

# A Ciência da Ecologia Vegetal

A ciência biológica da **ecologia** é o estudo das relações entre organismos vivos e seus ambientes, das interações dos organismos uns com os outros, e dos padrões e das causas da abundância e distribuição dos organismos na natureza. Neste livro, consideramos a ecologia a partir da perspectiva das plantas terrestres. A ecologia vegetal é tanto uma parte da disciplina de ecologia quanto um espelho do campo inteiro. Em *Ecologia vegetal*, abordamos alguns dos tópicos que você pode encontrar em um livro-texto de ecologia geral, ao mesmo tempo em que nos concentramos nas interações entre plantas e seus ambientes ao longo de uma faixa de escalas. Incluímos, também, alguns assuntos que são exclusivos das plantas, como a fotossíntese e a ecologia das interações planta-solo, e outros que têm aspectos singulares no caso das plantas, como a obtenção de recursos e de parceiros.

## *Ecologia como uma ciência*

Os ecólogos estudam a função dos organismos na natureza e os sistemas que eles habitam. Alguns ecólogos preocupam-se, em especial, com a aplicação de princípios ecológicos a problemas ambientais práticos. Às vezes, a distinção entre ecologia básica e aplicada torna-se pouco nítida, como quando a solução para um problema aplicado em particular revela conhecimento fundamental sobre sistemas ecológicos. Tanto na ecologia básica quanto na aplicada, as regras e os protocolos das ciências têm de ser rigorosamente seguidos.

O que *não* é ecologia é militância ambiental ou ativismo político, embora, algumas vezes, os ecólogos sejam ativistas ambientais em suas vidas pessoais, e estes possam depender de pesquisa ecológica. A ecologia não trata dos sentimentos das pessoas a respeito da natureza, embora os ecólogos possam ter fortes sentimentos sobre o que estudam. Os sistemas ecológicos são complexos, compostos de numerosas partes, cada uma contribuindo para o todo de maneiras diferentes. No entanto, a ecologia é, de fato, uma ciência, e opera como outras disciplinas científicas.

Aqui, é importante atentar para um importante ponto. Boa parte do conteúdo deste capítulo refere-se à natureza da ciência e do método científico. Muitos estudantes, neste ponto, bocejam e concluem que não precisam prestar muita atenção, porque já conhecem o método científico, e já vimos muitos outros acrescentarem que tais discussões são chatas e sem sentido. No entanto, talvez surpreendentemente, o método científico e a natureza da ciência em si tornaram-se assuntos de calorosas controvérsias políticas nos últimos anos, e há uma considerável quantidade de confusão no âmbito popular quanto ao que seja ou não ciência. A natureza da ciência e do método científico é a essência de como os cientistas agregam e confirmam conhecimento científico. Fazer ciência, bem como aprendê-la, requer uma abordagem cuidadosa e bem pensada para o entendimento de diversas questões.

Como sabemos se algo é verdadeiro? A ciência é uma maneira de conhecer o mundo – não a única, mas é uma maneira espetacularmente bem-sucedida. Ao contrário de outras formas de conhecimento que fazem parte das nossas vidas, a legitimidade da ciência não é baseada em autoridade, opinião ou princípios democráticos, mas no peso de evidência confiável e repetível.

Por que essa característica da ciência é tão importante? Considere o contraste entre uma abordagem científica a uma questão ambiental – digamos, as consequências da fragmentação para a permanência das florestas pluviais tropicais – e uma abordagem estética. É possível que o tratamento do tema em questão, a partir de uma perspectiva científica, envolva algumas perguntas: como as mudanças na quantidade relativa de borda de floresta afetam a fisiologia de algumas espécies arbóreas? Como essas mudanças fisiológicas se traduzem em efeitos no crescimento da população? Como a dispersão entre fragmentos remanescentes afeta essas populações como um todo? Por outro lado, uma abordagem estética – com frequência observada na literatura popular sobre conservação – pode enfatizar a beleza da floresta intacta. Não há nada de errado com esse ponto de vista – de fato, muitos ecólogos falam livremente sobre esses valores estéticos. Mas esses valores não têm nada a ver com ciência; não faz sentido debater se florestas intactas ou fragmentadas são mais bonitas, pois não há evidência de que alguém conseguiria resolver tal questão.

Poderíamos lançar um argumento similar se comparássemos a abordagem científica à moral, à religiosa ou à artística. As possíveis conclusões alcançadas com pesquisas não-científicas não dependem do teste de evidências empíricas. Isso não quer dizer que apenas a ciência é digna de valor; de fato, as outras formas de interpretar o mundo desempenham um papel importante e crucial nas sociedades humanas, porém são fundamentalmente diferentes da ciência.

### *A gênese do conhecimento científico*

Ao longo de todo este livro, examinamos como os ecólogos atingiram o estado atual de conhecimento e compreensão dos organismos e sistemas na natureza. A ecologia tem uma base teórica forte e rica e desenvolveu-se a partir de uma enorme fonte de informações sobre história natural.

A ecologia, como toda a ciência, está construída sobre um tripé de padrão, processo e teoria. Os **padrões** consistem em relações entre partes ou entidades do mundo natural. Os **processos** são causas daqueles padrões. As **teorias**, explicações daquelas causas. Ao conduzirem pesquisa científica original, os ecólogos procuram documentar padrões, entender processos e, por fim, construir teorias que expliquem o que foi encontrado.

Existe distinção entre a pesquisa desenvolvida por um cientista e a feita para um trabalho de conclusão ou por qualquer pessoa tentando juntar informação sobre um tópico usando um livro-texto (como este), livros de biblioteca ou material à disposição na Internet. Embora haja exceções, a pesquisa conduzida por estudantes ou pelo público em geral é normalmente o que chamamos de **pesquisa secundária**: dados ou fatos já conhecidos são reunidos e

confirmados. Esse tipo de pesquisa não é apenas útil, é essencial: todo estudo científico deve começar abordando o que já é conhecido. Contudo, o centro daquilo que os pesquisadores fazem é chamado de **pesquisa primária**: a apresentação de uma informação desconhecida ou de novas e testáveis ideias sobre como a natureza funciona. Essas experiências de descoberta são o que tornam a ciência incrivelmente excitante e prazerosa.

Os cientistas adquirem conhecimento utilizando o **método científico**. Eles executam uma série de passos, embora nem sempre em uma ordem fixa (Figura 1.1). Em ecologia, esses passos podem ser resumidos em: observação, descrição, quantificação, colocação de hipóteses, teste dessas hipóteses utilizando experimentos (no sentido amplo da palavra, como discutido a seguir), e verificação, rejeição ou revisão das hipóteses, seguidas do reteste das hipóteses novas ou modificadas. Ao longo de todo esse processo, os ecólogos reúnem vários tipos de informações, procuram padrões de regularidade em seus dados e propõem processos que possam ser responsáveis por tais padrões. Com frequência, constroem algum tipo de modelo para auxiliar no avanço do entendimento. Finalmente, elaboram teorias, usando de pressuposições, dados, modelos e resultados de vários testes de hipóteses, dentre outras coisas. A construção de teorias científicas abrangentes ocorre simultaneamente a partir de múltiplas direções e envolve diversas pessoas, algumas vezes trabalhando em sincronia e, em outras, com objetivos opostos. A ciência em ação pode ser um processo confuso e caótico, mas deste caos emerge nosso entendimento da natureza.

