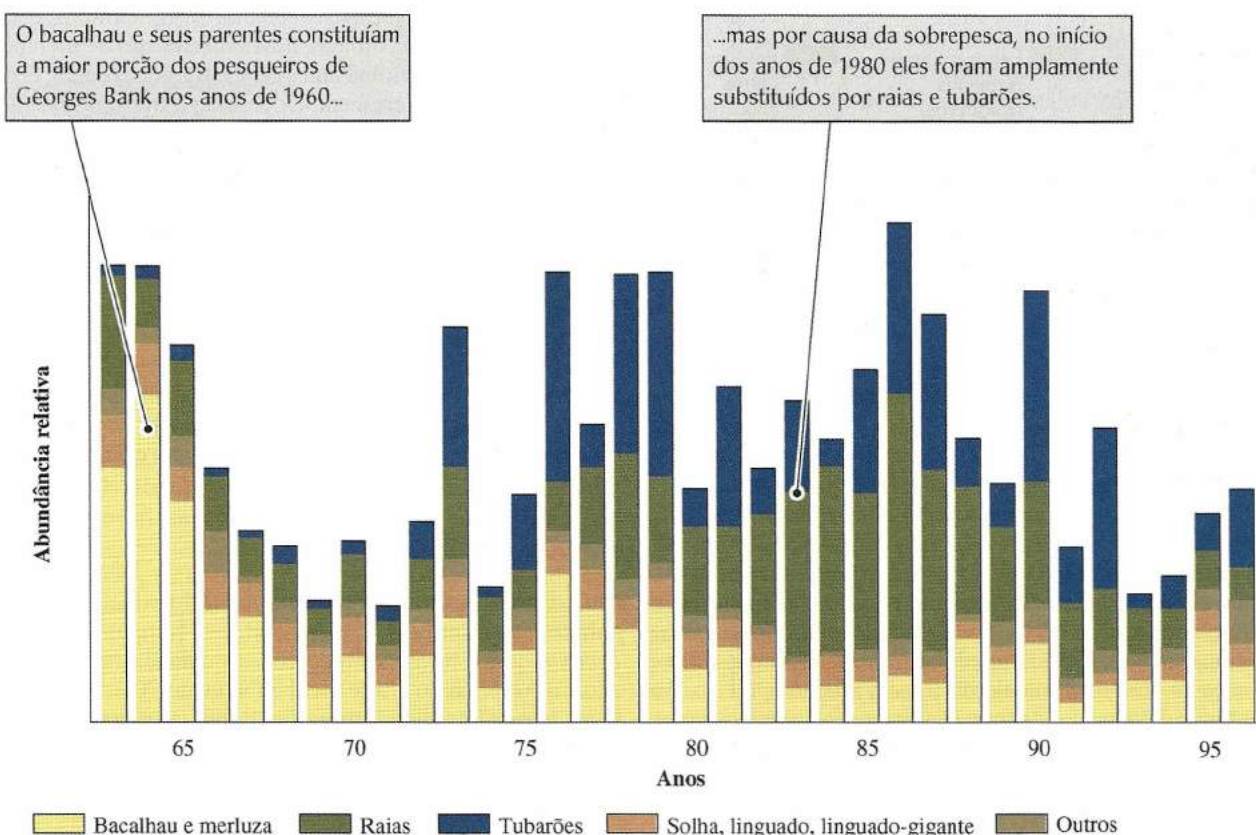


FIG. 26.11 A sobre-exploração pode mudar a composição de espécies de uma comunidade. A composição da comunidade marinha em Georges Bank foi dramaticamente alterada pela sobrepesca. Segundo M. J. Fogarty e S. A. Murawski, *Ecological Applications* 8:S6-S22 (1998).

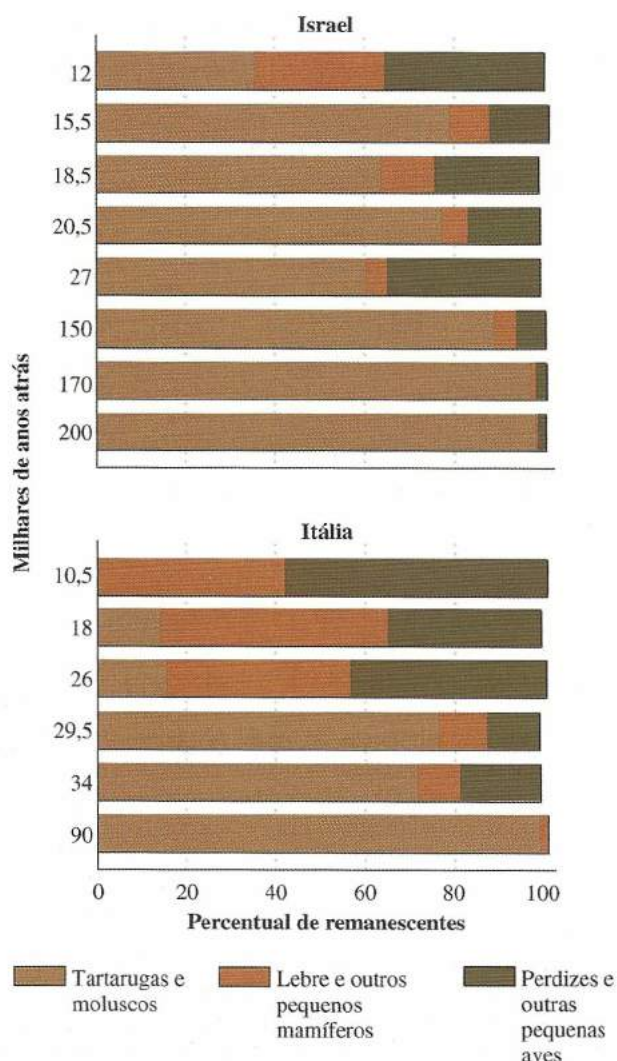


FIG. 26.12 A sobre-exploração de alguns peixes forçou as pessoas a trocá-los por outros. Restos de itens alimentares de sítios arqueológicos do Paleolítico em Israel e na Itália documentam uma troca de presas facilmente capturadas, como as tartarugas e os moluscos, para presas que requerem mais habilidade de caça do que as anteriores que foram deplecionadas pela sobre-exploração. Dados de M. C. Steiner et al., *Science* 283:190–194 [1999].

espécie tecnologicamente superior encontrou populações de ilhas não acostumadas com pressão de predação. Sua ausência de defesas e falhas mesmo em reconhecer o perigo preconizaram o desastre para essas espécies. A falta de autorrestrições por parte de seus caçadores transformou o desastre em extinção.

Não há dúvida de que caçadores humanos foram responsáveis pela extinção de muitas espécies de grandes mamíferos e aves, e estão ameaçando muitos outros. Muitas destas extinções ocorreram antes do desenvolvimento da ciência moderna, tal que os detalhes têm sido pinçados de fontes indiretas, incluindo material fóssil. Está também claro que um conjunto mais complicado de circunstâncias, em vez de simplesmente uma pressão de caça, causou as extinções em alguns daqueles casos. Por exemplo, após os humanos chegarem à Austrália, incêndios, indubitavelmente provocados por humanos, tornaram-se mais frequentes e converteram um mosaico de paisagem adaptado à seca — de árvores, arbustos e campos — em arbustos desérticos adaptados

ao fogo. Os pesquisadores usaram isótopos estáveis em remanescentes de conchas datadas pelo carbono para inferir as dietas de duas grandes aves sem voo — o atual emu e o extinto *Genyornis*. Seus resultados mostram uma mudança abrupta nas dietas das aves pela época em que os humanos chegaram, particularmente uma restrição da dieta de plantas C_3 acompanhada por uma perda na dieta das espécies de planta C_4 tolerantes à seca (veja o Capítulo 3).