A construção de teorias científicas é central ao método científico. A palavra “teoria” tem um significado muito diferente em ciência, se comparado ao seu uso comum. Uma teoria científica é uma explicação ampla e abrangente de um grande corpo de informações que, ao longo do tempo, precisa ser sustentado e, em última análise, confirmado (ou rejeitado) pelo acúmulo de uma vasta gama de diferentes tipos de evidências (Tabela 1.1). No uso popular, a palavra “teoria” normalmente se refere a uma conjectura ou suposição limitada e específica, ou mesmo a uma adivinhação ou a um “palpite”. Equacionar o significado de uma teoria científica com uma “adivinhação” causou um interminável mal-estar na imprensa popular e em debates públicos de temas com forte componente político. Um exemplo bem conhecido é a teoria da evolução por seleção natural: embora às vezes retratada como “apenas uma teoria” pelos criacionistas e pelos que pregam o “delineamento inteligente”, ela é, na verdade, uma explicação abrangente de um grande número de padrões na natureza – de fato, é a teoria melhor testada na biologia.

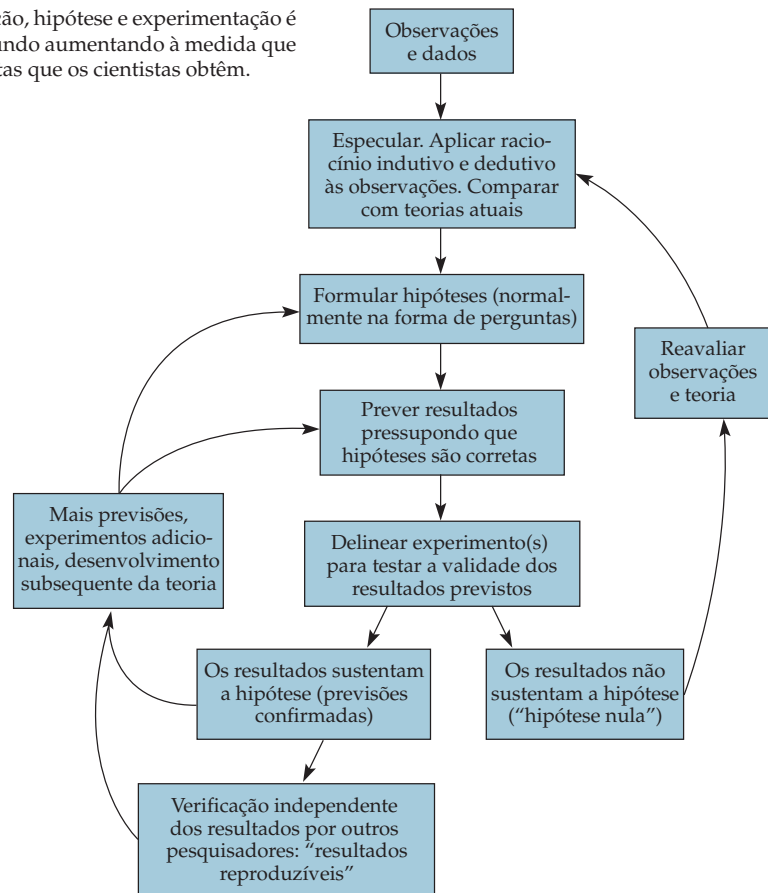
Quando uma teoria é amparada por fortes evidências ao longo de muitos anos, com novos achados consistentes para sustentá-la e ampliá-la, e, ao mesmo tempo, sem produzir evidências contraditórias sérias, ela se torna um arcabouço ou um padrão aceito de pensamento científico, de onde novas especulações podem surgir. Foi isso que ocorreu com a teoria da gravidade, de Newton, com a teoria de evolução, de Darwin, e com a teoria da relatividade, de Einstein. Os cientistas usam tais estudos abrangentes para

**Figura 1.1** O método científico. O ciclo de especulação, hipótese e experimentação é uma espiral, com o nosso entendimento global do mundo aumentando à medida que novas questões constantemente emergem das respostas que os cientistas obtêm.

organizar o pensamento e derivar previsões adicionais sobre a natureza.

O objetivo final é produzir uma **teoria unificada**, consistindo de algumas proposições gerais que caracterizam um amplo domínio de fenômenos e de onde um arranjo de modelos pode ser derivado. O melhor exemplo na biologia é a unificação da teoria da seleção natural de Darwin com a teoria de herança particulada de Mendel. Essa unificação – em grande parte completa na década de 1940 – permitiu aos biólogos derivar muitos modelos específicos e previsões testáveis, e reunir um corpo grande e coerente de informação e conhecimento sobre o mundo natural, incluindo muitas descobertas de benefício prático à humanidade e outras que proporcionaram um entendimento fundamental dos organismos vivos.

Uma **hipótese** científica é uma possível explicação para uma determinada observação ou um conjunto de observações. Uma hipótese é menor em escopo do que uma teoria plenamente desenvolvida. As hipóteses precisam ser testáveis: elas precisam conter uma previsão ou afirmação que possa ser verificada ou rejeitada usando-se evidência científica. Os experimentos são a parte central da ciência, e seu delineamento e uso são discutidos em detalhes neste capítulo. Uma característica crucial da ciência é a necessidade de revisar ou rejeitar uma hipótese se a evidência não a suporta. A ciência não aceita hipóteses com base na fé.



Uma das ferramentas mais importantes na caixa de ferramentas do cientista são os modelos. Um **modelo** é uma abstração ou simplificação que expressa estruturas e relações. Os modelos são uma das maneiras pelas quais a mente humana tenta compreender estruturas e relações

**TABELA 1.1** Os componentes da teoria científica

Componente	Descrição
Domínio	O escopo no espaço, no tempo e nos fenômenos abordados pela teoria
Pressuposições	Condições ou teorias necessárias para a elaboração da teoria
Conceitos	Regularidades classificadas em fenômenos
Definições	Convenções e prescrições necessárias para que a teoria funcione com clareza
Fatos	Registros confirmáveis de fenômenos
Generalizações confirmadas	Condensações e abstrações de um conjunto de fatos que foram testados
Leis	Afirmações condicionais de relação ou causa, ou afirmações de processo que se encaixam dentro de um universo de discurso
Modelos	Construções conceituais que representam ou simplificam o mundo natural
Modos de tradução	Procedimentos e conceitos necessários para ir de abstrações de uma teoria para os específicos de aplicação ou teste
Hipóteses	Afirmações testáveis derivadas ou representando vários componentes da teoria
Estrutura	Estrutura aninhada causal ou lógica da teoria

Fonte: Pickett et al., 1994

complexas, seja na ciência, seja no dia-a-dia. Construir um modelo de avião a partir de um quite pode fornecer muita informação a respeito da forma básica de um avião; de modo similar, engenheiros civis frequentemente constroem pequenos modelos ou estruturas, como pontes ou prédios (sejam modelos físicos ou imagens tridimensionais em computador), antes que a construção seja iniciada. Sem dúvida, você já deve ter visto modelos de DNA ou de reações químicas e ouvido falar sobre modelos climáticos globais, os quais serão longamente discutidos no Capítulo 21.

Os modelos podem ser abstratos ou tangíveis, feitos de palavras ou de plástico. Podem ser diagramas em papel, conjuntos de equações ou complexos programas de computador. Na ciência, os modelos são usados para definir padrões, resumir processos e gerar hipóteses. Um dos usos mais valiosos dos modelos é fazer previsões. Os ecólogos lidam quase que exclusivamente com modelos abstratos, que podem variar desde um simples argumento verbal até um conjunto de equações matemáticas. Uma das razões pelas quais seus modelos frequentemente se baseiam na matemática é que os ecólogos estão normalmente preocupados com várias coisas (por exemplo, por ficar tão pequena, a população de uma espécie está se tornando ameaçada? Quão rapidamente uma espécie invasora está se expandindo? Quantas espécies podem coexistir em uma comunidade e como esse número muda com as mudanças nas condições?). Os modelos matemáticos oferecem métodos bem definidos para a abordagem de questões, tanto em termos qualitativos quanto quantitativos.

Todos os modelos são necessariamente baseados em simplificações e embasados por um conjunto de pressuposições. O reconhecimento dessas simplificações e pressuposições (tanto implícitas quanto explícitas) é crítico, visto que elas podem alertar para as limitações do modelo e, ainda, porque pressuposições falsas e simplificações injustificadas podem afundar mesmo o modelo mais amplamente aceito ou elegante.

### *Objetividade, subjetividade, escolha e chance na pesquisa científica*

Quando se lê um artigo científico típico, ele pode, em um primeiro momento, parecer misterioso e chato. O formato segue um protocolo rígido, delineado para canalizar eficientemente informação essencial a outros cientistas. As ideias são densamente empacotadas, com uma lógica clara desde o início até o fim. Pode parecer que os pesquisadores sabiam exatamente o que iriam encontrar mesmo antes de começarem. Porém, devemos revelar que não é assim que a ciência normalmente funciona. As justificativas para a pesquisa, apresentadas na introdução de um trabalho, podem ter sido pensadas ou discutidas muito depois de o projeto de pesquisa ter começado ou mesmo depois que o trabalho foi concluído. Devido a descobertas afortunadas, desastres laboratoriais ou de campo ou ocorrência naturais raras, o objetivo original de um projeto de pesquisa é muitas vezes modificado ou, em alguns casos, completamente descartado e substituído por outro.

As ideias na ciência, especialmente na ecologia, vêm de uma diversidade de fontes. Enquanto todo mundo sabe que a ciência é objetiva e racional, esta é apenas metade da história. Para que se atinja uma compreensão genuinamente nova, a subjetividade e a criatividade têm de entrar em cena. Ao mesmo tempo em que é preciso ser objetivo quando, por exemplo, se examina o peso da evidência a favor de uma hipótese, a subjetividade desempenha um papel sutil, mas importante, ao longo de toda a pesquisa científica. Aquilo que alguém escolhe para estudar é uma decisão subjetiva. Uma vez feita a escolha, normalmente há uma gama de locais possíveis onde buscar as respostas – uma outra decisão subjetiva. Em grande parte, tais escolhas dependem das questões que são colocadas. Se, por um lado, a determinação das respostas tem de ser objetiva, escolher quais questões que devem ser perguntadas e como perguntá-las é, por outro lado, altamente subjetivo.

Muitos esforços científicos são igualmente bastante criativos. Criar um bom experimento, olhar sob uma nova perspectiva um problema aparentemente intratável, mudar de rumo depois de uma falha laboratorial desastrosa e extrair um resultado bem-sucedido do meio da catástrofe, e reunir um grande número de fatos desconexos para construir uma teoria abrangente são todas atividades criativas.

Muitas descobertas científicas começam com uma observação casual, como no caso da maçã proverbial de Newton. Ou uma ideia pode surgir como um pensamento do tipo “e se”: e se o mundo funcionar de uma certa maneira? Ou um experimento prévio pode fazer surgir novas perguntas. O que torna um pesquisador bem-sucedido é sua habilidade em reconhecer o valor dessas observações casuais, dos pensamentos do tipo “e se” e de novas perguntas. A partir dessas fontes, um ecólogo constrói hipóteses e delinea experimentos para testá-las.

### *Experimentos: o coração da pesquisa*

A base do processo científico é o experimento. Os ecólogos, em particular, utilizam uma ampla variedade de tipos de experimentos. Aqui, usamos o termo “experimento” em seu senso mais amplo: o teste de uma ideia. Os experimentos ecológicos podem ser classificados em três grandes tipos: de manipulação, natural e observacional. **Experimentos de manipulação** ou **controlados** são aqueles que a maioria de nós considera como experimentos: uma pessoa manipula o mundo de alguma forma e procura por um padrão na resposta. Por exemplo, um ecólogo pode estar interessado nos efeitos de diferentes quantidades de nutrientes no crescimento de uma espécie vegetal em particular. Ele pode cultivar diversos grupos de plantas, fornecendo para cada um deles um diferente tratamento nutricional e medir, por exemplo, o tempo para maturação e o tamanho final. Tal experimento poderia ser feito em um ambiente controlado, como uma câmara de crescimento, uma casa de vegetação, um canteiro experimental, ou em um sítio de campo em uma comunidade natural.

Essa gama de situações potenciais para o experimento vem acompanhada de uma série de conflitos. Se o ensaio científico é conduzido em um laboratório ou uma câmara de crescimento, o ecólogo é capaz de controlar a maioria das fontes de variação de modo que as diferenças entre os tratamentos podem ser claramente atribuídas aos fatores em estudo no experimento. Esses tipos de experimentos controlados exemplificam o método científico da forma como ele foi inicialmente concebido por Frances Bacon no século XVII. Experimentos baconianos são o esteio da maior parte da biologia celular e molecular, assim como das ciências físicas. Trabalhando-se em um ambiente controlado, no entanto, os ecólogos sacrificam alguma coisa. O ambiente controlado é altamente artificial, de modo que compromete o realismo, e é também estreito em alcance (os resultados aplicam-se apenas a uma limitada faixa de condições), sacrificando a generalidade.

Se um experimento é conduzido em uma situação de campo, ele é mais realístico ou mais natural, mas, neste caso, muitos fatores podem variar de forma não-controlada. Em um experimento de campo, os únicos fatores controlados são os objetos de estudo. A variação devido a fatores que não sejam os experimentais é distribuída de forma aleatória entre as repetições, e as conclusões são baseadas no uso de inferência estatística (ver Apêndice). Assim, podem ser conduzidos em muitas situações e não são restritos ao campo. Esse tipo de experimento foi primeiramente desenvolvido por R. A. Fisher no início do século XX. Os experimentos fisherianos são o esteio da ecologia e da biologia evolutiva, assim como das ciências sociais. Eles são tipicamente definidos de forma menos estreita do que os baconianos e, assim, seus resultados podem ser mais prontamente generalizados. Os objetivos científicos e as considerações práticas determinam onde, ao longo deste contínuo de controle *versus* realismo, os ecólogos conduzem seus experimentos.

Os experimentos são normalmente delineados como testes de hipóteses. Se a hipótese é parcial ou totalmente refutada pelos resultados alcançados, o cientista volta a revisar suas ideias e tenta de novo. Se a hipótese não é refutada, o cientista ganha a confiança de que sua hipótese pode estar correta. Algumas vezes, entretanto, os cientistas delineiam experimentos para “ver no que é que vai dar”. Mesmo assim, uma ou mais hipóteses estão sendo testadas (embora muitas vezes não sejam colocadas dessa maneira): ao criar uma diferença entre grupos (como molhar algumas plantas com mais frequência do que outras) e então medir alguma quantidade (como o tempo para o florescimento), o ecólogo implicitamente gera hipóteses sobre a relação entre manipulação e as coisas sendo medidas. Tais ensaios são comuns em todas as ciências biológicas, incluindo a ecologia. Os cientistas estudaram em detalhes apenas umas poucas centenas do quarto de milhão de espécies vegetais terrestres; destas, apenas poucas [*Zea mays* (milho), *Arabidopsis thaliana* e, possivelmente, *Oryza spp.* (arroz)] se aproximam do estado de “bem-estudadas”. Um ecólogo que inicia o estudo de uma nova espécie, comunidade ou

um ecossistema precisa fazer muitos experimentos abrangentes. Por certo, é guiado por seu conhecimento de outras espécies e ecossistemas similares. No entanto, cada espécie ou ecossistema é singular, o que explica por que cada estudo expande o nosso conhecimento ecológico.