A extinção repentina de muitas espécies de grandes mamíferos na América do Norte há 12.000–13.000 anos, coincidindo com as migrações de grande escala de humanos da Ásia, tem sido uma fonte de controvérsia por muitos anos. Logo após a chegada dos humanos, 56 espécies e 27 gêneros de grandes mamíferos, incluindo os cavalos, a preguiça-gigante, o camelo, o elefante, o tigre-dente-de-sabre e um leão desapareceram. As explicações para estas extinções de megafauna variam de uma rápida mudança climática após a retração das geleiras, uma pressão de caça da população humana, até doenças epidêmicas trazidas pelos animais domesticados da Ásia. Recentemente, os pesquisadores apresentaram evidências de um bólido explodindo no ar sobre o leste da América do Norte cerca de 12.900 anos atrás. Eles sugerem que o impacto pode ter trazido na época o período de resfriamento do Dryas Recente, resultando em grandes mudanças ecológicas, extinção de megafauna e provavelmente, inclusive, uma redução no tamanho da população humana na região.

Heike Lotze, na Universidade de Dalhousie, no Canadá, e vários colegas analisaram as populações marinhas em uma dúzia de estuários e áreas costeiras da América do Norte, Europa e Austrália. Eles examinaram os impactos de diversas fases do desenvolvimento da cultura humana sobre as populações marinhas: pré-humanos, caçadores-coletores, agricultores, estabelecimento de mercado colonial, desenvolvimento de mercado colonial, e o mercado global antes de 1950 e no presente. O desenvolvimento cultural crescente, incluindo o transporte de navios, uma crescente eficiência nas tecnologias de coleta e um aumento nas densidades de populações humanas locais foram associados aos declínios nas populações da maioria das espécies de vida marinha e outras espécies dependendo da produtividade marinha. Foram também associados com os declínios na qualidade do *habitat*: cargas aumentadas de nutrientes, acompanhadas por eutroficação e períodos de hipóxia (Fig. 26.13). O número de espécies invasoras aumentou com o desenvolvimento da cultura humana também. Os esforços de conservação nesses sistemas ajudaram a prevenir declínios nas baleias, aves marinhas e outros predadores do topo da cadeia, mas não alteraram significativamente a deterioração do funcionamento e da estrutura ecossistêmica básica.

Introdução de espécies

Muitas reduções na qualidade do *habitat* podem ser rastreadas para trás até a introdução de predadores, competidores ou patógenos — isto é, agentes biológicos de mudança. Nos últimos 200 anos, a América do Norte recebeu mais de 70 espécies não nativas de peixes, 80 de moluscos, 2.000 de plantas e 2.000 de insetos. Essas espécies podem ter chegado acidentalmente — por exemplo, no lastro dos navios — ou terem sido deliberadamente introduzidas para uso em plantações, plantas ornamentais, espécies de caça ou agentes de controle biológico.

Um dos resultados surpreendentes dos estudos sobre as introduções biológicas foi que a competição de espécies introduzidas raramente causou declínio nas populações e extinção das nativas.

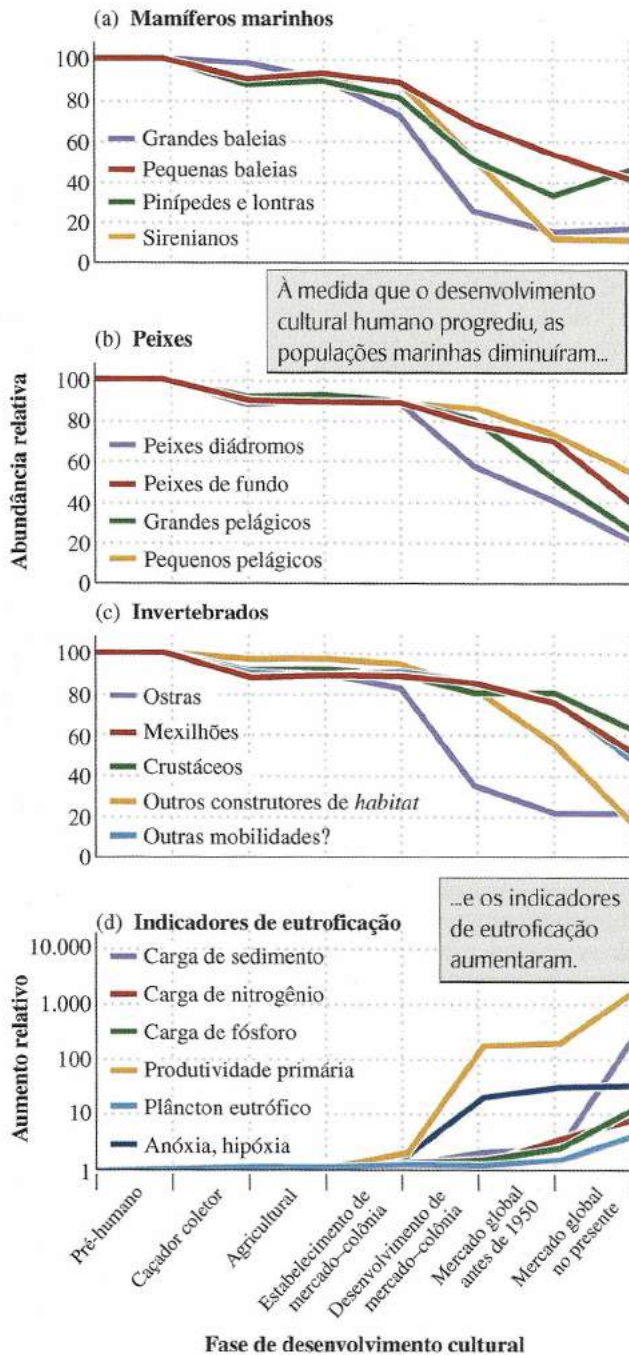


FIG. 26.13 Os padrões de declínio nos organismos marinhos refletem o desenvolvimento da cultura humana. As mudanças nas populações de (a) mamíferos marinhos, (b) peixes e (c) invertebrados e em (d) indicadores de eutroficação são mostradas em relação aos níveis pré-humanos. Segundo H. K. Lotze et al., *Science* 312:1806–1809 (2006).

Por exemplo, o número de espécies não nativas colonizadas com sucesso e que se estabeleceram em ilhas é maior do que o número de espécies nativas que desapareceram daquelas ilhas. As ameaças críticas são novos predadores, competidores e patógenos, com os quais a fauna e a flora nativas estão normalmente pouco adaptadas para lidar. A cobra-arbórea-marrom (*Boiga irregularis*), introduzida em Guam vinda da Ásia, literalmente comeu a maior parte das aves terrestres endêmicas da ilha até a



FIG. 26.14 A introdução de espécies pode ter efeitos negativos na biota nativa. O caracol-de-árvore nativo das Ilhas do Havaí está sendo eliminado por caracóis predadores introduzidos, como este da foto. Fotografia de Bob Gossington/Bruce Coleman.

extinção. As Ilhas Havaianas também têm sofrido muito com a introdução de espécies. Os caracóis-de-árvores havaianos tornaram-se presas dos caracóis predadores introduzidos (Fig. 26.14). As grandes causas de mortalidade das aves havaianas têm sido a malária e o vírus pox — que não teriam sido um problema se o mosquito que transmite estas doenças não tivesse sido introduzido também nas ilhas. As florestas nativas havaianas sofreram com a invasão de espécies de ervas agressivas, que sobrepujaram as nativas.