Experimentos de manipulação são ferramentas poderosas por duas razões principais: primeiro, porque o cientista pode controlar quais partes do mundo natural serão alteradas; e, segundo, porque ele pode separar fatores que tipicamente ocorrem juntos, podendo testá-los de forma individual. Tais ensaios, no entanto, têm limitações. Algumas vezes, os de manipulação são afetados por artefatos – resultados causados por algum efeito colateral da manipulação experimental em si, ao invés de serem uma resposta ao tratamento experimental em teste. Bons experimentos evitam artefatos ou os consideram na avaliação dos resultados.

Uma outra limitação é a de escala. A ecologia está comumente preocupada com padrões e processos que ocorrem ao longo de grandes escalas de espaço e de tempo – por exemplo, as causas das diferenças nos números de espécies em diferentes continentes, ou as respostas de populações a mudanças no clima nos próximos dois séculos. Não podemos fazer experimentos de manipulação nessas grandes escalas de tempo e de espaço, e, em muitos casos, replicações verdadeiras (de continentes, por exemplo) poderiam não existir, mesmo se pudéssemos trabalhar nessas escalas. No entanto, os ecólogos estão cada vez mais usando experimentos de manipulação de longo prazo e de larga escala (ver Quadro 12C). Um exemplo disso é o estudo de longo prazo da ecologia de pradarias na Área Natural de Pesquisa da Pradaria de Konza, no Kansas, iniciada por Lloyd Hulbert em 1981 (Knapp et al., 1998). A reserva está dividida em uma série de parcelas grandes, as quais são submetidas a diferentes combinações de queima controlada em vários intervalos de tempo e pastejo por bisão ou gado (Figura 1.2).

Experimentos de manipulação de larga escala, entretanto, são normalmente limitados pela amplitude de tratamentos possíveis. Por exemplo, na pradaria de Konza, quase toda a queima controlada é feita na primavera. Como não há dados seguros de regimes de fogo em pradarias antes da colonização europeia, não se sabe como essa queima na primavera se compara a regimes de fogo “naturais”.

A condução de alguns tipos de experimentos de manipulação não seria ética. Por exemplo, não se causaria a extinção de uma espécie apenas para estudar os efeitos de tal evento. Em tais casos, os ecólogos precisam se basear em dois outros tipos de estudos: naturais e de observação, que podem ser considerados como tipos diferentes de experimentos.

Os **experimentos naturais** são “manipulações” causadas por alguma ocorrência natural. Por exemplo, uma espécie pode se tornar extinta em uma região, uma erupção vulcânica pode desnudar uma área, ou uma inundação pode desestruturar um leito de rio. Experimentos naturais



incêndio com outras não-queimadas, aquelas podem ter sido mais úmidas, tido uma história ou vegetação diferentes antes do fogo e assim por diante. Em outras palavras, há muitas outras fontes potenciais de diferença além do fogo. Por isso, pode ser difícil determinar a causa de qualquer mudança.

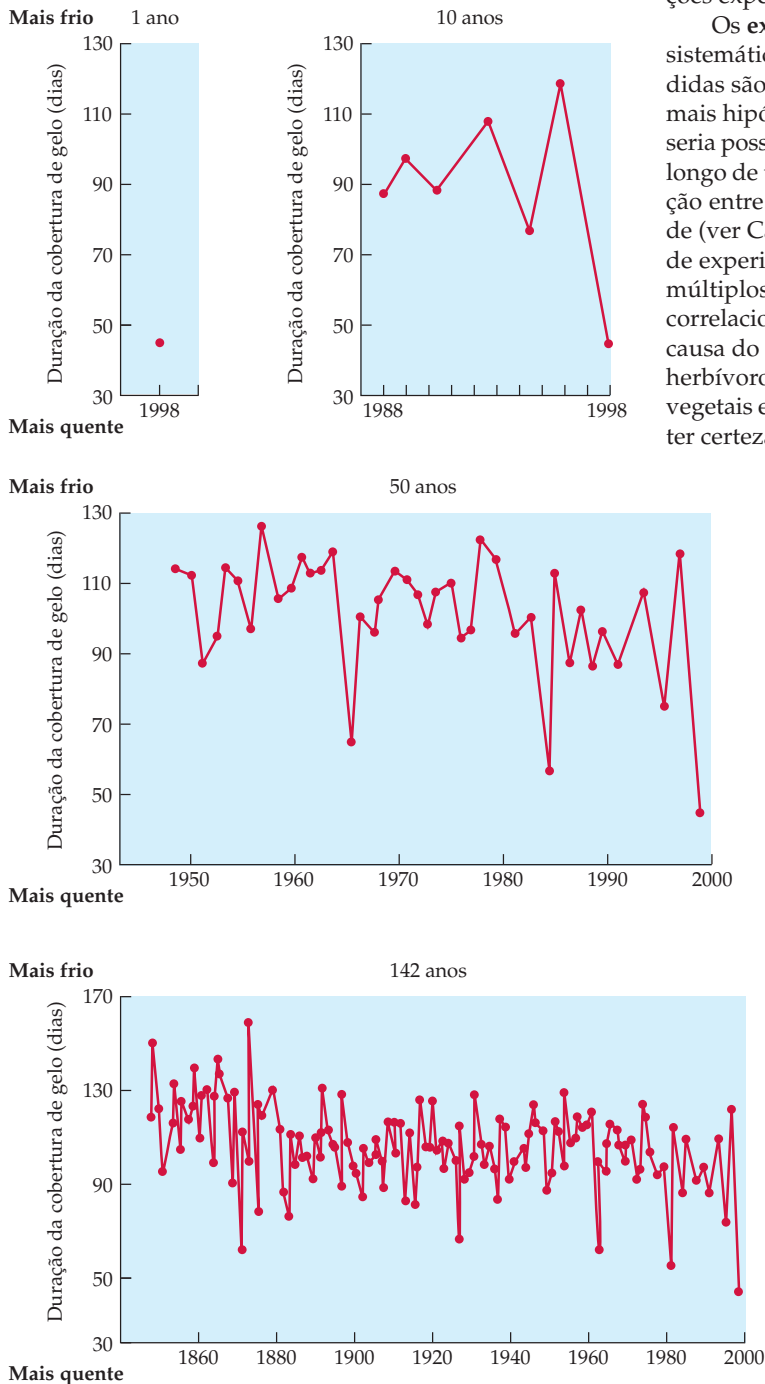
Os melhores experimentos naturais são aqueles que se repetem no espaço e no tempo. Se um ecólogo encontra sempre mudanças similares, ele não tem confiança nas causas daquelas mudanças. Uma outra abordagem é combinar experimentos naturais com os de manipulação. Por exemplo, os locais submetidos aos tratamentos de pastejo e de fogo na pradaria de Konza estão sendo comparados com outros locais não-sujeitos a manipulações experimentais.

Os **experimentos de observação** consistem do estudo sistemático da variação natural. Tais observações ou medidas são experimentos se um ecólogo inicia com uma ou mais hipóteses (previsões) a serem testadas. Por exemplo, seria possível medir padrões de diversidade de espécies ao longo de um continente para testar a hipótese sobre a relação entre o número de espécies vegetais e a produtividade (ver Capítulo 20). Mais uma vez, a limitação desse tipo de experimento é o potencial para a variação conjunta de múltiplos fatores. Se diversos fatores estão estreitamente correlacionados, torna-se difícil determinar qual deles é a causa do padrão observado. Por exemplo, se o número de herbívoros aumenta à medida que o número de espécies vegetais e a produtividade aumentam, o ecólogo não pode ter certeza se o aumento em herbívoros resulta do aumento no número de plantas e da produtividade, ou se a maior produtividade é resultante de um aumento da herbivoria.

Como nos experimentos naturais, os experimentos de observação repetidos no espaço ou no tempo acrescentam confiança às nossas conclusões (Figura 1.3). Outras ciências, especialmente a geologia e a astronomia, também dependem muito ou exclusivamente de experimentos de observação, devido às escalas espacial e temporal de seus estudos ou porque a manipulação direta é impossível.