As áreas continentais também estão vulneráveis a espécies introduzidas, que podem escapar aos controles naturais de predadores, parasitas e herbívoros que mantinham suas populações sob controle em suas abrangências nativas. A salgueirinha (*Lythrum salicaria*) e as madressilvas-japonesa e do-amor (*Lonicera japonica* e *L. maackii*), introduzidas como plantas ornamentais, agora dominam os alagados e a vegetação de sub-bosque da floresta em boa parte do leste da América do Norte. O clima subtropical do sul da Flórida é ideal para a *Melaleuca* australiana introduzida e uma pimenta brasileira (*Shinus terebinthifolius*), que cobrem imensas áreas eliminando a vegetação nativa sempre que se espalham. Os insetos introduzidos também vêm se naturalizando com sucesso. As abelhas-de-mel europeias foram introduzidas na América do Norte e em outras partes do mundo para polinizar as plantas. Elas têm sido extremamente benéficas para a agricultura, mas também deslocaram as abelhas nativas de muitas áreas. Ironicamente, as populações de abelhas-de-mel naturalizadas têm caído dramaticamente nos últimos anos devido ao ácaro parasita *Varroa* introduzido e aos vírus que ele transmite. Outros insetos, como as formigas-de-fogo e as mariposas-ciganas, têm causado mudanças drásticas em ecossistemas locais, algumas das quais já tinham sido alteradas anteriormente no século 20 pela doença do olmo holandês e pela ferrugem-da-castanheira.

Os ecossistemas aquáticos parecem ser particularmente vulneráveis à introdução de espécies, talvez por causa do controle dominante *top-down* pelos predadores e da alta taxa na qual a energia e os nutrientes são processados nas teias alimentares aquáticas. No primeiro capítulo deste livro vimos o efeito devastador da introdução da perca do Nilo sobre os ciclídeos endêmicos do Lago Victoria. À medida que a abundância dos ci-

clídeos, muitos dos quais controladores de zooplâncton, decaiu, a abundância de zooplâncton aumentou, e a produção primária de fitoplâncton caiu a níveis baixos, dramaticamente alterando todo o ecossistema do lago. Uma grande parte dos nutrientes do lago é agora assimilada pelas plantas jacinto-de-água, que formam redes contínuas sobre milhares de hectares da superfície do lago.

Os mexilhões-zebra (*Dreissena polymorpha*) chegaram aos grandes lagos da América do Norte em 1988, vindos do Mar Cáspio, aparentemente em águas de lastro de navios. Eles agora são tão abundantes nos lagos e rios que estão invadindo as áreas das espécies nativas e deplecionando severamente as fontes de alimento do fitoplâncton, causando bilhões de dólares de danos a barcos, represas, usinas e estações de tratamento de água. A América do Norte também entrou com sua parte de espécies invasoras para o resto do mundo. A carambola-do-mar (*Mnemiopsis leidyi*) chegou ao Mar Negro das águas costeiras do Atlântico Norte em 1982. Em 1989, esta espécie constituía mais de 95% da biomassa dos organismos aquáticos do Mar Negro, atingindo densidades de 400 indivíduos por metro cúbico de água. A espécie se espalhou para o Mar Cáspio em 1999, deplecionando 75% do zooplâncton lá, e desde então se espalhou através do Mediterrâneo para o Mar do Norte e Mar Báltico e o Norte da Europa.

Não há sinais de que tais introduções estejam diminuindo. Infelizmente, a homogeneização de muito da biota do mundo está ocorrendo à custa das espécies endêmicas.

Doenças emergentes

Entre as muitas espécies introduzidas estão vários parasitas que causam doenças em seus hospedeiros. Tais patógenos podem ser trazidos para novas áreas por viajantes ou suas cargas, ou podem ser colocados em contato com novos hospedeiros potenciais após uma fragmentação de *habitat*. Em qualquer caso, o patógeno pode começar a explorar novas espécies de hospedeiros e criar uma **doença emergente**. A Organização Mundial de Saúde (OMS) define uma doença emergente como aquela que apareceu numa população pela primeira vez, ou que pode ter existido anteriormente mas que está aumentando rapidamente em incidência ou abrangência geográfica. Muitas das doenças emergentes mais sérias nos humanos são causadas por vírus, incluindo o vírus da imunodeficiência humana (HIV), o hantavírus, o vírus do oeste do Nilo e o vírus H5N1 (que causa a gripe aviária). Outro grande flagelo humano é o do protista *Plasmodium falciparum* (que causa malária) e da bactéria *Yersinia pestis* (que causa a peste bubônica).

Os animais e as plantas também sofrem de doenças emergentes, que podem ter efeitos secundários consideráveis sobre os ecossistemas. Por exemplo, o gado trazido para a África colonial da Europa e da Ásia carregava uma doença viral altamente infecciosa chamada de morrinha. Esta doença infectou as populações naturais de diversas espécies silvestres, qualificando-a como uma doença emergente para aquelas espécies. Por várias décadas durante meados do século 20, a morrinha dizimou populações de gnus no ecossistema do Serengeti. Sem o controle dos pastadores, as gramíneas cresceram fortemente e, durante a estação seca, alimentaram incêndios que se espalharam através das savanas matando as esparsas árvores e alterando a estrutura e o funcionamento do sistema. Na década de 1960, o uso disseminado de vacinas controlou a morrinha no gado, e a doença declinou nas populações silvestres. A população de gnus recu-

perou-se amplamente, restaurando o ecossistema do Serengeti ao seu estado primordial. Contudo, em 1994, uma variante do vírus da raiva canina saltou sobre as populações de leões do Serengeti, matando um terço dos indivíduos numa epidemia que rapidamente se espalhou para outras áreas. Imaginou-se que a doença tivesse se originado em cães domésticos, vivendo em muitas vilas em torno do Parque Nacional do Serengeti, e que se espalhou para os leões através das hienas, que vinham para as vilas e também se alimentavam com os leões em caças dentro do parque. A população declinante desses predadores do topo não pode mais controlar as populações de herbívoros da mesma forma, e assim novamente as populações de herbívoros estão crescendo.

Vulnerabilidade à extinção antropogênica

Por que algumas espécies parecem mais vulneráveis à extinção antropogênica do que outras? Esta questão é difícil de responder. Claramente, as espécies que atraem a atenção dos exploradores humanos são colocadas sob grande pressão. Além disso, as espécies que evoluíram na ausência da caça (particularmente aquelas em ilhas remotas, que não têm a maioria dos tipos de predadores) ou na ausência de patógenos diversos parecem reagir fracamente após a chegada dos humanos. As espécies com abrangências geográficas limitadas, restritas a certas distribuições de *habitat*, ou populações locais pequenas, são também vulneráveis, como se poderia esperar.

Mas o que torna uma espécie rara e de distribuição local, enquanto um parente próximo que apresenta adaptações aparentemente semelhantes é abundante e amplamente distribuído? A diferença entre o sucesso e o fracasso nos sistemas naturais pode se esconder em diferenças muito pequenas no sucesso de reprodução ou na longevidade — talvez pequenas demais para nós as detectarmos em estudos de populações naturais. A maioria das espécies persistem por um milhão ou mais anos, tal que suas populações podem ser completamente autossustentáveis e capazes de se recuperar de derrotas infligidas por um mundo variável. Os atributos que permitem a elas persistir através do tempo evolutivo deveriam servir igualmente bem em nosso rápido mundo mutante. Os fatores que fazem uma população entrar num declínio para a extinção poderiam ser muito sutis. Até agora, os ecólogos foram capazes de dizer pouco sobre esta questão. Se as espécies raras transformaram-se em espécies ecologicamente mais especializadas, por exemplo, nós ainda precisamos determinar o que promove a especiação.

Comparando-se as espécies vulneráveis com aquelas que estão indo bem, os ecólogos identificaram diversas características inerentes associadas às populações ameaçadas e em declínio. Na análise das ameaças de extinção às espécies de mamíferos, Marcel Cardillo e seus colegas do Imperial College, Londres, determinaram que as pequenas espécies (menos de 3 kg de massa corporal) eram vulneráveis à extinção antropogênica principalmente por causa de fatores externos, incluindo uma pequena abrangência geográfica e altas densidades populacionais humanas. Por outro lado, as espécies maiores estão em perigo principalmente por causa de suas qualidades extrínsecas, tais como longos períodos de desenvolvimento, baixas taxas de reprodução e baixas densidades de populações locais, que retardaram sua recuperação de quedas na população. Esta descoberta sugere que as espécies menores se beneficiariam de uma proteção global dos *habitats* ameaçados, enquanto as maiores exigem uma aten-

ção mais individual a fatores específicos que influenciam sua sobrevivência e sucesso reprodutivo.

Os projetos de reservas para espécies individuais devem garantir uma população autossustentável

A forma direta de manter uma população é garantir a existência de uma área suficiente de *habitat* adequado que pode mantê-la livre de competidores introduzidos, predadores e patógenos. Na prática, o projeto de reservas naturais deve levar em conta os requisitos ecológicos das espécies focais e a quantidade de espaço necessário para sustentar uma **população mínima viável (MVP³)** — a menor população da espécie que pode se autossustentar em face da variação ambiental. Em outras palavras, a população deve ser grande o bastante para permanecer fora de perigo da extinção estocástica. A população deve também ser distribuída amplamente o bastante para que catástrofes locais, como furacões e incêndios, não ameacem toda a espécie. Ao mesmo tempo, algum grau de subdivisão da população pode impedir a disseminação de doenças de uma parte da população para outra.

Garantir um *habitat* adequado torna-se mais complexo quando uma população tem diferentes requisitos de *habitat* durante estações diferentes, ou quando passa por migrações sazonais de grande escala. No ecossistema do Serengeti, do leste da África, os padrões de distribuição de chuva e crescimento de plantas variam sazonalmente com a região. Grandes populações de pastadores, como os gnus, as zebras e as gazelas, executam migrações sazonais de longa distância em busca de pasto adequado (veja a Fig. 10.6). Não seria possível isolar uma parte dessa área como uma reserva, porque essas populações precisam de todo o ecossistema do Serengeti em diferentes épocas do ano. Da mesma forma, manadas de bisões⁴ não podem ser restauradas nas pradarias da América do Norte, porque suas rotas de migração sazonais estão agora bloqueadas por quilômetros de cerca e campos cultivados. O bisão sobrevive em umas poucas e pequenas reservas no oeste da América — mais notavelmente no ecossistema do Grande Yellowstone — mas o ambiente natural do bisão está irreversivelmente perdido.

Reconhecendo a importância crítica de áreas grandes e contínuas de *habitat* para a preservação das populações selvagens e do funcionamento dos ecossistemas, uma coalizão de gestores de terras privadas, federais e estaduais, dentro de uma área de 80.000 km² centrada no Parque Nacional de Yellowstone no Wyoming (Fig. 26.15), desenvolveu planos para manter a região numa condição próxima à natural e tão autossustentável quanto possível. A área é chamada de Grande Ecossistema de Yellowstone. O plano inclui permitir incêndios florestais naturais, como só foi feito antes em 1988 em metade da área do Parque Nacional de Yellowstone, e restaurar as populações dos predadores do topo da cadeia, como o urso-pardo e o lobo-cinza. Estes predadores proporcionarão controle natural das populações de grandes pastadores, particularmente do abundante alce no ecossistema.

Os lobos foram exterminados da área em 1926, e a explosão da população de alces após serem liberados da predação alterou

consideravelmente a vegetação da área, quase eliminando o álamo e o algodão-do-brejo ao longo dos rios. Trinta lobos canadenses foram introduzidos no Grande Ecossistema de Yellowstone em 1995. Sua população rapidamente aumentou, e eles imediatamente começaram a alterar o caráter do ecossistema. As populações de alce caíram pela metade, e o alce mudou sua pastagem de margens de rios, onde eram mais vulneráveis à predação, para áreas mais abertas e dispersas. Em consequência, as árvores de álamo e algodão-do-brejo estão agora prosperando, e os castores retornaram à região. Uma consequência inesperada da reintrodução do lobo foi uma redução severa na população de coiotes, que levou a um aumento da população de cervos da cauda branca na região. As abundantes carcaças de alces e outras presas do lobo também beneficiaram as populações de carniceiros como o corvo-de-rapina e as águias douradas, que são agora comuns. Acima de tudo, o ecossistema está voltando para um novo e autossustentado equilíbrio natural em consequência da reintrodução do lobo.

As migrações de longa distância impõem problemas especiais para a conservação de muitos tipos de aves. Algumas aves pernalta, como os maçaricos, se reproduzem na tundra do Ártico, mas a manutenção de suas populações também depende da conservação das praias e estuários que eles usam durante as migrações de primavera e outono, e como solos de invernada (Fig. 26.16). Muitas aves canoras da América do Norte, cujas populações vêm declinando durante as últimas décadas, passam seus invernos — sabiamente, parece — nas florestas da América Central e do Sul. Suas populações têm sido deslocadas numa dupla ameaça pela fragmentação da floresta por grande parte de sua abrangência de reprodução na América do Norte e pelo extensivo desmatamento de floresta e dispersão de pesticidas na América Latina. As aves que migram entre a Europa e a África, e entre a Sibéria e o sudeste da Ásia, encontram os mesmos problemas.

Quando as ameaças de extinção vêm de perdas de *habitat*, a estratégia de conservação é relativamente direta: o *habitat* precisa ser preservado. Mas isso pode ser dispendioso e politicamente difícil de conseguir. É também impraticável desenvolver uma estratégia de conservação para todas as espécies, e o bem-estar da maioria necessariamente dependerá dos esforços de conservação dirigidos para umas poucas dessas espécies, mais notáveis e criticamente ameaçadas. À medida que a preservação de *habitat* se tornar mais e mais o foco dos esforços de conservação, torna-se especialmente importante identificar os *habitats* que são mais críticos para manter a diversidade de espécies como um todo e determinar a área daqueles *habitats* exigida para manter populações mínimas viáveis da maioria das espécies. Cada decisão sobre uma espécie ou um *habitat* dependerá de julgamento de valores. O que determina quais espécies devem ser salvas? Como o seu "valor" é medido?