O conhecimento ecológico vem da combinação da informação adquirida a partir de muitas fontes diferentes e muitos tipos diferentes de experimentos. O uso dessa diver-

sidade de experimentos. O uso dessa diver-



**Figura 1.3** As observações repetidas no tempo e no espaço podem revelar informações não-aparentes a partir de uma ou poucas observações. Como exemplo, registros da duração da cobertura de gelo do Lago Mendota, Wisconsin, foram mantidos por mais de 142 anos. A informação para um único ano significa pouco, mas a expansão temporal do número de observações mostra que 1998 foi o inverno mais quente em 10 anos; existe um ciclo de invernos mais amenos recorrentes a cada poucos anos (o que agora se sabe ser o resultado da Oscilação Sulina do El Niño; ver Capítulo 18); e de uma forma geral, os invernos em Wisconsin são mais quentes agora do que eram 142 anos atrás (segundo Magnuson et al., 2001).

sidade complexa de informações torna a ecologia uma ciência desafiadora e excitante.

### *Testando teorias*

O teste de teorias científicas, especialmente as ecológicas, é uma tarefa mais sutil, com mais nuances e mais complicada do que os não-cientistas possam compreender. A imagem popular do método científico retrata-o como um processo de refutação de hipóteses. Tal abordagem foi codificada por Karl Popper (1959), filósofo da ciência. Nesse contexto, fomos ensinados que nunca podemos provar uma teoria ou hipótese científica. Ao invés disso, propomos uma hipótese e a testamos; o resultado do teste ou refuta ou aceita a hipótese. Embora o teste e a refutação de hipóteses constituam uma parte importante na comprovação (ou não) da teoria, eles não são tudo por duas razões.

Primeiro, a abordagem de refutação não consegue reconhecer o acúmulo de conhecimento. Em um contexto estritamente popperiano, todas as teorias são consideradas potencialmente falsas. Nunca provamos que alguma coisa é verdade; meramente refutamos ideias falsas. Essa pressuposição vai contra a nossa própria experiência e o acúmulo de entendimento científico. Hoje, sabemos que a Terra gira ao redor do sol, embora isso tenha sido apenas uma hipótese. Sabemos que o universo tem aproximadamente 15 bilhões de anos de idade (acrescente ou tire uns poucos bilhões) e começou com o *Big Bang*, embora ainda não saibamos detalhes do evento. Sabemos que a vida começou e assumiu sua forma atual por meio do processo de evolução. Sabemos que muitas doenças são causadas por infecções microbianas e não por “humores” e que os atributos hereditários são conduzidos pelo DNA (ou, em alguns vírus, pelo RNA) e não pelo sangue. Enquanto podemos reconhecer que todo esse conhecimento ainda não foi comprovado como verdadeiro, em um sentido estritamente filosófico, mas apenas não pôde ser refutado, também reconhecemos que parte do conhecimento está tão firmemente estabelecida e amparada por tantos fatos que a chance de estarmos errados é muito menor do que a de ganharmos na loteria várias vezes seguidas. A escola da filosofia da ciência chamada realismo reconhece esse acúmulo progressivo de conhecimento (Mayo, 1996).

Segundo e mais importante, o contexto popperiano não consegue considerar um segundo tipo de questão que comumente é formulada em ecologia. Com frequência, o que importa não é refutar uma hipótese. Na verdade, perguntamos sobre a importância relativa de diferentes processos. Quando examinamos a estrutura de uma comunidade vegetal, não perguntamos: “é verdade ou falso que a competição está ocorrendo?”. Pelo contrário: “Quanto e de que formas a competição e a herbivoria contribuem, individualmente, para estruturar esta comunidade?” Assim, quando construímos as nossas teorias sobre a estrutura de comunidades vegetais, nossas atividades têm mais a ver com estimar as quantidades necessárias e montar um modelo complexo do que com falsificar um conjunto de proposições.

A refutação desempenha de fato um papel na ciência, mas mais limitado do que aquele vislumbrado por Popper. Construir teorias é como montar um quebra-cabeça a partir de uma pilha de peças oriundas de mais de uma caixa. Podemos perguntar se uma determinada peça pertence a um determinado lugar – sim ou não –, propondo uma hipótese e a refutando. Podemos até concluir que aquela peça em particular não pertence àquele quebra-cabeça. Menos frequentemente, tendemos a descartar a peça por completo, dizendo que ela não pertence a nenhum quebra-cabeça.

A controvérsia também desempenha um papel importante na ecologia, da mesma maneira que em todas as áreas científicas. Durante o processo de coleta de evidências visando a validar uma teoria, diferentes interpretações dos dados experimentais e diferentes pesos atribuídos a partes distintas de evidência conduzirão cientistas diferentes a opiniões divergentes. Essas opiniões podem ser passionavelmente mantidas e forçosamente argumentadas, e a discussão pode, por vezes, ficar acalorada. À medida que se acumulam as evidências que sustentam uma teoria, alguns cientistas estarão dispostos a aceitá-la mais cedo, enquanto outros esperarão que a massa de evidências se torne maior.

Se o assunto em debate tem implicações políticas ou econômicas, pessoas sem formação científica também contribuirão para o debate e podem ser capazes de oferecer à discussão valiosas visões, julgamentos e perspectivas. Porém, quando a evidência a favor de uma teoria científica se torna muito forte e a maioria dos cientistas com conhecimento na área está convencida de sua validade, então o assunto se encerra (a não ser que novas e surpreendentes evidências, ou uma teoria nova mais ampla, forcem uma reavaliação). Em última análise, é o julgamento dos cientistas que deve decidir sobre as respostas às questões científicas. Quando um consenso científico sobre uma teoria científica foi alcançado, não faz sentido considerar que aquela teoria seja apenas mais um palpite ou uma opinião e pregar que a opinião de todos é igualmente válida. Isso pode funcionar para o processo democrático, mas não é assim que a ciência funciona. As opiniões não sustentadas por evidências não são iguais às aquelas apoiadas pelo peso de um grande volume de evidências; dar pesos iguais contrariaria a maneira pela qual a ciência funciona. A controvérsia quanto ao ensino do criacionismo ou “delineamento inteligente” em aulas de ciências nas escolas públicas americanas é interessante deste ponto de vista: alguns têm argumentado que, como muitos americanos são persuadidos por um desses pontos de vista, eles deveriam ser ensinados em aulas de ciências. Assim como a maioria dos cientistas, argumentamos, do contrário, que tais ideias não são científicas (porque é impossível provar ou invalidar a existência e função de uma divindade, e nenhuma evidência pode refutar uma fé), e que a única posição em potencial que eles podem ocupar em aulas de ciências é na ilustração da diferença entre ciência e religião.

O fato de os cientistas serem os juizes da ciência não deveria ser interpretado como se deveriam decidir sobre

questões de políticas públicas. Por exemplo, se os cientistas estão de acordo sobre algo – digamos que, se mais de  $x\%$  do hábitat remanescente da espécie vegetal Y é perdido, então ela tem 90% de chance de extinção dentro dos próximos 20 anos –, isso não necessariamente dita qualquer política pública em especial. As decisões políticas dependem do quão importante as pessoas acham que é salvar a espécie Y e quais os custos que elas estão dispostas a pagar. Enquanto, pessoalmente, esperamos que isso não vá acontecer, reconhecemos que se alguém quisesse (seja qual for a razão) extinguir uma espécie vegetal, poderia utilizar as conclusões científicas para seus próprios fins, do mesmo modo que poderíamos usar as mesmas conclusões científicas para promover sua conservação.

Os ecólogos também têm a responsabilidade de conduzir suas pesquisas de maneira ética. Um exemplo já foi mencionado: causar deliberadamente a extinção de uma espécie para estudar seus efeitos. Nesse caso, a posição ética é clara. Outras situações, no entanto, são mais complexas, envolvendo circunstâncias em que se devem pesar os valores éticos nos dois lados de uma questão. Por exemplo, quanta dor ou dano um experimento poderia causar aos animais, se os resultados desse trabalho levarão à prevenção de uma doença humana? Um novo campo de ética ecológica está em formação, enfocando o estabelecimento de princípios éticos para a pesquisa e os procedimentos ecológicos, visando a resolver os dilemas éticos (Minteer e Collins, 2005).

### **Resultados específicos versus entendimento geral**

Uma vez que os ecólogos trabalham com uma grande variedade de escalas e com tal diversidade de organismos e sistemas, surge a dúvida quanto à extensão das conclusões de um estudo em particular a outros organismos e lugares. Nos campos da física e da química, os resultados de um experimento são considerados como absolutamente verdadeiros para todos os tempos e locais: um átomo de hélio é feito de dois prótons e dois nêutrons, os quais, por sua vez, são feitos de quarks, sem necessidade de restrições. Essa é a imagem popular das teorias científicas.

A ecologia é diferente. Os resultados de um experimento de campo sobre competição entre duas espécies vegetais se estendem a outras estações ou locais ou a outros pares de espécies dentro das mesmas famílias ou grupos funcionais? Experimentos envolvendo o hélio lidam com uma entidade universal, o átomo de hélio. Em experimentos sobre competição vegetal, ao contrário, a composição exata de entidades muda (p. ex., as plantas individuais usadas em cada vez não são geneticamente idênticas), assim como o ambiente ao redor (p. ex., as condições meteorológicas são diferentes neste ano se comparadas ao anterior). Por tal motivo, cientistas extremamente cautelosos assumem a postura de que nenhuma conclusão pode ser estendida além das condições particulares que existiam quando o experimento foi conduzido. Se fosse assim, no entanto, haveria pouco valor em conduzir experimentos de qualquer tipo, pois qualquer informação que eles for-

nessem teria um alcance tão limitado que seria virtualmente sem utilidade.

A verdade se encontra em algum ponto entre estes dois extremos, criando uma tensão constante e dinâmica da ecologia. Uma abordagem para resolver esta tensão é ver como o resultado de um experimento em particular se ajusta ao funcionamento de modelos existentes e ver se ele sustenta ou rejeita as previsões feitas por esses modelos. Uma outra abordagem é usar os métodos de síntese quantitativa dos resultados de experimentos independentes. Esses métodos, conhecidos coletivamente como **metanálise**, podem ser usados para avaliar onde o resultado de um determinado experimento se ajusta (ou difere) com os resultados de outros experimentos similares, conduzidos em diferentes organismos, locais e momentos. Nos últimos anos, tal abordagem tem sido usada para avaliar o vasto corpo de evidências para um bom número de questões ecológicas importantes (Gurevitch et al., 2001).

### **Ciência e outras formas de saber, revisitadas**

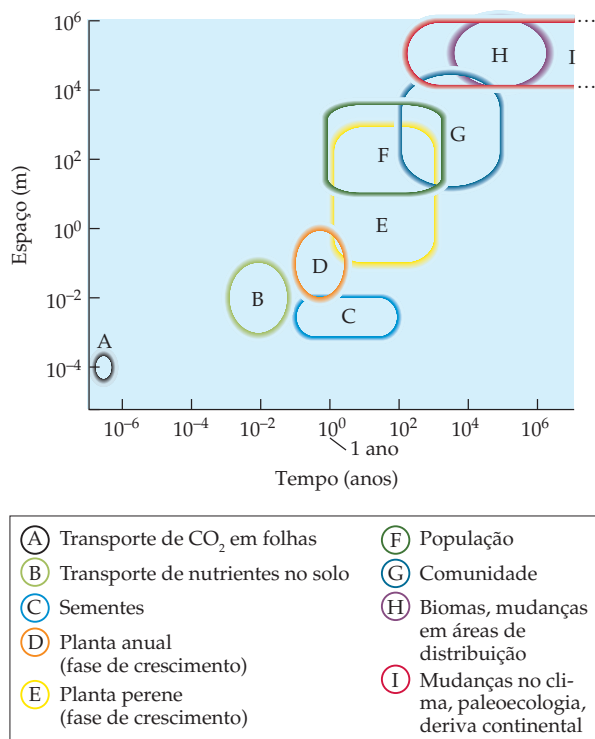
A ciência demanda consistência interna e externa: em última análise, as teorias precisam ser consistentes umas com as outras e os dados, com as teorias. Outras maneiras de interpretar o mundo não partilham dessa característica. Trabalhos artísticos podem ser autocontraditórios. Sistemas de moralidade ou religiões podem incluir ou não contradições óbvias, mas nenhum deles requer consistência com dados, seja qual for a conotação do termo.

É melhor não levar isso tão a fundo e pensar que apenas a ciência é útil. A ciência é útil para abordar questões científicas (tal como se fogos naturais aumentam ou diminuem a diversidade de uma floresta), mas não para questões que não podem ser tratadas cientificamente. A ciência não pode dizer como se deve comportar, se um romance é bom ou que cor de roupa se deve vestir.

Fazer ciência com consistência interna e externa é um esforço constante. As teorias – mesmo as bem-sucedidas – se contradizem em alguns pontos. Às vezes, alguns resultados experimentais parecem contradizer a teoria. Experimentos bem-delineados podem contradizer uns aos outros. É isso que permite que nosso conhecimento continue a crescer. O fato de encontrarmos contradições apenas significa que ainda estamos aprendendo.

### **Escala e heterogeneidade**

Muito interesse recente em ecologia foi gerado pela apreciação de como padrões e processos ecológicos variam como função da escala em que eles operam e são estudados (Figura 1.4). O mesmo fenômeno pode ser encarado diferentemente quando estudado em uma pequena área local e em uma escala de paisagem ou região – ou seja, em diferentes escalas espaciais. Da mesma forma, a perspectiva de uma pessoa pode mudar drasticamente quando estuda um processo ecológico ao longo de apenas uma estação de crescimento, de apenas alguns meses, ou ao longo de um período de décadas ou séculos (Figura 1.3).



**Figura 1.4** Os ecólogos estudam padrões e processos ao longo de uma faixa ampla de escalas de tempo e espaço. Os processos de fisiologia vegetal, tal como a difusão de moléculas de CO<sub>2</sub> em uma folha, ocorrem ao longo das menores distâncias (10<sup>-4</sup> m) e tempos (10<sup>-7</sup> anos). Subindo na hierarquia, o domínio da planta inteira e seu nascimento, crescimento, reprodução e morte englobam distâncias (10<sup>0</sup> m) e tempos (10<sup>0</sup> anos) um pouco maiores. Em escalas ainda maiores (10<sup>1</sup> a 10<sup>2</sup> m e 10<sup>1</sup> a 10<sup>2</sup> anos), entramos no reino das populações e comunidades, e de suas mudanças ao longo de anos e décadas. Por fim, os ecólogos estudam padrões que se espalham através de todo o globo (10<sup>5</sup> m) e milhares ou mesmo milhões de anos (10<sup>3</sup> – 10<sup>6</sup> ou mais anos).

Diferentes tipos de coisas podem estar ocorrendo em diferentes escalas, e expandir o foco para mais de uma escala pode ser muito gratificante. Em um estudo de uma comunidade local, por exemplo, podemos observar que as interações competitivas mantêm as plantas individuais de uma determinada espécie a uma certa distância umas das outras. Em uma escala maior, percebemos que as plantas estão agrupadas ao longo da paisagem, ou porque os indivíduos que estão muito separados dos demais nunca são polinizados e não conseguem deixar descendentes, ou porque as sementes têm capacidade limitada de dispersão. Em uma escala regional ou continental, as plantas podem existir em vários enclaves grandes, porém separados, determinados por padrões de glaciações e migração de espécies há milhares de anos.