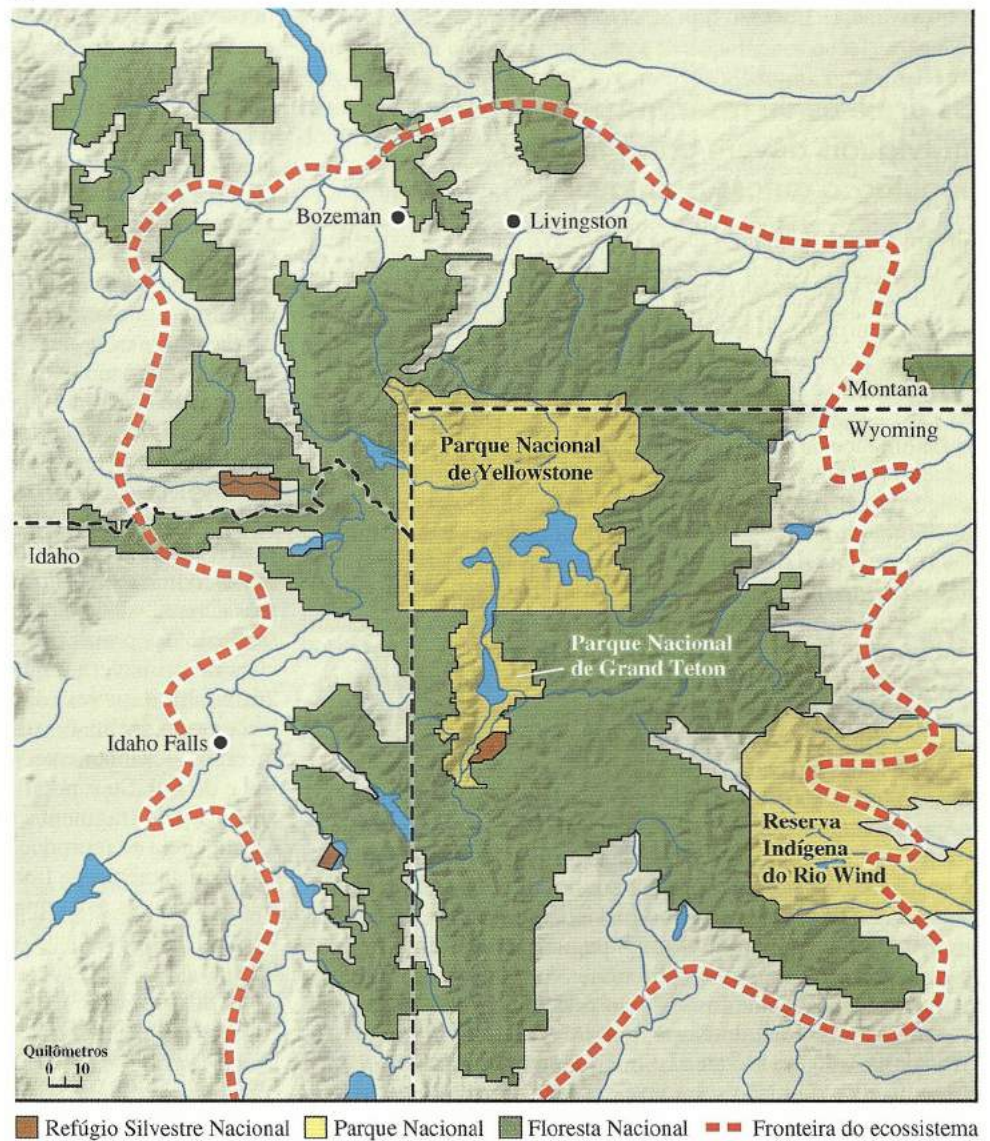
Habitats críticos e áreas geográficas para conservação

O que torna uma área crítica para a conservação? As áreas mais valiosas são aquelas que proporcionam paraísos para grande número de espécies não representadas em outra parte — como os *hotspots* de biodiversidade descritos anteriormente neste capítulo. Muitos tipos de *habitats* críticos, como as florestas decíduas tropicais, os campos, os manguezais, os estuários e os recifes de coral, estão desaparecendo rapidamente e merecem uma atenção especial. O valor de conservação reflete uma combinação de di-

³N.R.T.: *Minimum viable population*.

⁴N.R.T.: Chamados pelos americanos de "búfalos", embora esse termo se refira universalmente a espécies que são nativas da África, não das Américas.

(a)



(b)

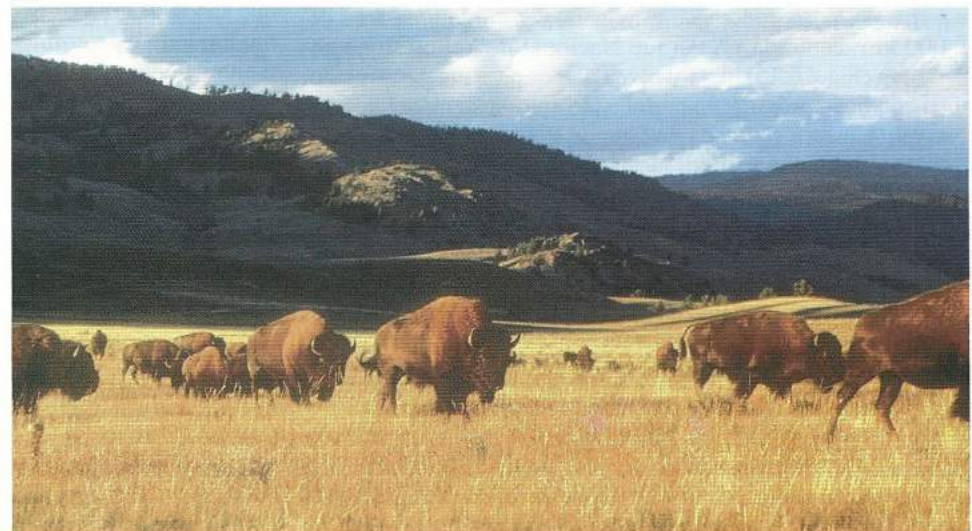


FIG. 26.15 O ecossistema do Grande Yellowstone protege uma área grande e contínua de *habitat* natural.

(a) O ecossistema do Grande Yellowstone inclui parques nacionais, florestas e refúgios da vida silvestre, uma reserva de índios e terras privadas. (b) Embora as pradarias por todo o oeste da América estejam agora cercadas e usadas para plantações, essa grande reserva é um dos poucos lugares onde os bisões e os alces, junto com seus predadores, têm acesso e liberdade de se movimentar em áreas grandes de terra de pastagem. Mapa (a) segundo Greater Yellowstone Coalition; fotografia (b) de Fred Brummer/DRK Photo.

FIG. 26.16 As populações que executam migrações sazonais de longa distância apresentam desafios para a conservação.

Os maçaricos e os girapiedras se alimentam dos ovos deixados pelo caranguejo-ferradura durante o mês de maio ao longo da costa da baía de Delaware. Estes ovos são uma grande fonte de alimento para as aves marinhas em migração. Este *habitat* é tão necessário para a sobrevivência das aves quanto suas áreas de reprodução e de invernada, mas as populações do caranguejo-ferradura estão declinando devido à poluição ambiental e ao uso da carne de caranguejo como isca em outros pesqueiros. Fotografia de John Bova/Photo Researchers.



versidade local e endemismo. Como regra geral, o endemismo é mais alto nas ilhas oceânicas, nos trópicos e em regiões montanhosas. Assim, Madagascar, Nova Caledônia e os arquipélagos do Havaí, dos Galápagos e das Canárias são áreas extremamente críticas para conservação. Levantamentos extensivos da biodiversidade em regiões continentais estão começando a identificar áreas críticas lá também. Os esforços de planejamento, contudo, são continuamente bloqueados pela falta de informação detalhada e por valores conflitantes associados a diferentes componentes da biodiversidade.

O número de reservas que podemos separar e a área que elas encobrem está necessariamente limitado por considerações econômicas, e assim o planejamento de reservas deve visar os *habitats* e as áreas de especial interesse biológico. Do ponto de vista da biodiversidade, ganha-se mais separando diversas pequenas reservas espalhadas sobre uma variedade de *habitat* e áreas de alto endemismo do que preservando uma área igual em um único tipo de *habitat*. Valores outros que a biodiversidade podem ditar a proteção de certas áreas grandes, tais como o Grande Ecossistema de Yellowstone, e discutiremos alguns deles no próximo capítulo. Uma coisa é certa: o custo de separar áreas cada vez maiores de um tipo específico de *habitat* aumenta desproporcionalmente com a área propriamente dita. Isto é assim simplesmente porque a terra é mais barata em termos de valores econômicos, sociais e políticos se for separada primeiro. À medida que mais terra é adicionada a um sistema de reserva, o preço de compra invariavelmente aumenta, assim como os recursos perdidos. Não é por acaso que a maioria dos parques e reservas está localizada em áreas remotas e subpovoadas, porque estabelecer uma reserva se torna mais difícil quando ela conflita com os interesses econômicos.

Um exemplo desse conflito envolvendo a proteção de terras em 1968, e a expansão em 1978, de uma grande área de floresta de pau-vermelho de crescimento antigo no norte da Califórnia é o Parque Nacional de Pau-Vermelho, que se opunha à indústria madeireira. Neste caso, a unicidade do *habitat* de pau-vermelho e sua rápida conversão em fazendas de manejo de árvores aumentaram o valor para a sociedade de separar uma grande área deste *habitat* para a posteridade. Combinado com as terras do Parque Estadual da Califórnia adjacente, esta reserva cobre mais

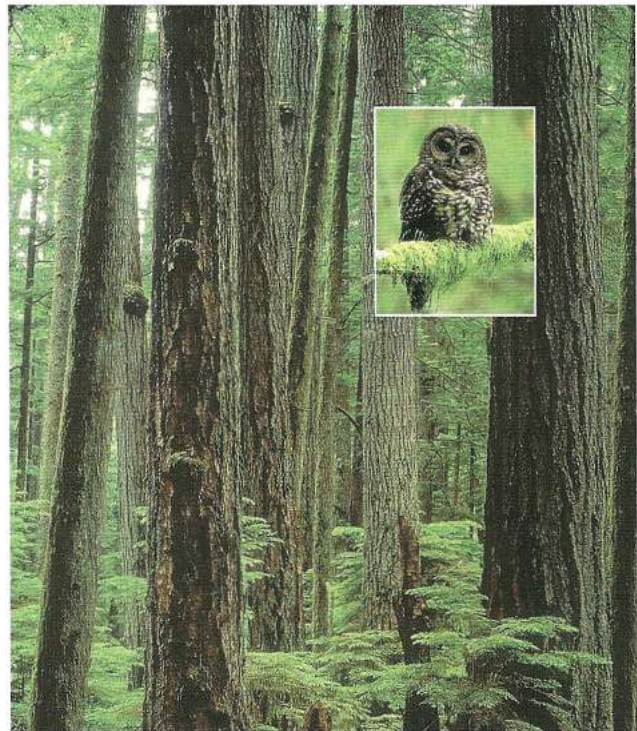


FIG. 26.17 Interesses e valores conflitantes apresentam obstáculos à conservação. Em Washington e no Oregon as necessidades de *habitat* da coruja-manchada têm entrado em conflito com os interesses da indústria madeireira. Foto principal de Tom e Pat Leeson/Photo Researchers; e foto de inserção por Janis Burger/Bruce Coleman.

de 45.000 ha, incluindo mais de 15.000 ha de floresta de “crescimento antigo”. Uma controvérsia semelhante ocorre em volta das florestas de abeto-douglas de crescimento antigo de Washington e Oregon, onde as exigências de *habitat* para habitantes tão únicos como a coruja-manchada e o airo-marmoreado entraram em conflito com a economia madeireira local (Fig. 26.17).

Muitos países tropicais, particularmente na América Central e do Sul, estão na posição invejável de ter grandes áreas de floresta intocada e relativamente não perturbada de *habitats* tropicais de outros tipos. Esses *habitats* foram protegidos no passado por estarem em regiões geograficamente remotas e pelo pequeno tamanho das populações locais. Ainda é possível reservar grandes áreas em países como Brasil, Guiana, Equador, Peru e Bolívia, e vários governos tomaram iniciativas durante a última década para preservar áreas de terra daquelas remanescentes. O problema é complicado, contudo, por causa do rápido crescimento da população humana, pelo aumento da exploração dos produtos da floresta e pela conversão de florestas em plantações. Tal exploração é justificada por uma legítima necessidade de alimentar as pessoas e gerar receita de exportação para o desenvolvimento econômico. Assim, o preço da conservação está crescendo rapidamente em boa parte do mundo, e muitos países em desenvolvimento são incapazes de pagar a conta.

Mesmo quando as terras são separadas “no papel”, muitos países não têm recursos para protegê-las de grileiros, caçadores e políticos que concedem licenças para mineração e extração de madeira dentro de áreas protegidas, de maneira a obter lucros de curto prazo. Por esta razão, a conservação deve ser um esforço internacional, e o bem-estar dos países desenvolvidos deve ser compartilhado globalmente para proteger a biodiversidade global. Uma das receitas de maior sucesso para proteger áreas de forma eficiente é envolver as pessoas locais no projeto e na gestão, tal que os benefícios da conservação se tornem tangíveis e economicamente motivadores. Um levantamento dos fatores que contribuem para o sucesso das áreas protegidas da floresta tropical na África identificou uma atitude positiva do público e um reforço efetivo da lei, junto com uma grande área geográfica, uma baixa densidade populacional, uma continuidade ecológica com outras áreas protegidas e o envolvimento de organizações de conservação não governamentais (ONGs).

Projeto de áreas protegidas

Em algumas situações, os que projetam reservas têm algum espaço de decisão sobre como desenhar suas fronteiras. Aqui, os ecólogos podem prover informações valiosas determinando a área mínima necessária para sustentar uma população viável de uma determinada espécie ameaçada e as características críticas de *habitat* que devem estar presentes. Uma ferramenta útil para os planejadores é a **análise de viabilidade populacional (PVA)**, que incorpora a informação demográfica sobre uma determinada população no modelo de simulação para prever a probabilidade de que evitará a extinção em um dado período, geralmente 100–1.000 anos. Os modelos de PVA incorporam informação sobre a estatística demográfica e ambiental, incluindo a mudança no clima e as catástrofes naturais, assim como depressão por endocruzamento em pequenas populações. Com toda esta informação no modelo, as simulações da variação populacional em resposta a variações randômicas são feitas muitas vezes; a proporção de simulações que evita a extinção da população gera uma estimativa da população viável. Uma PVA exige uma quantidade considerável de dados sobre as mudanças da população no passado, bem como muitas hipóteses sobre a dinâmica da população, tal que sua aplicação seja limitada a espécies intensamente estudadas.

Os princípios ecológicos derivados da teoria de metapopulação (veja o Capítulo 12) e a Teoria de Biogeografia de Ilha (ve-

ja o Capítulo 20) podem também ajudar os planejadores a chegar ao projeto ótimo. Como vimos no Capítulo 20, grandes áreas sustentam mais espécies do que pequenas, porque populações maiores de cada espécie reduzem as chances da extinção estocástica, promovem a diversidade genética nas populações e protegem as populações contra perturbações. Quando um único tipo de *habitat* é preservado, as bordas devem ser minimizadas por causa dos efeitos de alteração de *habitat* que se estendem por alguma distância para além das áreas diretamente alteradas (veja o Capítulo 10).