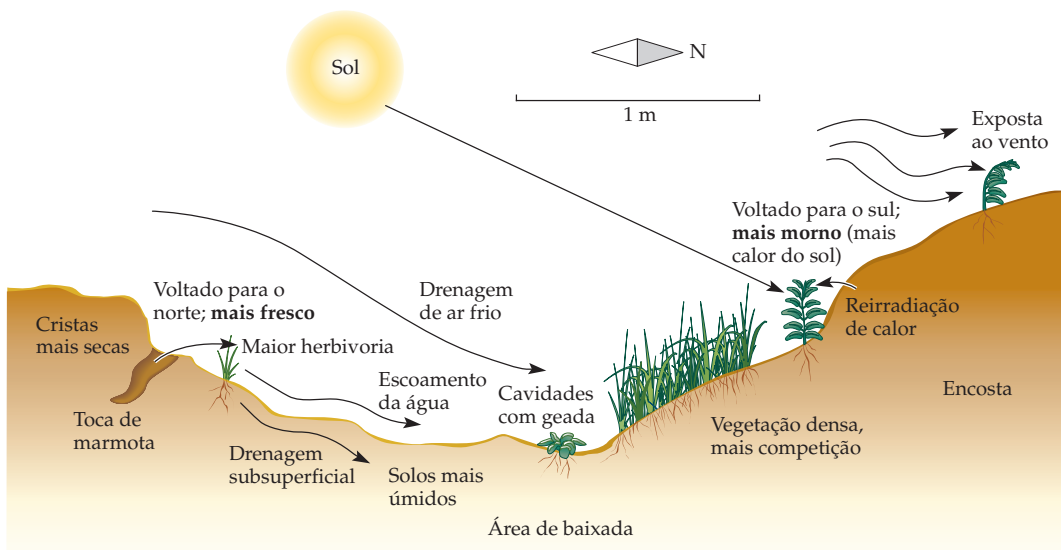
Com frequência nos referimos a essas mudanças de escala em termos de hierarquia, e pode-se mover para cima ou para baixo de diferentes tipos de hierarquias em ecologia. Por exemplo, pode-se passar do nível de moléculas para o de tecidos, para o de órgãos e para o de organismos

inteiros. Um diferente tipo de hierarquia poderia se expandir dos organismos individuais a populações, a comunidades, a ecossistemas e até a biomas inteiros; uma hierarquia alternativa pode passar de coisas que ocorrem em nível de organismos àqueles que funcionam na escala de habitats, paisagens, bacias hidrográficas, regiões e assim por diante, tornando-se um fenômeno em escala global. Esses níveis não são necessariamente congruentes; por exemplo, pode-se estudar as adaptações individuais de plantas numa faixa de diferentes ambientes ao longo de uma paisagem ou mesmo de uma região, ou como as interações entre populações em escalas muito locais contribuem para as limitações em escala global de uma espécie. Da mesma forma, a interpretação de dados coletados em um curto período de tempo pode ser completamente revirada quando os mesmos dados são examinados quanto a tendências ao longo de períodos mais longos de tempo.

Uma das razões pelas quais reconhece-se hoje a escala como tão importante se deve ao fato de o mundo ser um local muito heterogêneo. Mesmo ao longo de distâncias muito pequenas, é possível que as condições sofram alterações que podem ser importantes aos organismos vivos. As condições ambientais são uma preocupação especial na ecologia vegetal, porque as plantas não podem se mover ou, pelo menos, as plantas terrestres maduras são, em geral firmemente enraizadas no lugar, embora seus descendentes possam ser dispersos a alguma distância. Assim, o ambiente que imediatamente circunda um indivíduo vegetal é sobremaneira importante para sua sobrevivência, seu crescimento e sua reprodução.

O **hábitat** de uma população ou espécie é o tipo de ambiente em que ela geralmente vive, e inclui o conjunto de fatores bióticos (vivos) e abióticos (não-vivos) que a influenciam nos locais onde é encontrada. Mas as condições nos arredores imediatos de um indivíduo vegetal – seu **micro-hábitat** – podem diferir consideravelmente das condições médias do hábitat geral (Figura 1.5). Fatores que operam na distinção de um micro-hábitat de outros ao seu redor incluem a composição do solo, o microclima do entorno, a presença, o tamanho e a identidade das plantas vizinhas e outros organismos nos arredores imediatos (herbívoros, polinizadores, predadores ou dispersores de sementes e fungos ou bactérias mutualistas ou patogênicos).

De modo similar, o ambiente varia de um momento para outro. Não há termos ecológicos específicos para os componentes da heterogeneidade temporal, mas ela também existe em várias escalas e tem grandes efeitos sobre as plantas. Variações nas condições do dia para a noite, do verão para o inverno, ao longo de períodos de anos úmidos, frios ou nevados, ou, em uma escala maior, como mudanças climáticas ao longo de milhares de anos, todas exercem importantes influências nas plantas. Dependendo do processo ecológico em estudo e dos organismos envolvidos, pode ser a variação de pequena escala, de momento a momento que interessa mais (como flutuações nos níveis de luz em uma pequena clareira florestal em um dia parcialmente nublado), ou podem ser as condições médias de larga escala e longo prazo (como a concentração de CO<sub>2</sub> na



**Figura 1.5** O ambiente em um determinado micro-habitat pode diferir de várias maneiras das condições na área circundante. Plantas individuais experimentam condições em seus micro-habitats imediatos e não as condições médias da área geral. A graminéia na encosta voltada para o norte, à esquerda do diagrama, está submetida a temperaturas mais frescas e, talvez, a maior herbivoria devido à proximidade da toca de marmota. As plantas na zona de baixada podem experimentar geada mais cedo no outono e mais tarde na primavera do que aquelas nas áreas circundantes devido à drenagem de ar frio; aqui, os solos são mais úmidos, e a competição por luz e por umidade do solo pode ser mais intensa do que nas cristas. Outros efeitos potenciais do microclima são também ilustrados.

atmosfera), ou a atuação conjunta de processos ocorrentes em diferentes escalas (como o fluxo de  $\text{CO}_2$  em um dossel florestal ao longo do curso de um dia ou uma estação).

Os grupos de organismos, como populações e espécies, muitas vezes “fazem uma média” desses tipos de influências microambientais ao longo de áreas maiores e ao longo de gerações das vidas dos organismos. Essa tomada de média age no sentido de contrabalançar os efeitos da heterogeneidade, particularmente ao longo do tempo evolutivo. Em escalas ainda maiores, a heterogeneidade novamente se faz crítica. À medida que os continentes se separam sobre as placas tectônicas e os climas são alterados, os organismos precisam responder às mudanças, evoluindo ou mudando suas distribuições, ou, ainda, sendo extintos.

### Estrutura e história da ecologia vegetal

A ecologia é uma matéria sintética. Isso não quer dizer que ela seja não-natural ou artificial, mas que carrega consigo uma vasta gama de outros campos da ciência, talvez em uma extensão maior do que qualquer outra matéria. Alguns dos campos da ecologia englobam ou se sobrepõem à geologia, geografia, climatologia, ciência do solo, biologia evolutiva, genética, estatística e a outros ramos da matemática, da sistemática, do comportamento, da fisiologia,

da biologia do desenvolvimento, da biologia molecular e da bioquímica. Muitos desses campos são abordados neste livro, mostrando como se acomodam na caixa de ferramentas de um ecólogo e de que modo a familiaridade com eles afeta o que os ecólogos pensam sobre e como estudam os organismos na natureza.