De acordo com estas considerações, quando uma reserva está para ser separada em uma área de *habitat* uniforme, como uma ampla expansão de floresta pluvial tropical, (1) maior é melhor do que menor, (2) uma reserva grande é melhor do que várias pequenas que somam o mesmo tamanho, (3) corredores conectando reservas isoladas são desejáveis, e (4) reservas circulares são melhores do que alongadas, com muito mais borda. Contudo, quando confrontado entre escolher uma única grande área de *habitat* uniforme e diversas pequenas áreas, cada uma num *habitat* diferente, os planejadores devem considerar que as áreas menores frequentemente contêm um número total maior de espécies entre elas por causa das espécies endêmicas que podem ser encontradas em um *habitat*, mas não em outros.

As reservas naturais devem ser projetadas de acordo com os hábitos de seus habitantes, e os requisitos para características especiais (como sítios de aninhamento, buracos de água e minas de sal) devem ser levados em conta. Em áreas montanhosas, muitas espécies executam migrações altitudinais durante o ciclo sazonal, e assim as reservas separadas em diferentes elevações devem estar conectadas por corredores adequados para a viagem. As estradas e os ductos colocados no caminho de movimentos migratórios ou de dispersão devem conter pontes ou passagens de alguma maneira para permitir a passagem. Considerações semelhantes devem entrar no projeto de reservas marinhas, que têm recebido menos atenção do que aquelas sobre terra. No presente, reservas foram criadas e fechadas para pesca e outras explorações na Grande Barreira de recifes da Austrália e no arquipélago Galápagos no Equador, entre outras áreas de particular interesse, e há uma demanda crescente para preservar grandes áreas em águas internacionais de oceano aberto para ficarem livres da pesca comercial. Claramente, estes esforços estão abrindo caminho na conservação de boa parte da biodiversidade da Terra. A experiência dos ecólogos, contudo, incluindo muitos sucessos de conservação, enfatiza que a preservação das espécies exigirá sempre um considerável esforço de pesquisa e de restauração.

Algumas espécies criticamente ameaçadas têm sido recuperadas da beira da extinção

Muitas espécies chegaram tão perto da extinção que sua preservação exigiu uma intervenção humana excepcional. Estes esforços, que podem ter custado milhões de dólares, são normalmente dirigidos para espécies com apelo popular. Alguns podem questionar se é inteligente gastar vários milhões de dólares (como aconteceu há poucos anos) para libertar três baleias cinzentas presas no gelo do Ártico. Mas aquele incidente dramatizou a empatia que muitas pessoas sentem pelo infortúnio de algumas outras criaturas. Mesmo muitas pessoas que são menos do que entusiastas sobre gastar tanto para resgatar indivíduos estão dispostas a devotar recursos consideráveis para a preservação de



FIG. 26.18 Algumas espécies ameaçadas foram salvas à beira da extinção. Um programa de criação em cativeiro intensivo começou a restabelecer as populações silvestres do condor-da-califórnia no oeste dos Estados Unidos. Fotografia de Tom McHugh/Photo Researchers.

espécies, como mostrado pelo exemplo do condor-da-califórnia (Fig. 26.18).

Quando a população de condores-da-califórnia no sul da Califórnia caiu abaixo de 30 indivíduos na natureza durante a década de 1970 e início da de 1980, os gestores tomaram a difícil decisão de trazer toda a população para o cativeiro. Em 1987, as 22 aves restantes foram capturadas e trazidas para instalações especialmente construídas para reprodução localizadas nos zoológicos de Los Angeles e San Diego, onde eles foram protegidos

das ameaças que tinham cobrado seu preço da população selvagem: caça indiscriminada, envenenamento por chumbo de balas deixadas nas carcaças de cervos nas quais os condores se alimentam, e venenos e armadilhas colocadas para coiotes e controle de roedores, às quais os condores eram atraídos por iscas ou carcaças envenenadas. No cativeiro, os condores podem ser induzidos a depositar até 3 ovos por ano, em vez de apenas 1, que é o comum, e a maioria dos filhotes são criados com sucesso.

O objetivo desse programa de criação em cativeiro é produzir imaturos que podem ser reintroduzidos em seu *habitat* nativo. Um programa desses custa caro, na casa dos milhões de dólares, e seu sucesso em última instância depende de controlar aqueles fatores de mortalidade que ameaçavam a população no início da história, o que normalmente exige legislação, compra de terras e educação do público. No caso do condor-da-califórnia, o sucesso do programa será adequadamente julgado somente após 30 ou 40 anos e ao custo de dezenas de milhões de dólares. Em abril de 2008, contudo, o número de condores-da-califórnia tinha aumentado para quase 300 indivíduos. Destes, 147 estão agora vivendo na natureza no sul da Califórnia, Arizona e México, e a primeira reprodução de sucesso na natureza foi relatada em 2003.

O condor-da-califórnia pôde ser salvo da extinção, assim como o corvo-havaiano, o furão-de-pata-negra e muitas outras espécies que são agora objeto de reprodução de cativeiro e programas de reintrodução. A experiência ganha através destes programas será útil para esforços semelhantes no futuro. O programa do condor-da-califórnia, como outros, elevou a consciência dos residentes locais para as questões de conservação e resultou na preservação de grandes áreas de *habitat* em regiões montanhosas do sul da Califórnia e em outras partes. De fato, em maio de 2008, a Tejon Ranch Corporation concordou em conservar 90% de seus 110.000 ha de terras, uma das maiores áreas contínuas de terra natural dos Estados Unidos e o *habitat* original do condor-da-califórnia. As pessoas também começam a compreender que assim que um certo cuidado é tomado, populações viáveis do condor são compatíveis com outros usos da terra, como a recreação (conquanto o acesso humano aos ninhos seja restrito), caça de cervos (conquanto balas de aço sejam usadas em vez das de chumbo) e fazendas (conquanto os programas de controle dos coiotes e roedores, se eles devem persistir, sejam seguros para o condor). As concessões aos condores não são nem difíceis nem dispendiosas. Torná-las simples depende de incentivar o valor do conhecimento dos sistemas naturais como uma parte do ambiente da humanidade.

RESUMO

1. A espécie humana tem um imenso impacto na Terra, manejando ou de outra forma afetando a maior parte da sua superfície terrestre e suas águas. As atividades humanas causaram a deterioração de sistemas ecológicos e a extinção de muitas espécies. As repercussões estão acelerando-se à medida que a população humana continua a crescer e o consumo *per capita* de energia e recursos aumenta igualmente.

2. A crise ambiental não pode ser completamente resolvida até que o crescimento da população humana cesse, o consumo de energia e recursos decline e o desenvolvimento econômico leve os valores ecológicos em consideração.

3. A biodiversidade abrange a variedade de organismos vivos na Terra. O conceito de biodiversidade inclui a diversidade dos papéis ecológicos e da diversidade genética dentro e entre as populações, a diversidade filogenética e o endemismo.

4. O valor de determinadas espécies está baseado em considerações morais, nos benefícios econômicos que retiramos delas e em seus papéis como indicadores da deterioração ambiental. A diversidade de espécies, ela própria, pode também ajudar a estabilizar a função do ecossistema em face da variação ambiental.

5. A extinção de fundo é a substituição normal de espécies numa taxa relativamente baixa. As extinções de massa, que apa-

recem episodicamente no registro fóssil, refletem eventos catástrofes, incluindo impactos com meteoroides. A extinção antropogênica é o desaparecimento de espécies em consequência das atividades humanas.

6. Mais de 3.000 espécies são consideradas criticamente ameaçadas, significando que suas populações diminuíram ou se espera que diminuam em 80% dentro de três gerações. Muitas espécies mais são consideradas ameaçadas ou vulneráveis à extinção.

7. A fragmentação de *habitat* pode levar o declínio de uma população em direção à extinção ao reduzir seu tamanho, causando deterioração na qualidade do *habitat* ou transformando grandes populações em metapopulações mais vulneráveis.

8. As reduções no tamanho tornam as populações mais vulneráveis à extinção estocástica e reduzem a variação genética, dessa forma reduzindo a capacidade da população em sobreviver às mudanças ambientais. Populações pequenas de grandes predadores os tornam especialmente vulneráveis à extinção.

9. A sobre-exploração pelos humanos tem sido um grande fator de extinção ou declínio de muitas populações, particularmente dos grandes mamíferos e organismos marinhos.

10. As introduções de espécies não nativas, especialmente de predadores, competidores e patógenos, têm levado ao declínio e à extinção de algumas populações nativas e a mudanças dramáticas em alguns ecossistemas.

11. Doenças emergentes podem aparecer numa população após a introdução de vetores ou através de mudanças do *habitat* que colocam populações anteriormente separadas em contato. O vírus do oeste do Nilo, o vírus da imunodeficiência humana e o vírus da febre aviária são exemplos de patógenos que se tornaram emergentes na população humana nos últimos anos.

12. Embora as populações de muitas espécies estejam declinando, pouco se sabe sobre os fatores que tornam estas espécies especialmente vulneráveis à extinção. As espécies com pequenas abrangências geográficas ou baixas densidades populacionais estão claramente em risco.

13. Um aumento de atenção está sendo dado para se estabelecerem grandes reservas regionais que possibilitem os movimentos migratórios de espécies grandes e altamente móveis e a regulação natural de suas populações por grandes predadores.

14. As análises de viabilidade populacional baseadas em modelos de simulação das respostas das populações às variações ambientais ajudam a prever o risco de extinção das espécies. Grandes quantidades de dados demográficos são, contudo, exigidas para fazer previsões precisas, e assim esta aplicação está limitada a espécies bem estudadas.

15. Áreas protegidas de desenho ótimo deveriam incluir uma alta proporção de espécies endêmicas. Para uma dada área de *habitat* uniforme, as reservas devem consistir em uma única grande área (em vez de várias pequenas) para reduzir as chances de uma extinção estocástica varrer pequenas populações, e elas deveriam ter a menor quantidade possível de borda. De grande importância, especialmente nos países em desenvolvimento, são uma atitude positiva do público, um reforço efetivo da lei e a participação de organizações não governamentais.

16. Em casos extremos, determinadas espécies podem ser resgatadas da beira da extinção por esforços maciços de recuperação que podem incluir a criação em cativeiro e a reintrodução. Esses programas dispendiosos, embora focalizados em determinadas espécies, muitas vezes realçam os problemas de conservação mais gerais e resultam na conservação de grandes áreas de *habitat*.

QUESTÕES DE REVISÃO

1. Pode a população humana global continuar a crescer na atual taxa? Explique por que sim ou não.
2. Por que devemos estar preocupados não apenas com a conservação da diversidade das espécies, mas também com a preservação da diversidade genética e filogenética?
3. Que fatores são usados para identificar os *hotspots* de biodiversidade e por quê?
4. De que formas pode a preservação da biodiversidade proporcionar benefícios econômicos?
5. Como a diversidade de um ecossistema afeta sua capacidade em resistir à variação ambiental?

6. Compare e confronte a extinção em massa e a extinção antropogênica.
7. Por quais mecanismos pode a fragmentação de *habitat* levar à extinção de espécies?
8. Por que as espécies introduzidas são normalmente uma ameaça à biodiversidade nativa?
9. Por que as doenças emergentes são uma preocupação para as espécies que não são diretamente afetadas por elas?

LEITURAS SUGERIDAS

- Cardillo, M., et al. 2005. Multiple causes of high extinction risk in large mammal species. *Science* 309:1239–1241.
- Ceballos, G., and J. H. Brown. 1995. Global patterns of mammalian diversity, endemism, and endangerment. *Conservation Biology* 9:559–568.
- Cincotta, R. P., J. Wisniewski, and R. Engelman. 2000. Human population in the biodiversity hotspots. *Nature* 404:990–992.
- Daszak, P., A. A. Cunningham, and A. D. Hyatt. 2000. Emerging infectious diseases of wildlife—Threats to biodiversity and human health. *Science* 287:443–449.
- Firestone, R. B., et al. 2007. Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104:16016–16021.

- Fogarty, M. J., and S. A. Murawski. 1998. Large-scale disturbance and the structure of marine systems: Fishery impacts on Georges Bank. *Ecological Applications* 8:S6–S22.
- Foin, T. C., et al. 1998. Improving recovery planning for threatened and endangered species. *BioScience* 48:177–184.
- Hadfield, M. G., S. E. Miller, and A. H. Carwile. 1993. The decimation of endemic Hawaiian tree snails by alien predators. *American Zoologist* 33:610–622.
- Haig, S. M., J. R. Belthoff, and D. H. Allen. 1993. Population viability analysis for a small population of red-cockaded woodpeckers and an evaluation of enhancement strategies. *Conservation Biology* 7:289–301.
- Harvell, C. D., et al. 2002. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science* 296:2158–2162.

- Holdaway, R. N., and C. Jacomb. 2000. Rapid extinction of the moas (Aves: Dinornithiformes): Model, test, and implications. *Science* 287:2250–2254.
- Kideys, A. E. 2000. Fall and rise of the Black Sea ecosystem. *Science* 297:1482–1484.
- Lips, K. R., et al. 2006. Emerging infectious disease and the loss of biodiversity in a Neotropical amphibian community. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103:3165–3170.
- Marmontel, M., S. R. Humphrey, and T. J. O'Shea. 1997. Population viability of the Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*), 1976–1991. *Conservation Biology* 11:467–481.
- McKinney, M. L. 1997. Extinction vulnerability and selectivity: Combining ecological and paleontological views. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28:495–516.
- Miller, G. H., et al. 2005. Ecosystem collapse in Pleistocene Australia and a human role in megafaunal extinction. *Science* 309:287–290.
- Myers, N., et al. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858.
- Naeem, S. 1998. Species redundancy and ecosystem reliability. *Conservation Biology* 12:39–45.
- Naeem, S., D. R. Hahn, and G. Schuurman. 2000. Producer–decomposer co-dependency influences biodiversity effects. *Nature* 403:762–764.
- Noon, B. R., and K. S. McKelvey. 1996. Management of the spotted owl: A case history in conservation biology. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27:135–162.
- Pimentel, D., et al. 2000. Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience* 50:53–65.
- Pressey, R. L., et al. 2007. Conservation planning in a changing world. *Trends in Ecology and Evolution* 22:583–592.
- Prins, H. H. T., and H. P. Vanderjeugd. 1993. Herbivore population crashes and woodland structure in East Africa. *Journal of Ecology* 81:305–314.
- Sax, D. F., S. D. Gaines, and J. H. Brown. 2002. Species invasions exceed extinctions on islands world-wide: A comparative study of plants and birds. *American Naturalist* 160:766–783.
- Sharam, G., A. R. E. Sinclair, and R. Turkington. 2006. Establishment of broad-leaved thickets in Serengeti, Tanzania: The influence of fire, browsers, grass competition, and elephants. *Biotropica* 38:599–605.
- Struhsaker, T. T., P. J. Struhsaker, and K. S. Siex. 2005. Conserving Africa's rain forests: Problems in protected areas and possible solutions. *Biological Conservation* 123:45–54.
- Tilman, D., et al. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277:1300–1302.
- Wilcove, D. S., et al. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience* 48:607–615.