Este não é o local para apresentar uma história detalhada e definitiva da ecologia vegetal. Ao invés disso, são esboçados alguns de seus principais marcos, com uma tendenciosidade assumida para a comunidade científica que fala a língua inglesa. Outros detalhes históricos estão espalhados ao longo de todo livro à medida que discutimos tópicos e subáreas específicos. Se, por um lado, não existe nenhuma história definitiva da ecologia vegetal, diversos livros e trabalhos descrevem parte de sua história (McIntosh, 1985; Westman e Peet, 1985; Nicholson, 1990; Allen et al., 1993).

As raízes da ecologia vegetal remontam aos períodos pré-históricos, quando a saúde e a sobrevivência das pessoas dependiam de suas habilidades em entender muitos aspectos da ecologia das plantas. A ecologia como ciência começou com os gregos, mais notoriamente com Aristóteles, nos séculos IV e V A.C. A ciência moderna da ecologia vegetal iniciou como o estudo da história natural nos séculos XVIII e XIX, desenvolvida por naturalistas profissionais e amadores da Europa e América do Norte em suas viagens pelo mundo. Embarcações em jornadas de descobertas e colonizações normalmente transportavam um naturalista, que catalogava a notável variedade de organismos e ambientes que encontrava. Charles Darwin foi um naturalista de navio e a história de sua viagem com duração de cinco anos foi publicada com sua *Viagem do Beagle* (Figura 1.6). A ecologia, como uma disciplina reconhecida, coalesceu na segunda metade do século XIX. O biólogo alemão Ernst Haeckel cunhou o termo “oecologia” em 1866. Dentre os primeiros a escrever especificamente sobre o tópico ecologia vegetal estava o cientista dinamarquês J. Eugenius Warming, considerado

por muitos como o fundador do ramo da ecologia vegetal. Durante o período entre a década de 1870 e o final do século XIX, Warming desenvolveu uma perspectiva evolutiva e baseada na adaptação, criando o conceito de comunidades vegetais. Durante o mesmo período, o cientista alemão Andreas Schimper criou o primeiro mapa de distribuição de plantas, informação que foi crítica para o progresso inicial da ecologia vegetal. No início do século XX, foram criadas a Sociedade Ecológica Americana e a Sociedade Ecológica Britânica.

Como disciplina, a ecologia vegetal é composta de várias subdisciplinas diferentes, algumas das quais têm tradições e histórias bastante distintas. Alguns dos primeiros ecólogos vegetais e botânicos focaram as comunidades, enquanto outros, as espécies individuais e as propriedades dos indivíduos. Os termos mais antigos (e hoje amplamente) para esses dois campos são a **sinecologia** e a **auto-ecologia**. Os ecólogos de comunidades vegetais, em particular, foram ativos nas origens da ecologia como uma disciplina na última parte do século XIX e dominaram a ecologia vegetal durante a primeira metade do século XX. Uma discussão mais detalhada da história da ecologia de comunidades vegetais e algumas das figuras-chave nesta história são apresentadas no Capítulo 9.

Os estudos iniciais em auto-ecologia vegetal estiveram especialmente preocupados em entender adaptações vegetais singulares a ambientes extremos, como desertos, e um certo número de experimentos famosos esteve centrado no desempenho das plantas no campo. Embora algumas importantes visões tenham sido alcançadas, limitações tecnológicas retardaram severamente o desenvolvimento

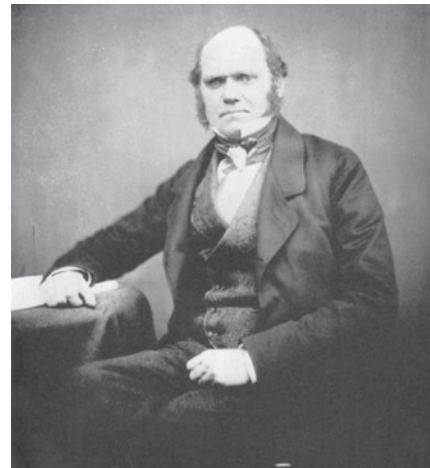
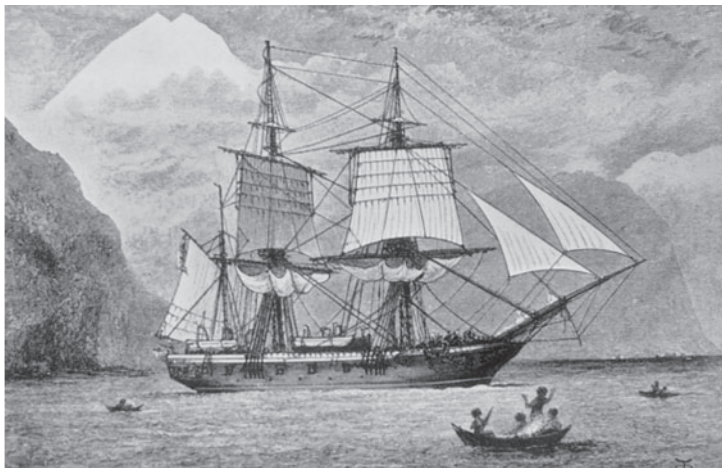
dessa área. À medida que a instrumentação e a metodologia tornaram-se mais sofisticadas, os fisiologistas vegetais começaram a desenvolver a maioria de suas pesquisas em ambientes controlados de laboratório.

Começando na metade do século XX, novos avanços em tecnologia possibilitaram aos estudos fisiológicos mudar da casa de vegetação para a natureza, levando finalmente à criação dos campos de ecologia fisiológica e funcional de plantas. Aproximadamente na mesma época, a auto-ecologia começou a se dividir em subáreas que focavam em indivíduos isolados e em populações. A ecologia de populações vegetais como uma subdisciplina reconhecida teve suas origens na Grã-Bretanha na década de 1960, particularmente com John Harper e seus estudantes. Expandiu-se, então, para a América do Norte na década de 1970. Isto é necessariamente uma descrição muito simplificada e limitada dos eventos; por exemplo, um certo número de indivíduos em muitos países desenvolveu estudos que hoje seriam classificados como de ecologia fisiológica de plantas ou ecologia de populações vegetais já no século XIX.

Na maior parte, durante os três primeiros quartos do século XX, a ecologia vegetal desenvolveu-se independentemente da animal. A ecologia de comunidades animais tem uma longa história paralela a de comunidades vegetais (Mitman, 1992). Uma quantidade substancial de trabalhos em ecologia de populações animais teve início pelo menos em 1920 (por exemplo, o trabalho de Gause, Pearl, Lotka e outros). A ecologia de populações vegetais aproveitou a ideia e as teorias desses trabalhos à medida que se desenvolvia, assim como outras ideias que se originaram entre ecólogos vegetais. Subsequentemente, novas teorias fizeram-se necessárias, à medida que as descobertas sobre a natureza singular das plantas tornaram óbvio que elas não poderiam mais ser ajustadas de forma forçada às diversas teorias elaboradas para os animais.

De modo inverso, a ecologia fisiológica avançou mais cedo e mais rapidamente entre os ecólogos vegetais do que entre os ecólogos animais. Sem dúvida isso aconteceu porque as características das plantas são muito mais

**Figura 1.6** O *H.M.S Beagle* navegou da Inglaterra em 27 de dezembro de 1831, em uma missão de 5 anos, para cartografar os oceanos e coletar informação biológica ao redor do mundo. Charles Darwin navegou com o *Beagle* como naturalista do navio; ele está aqui retratado com a idade de 24 anos, um pouco depois de completar sua viagem. Darwin coletou vastos números de espécimes vegetais e animais e registrou copiosas observações científicas que foram instrumentais na criação de seu mais famoso trabalho, *A Origem das Espécies* (imagem à esquerda, da Science Photo Library / Photo Researchers, Inc.).



fáceis de serem medidas e seus ambientes mais fáceis de serem caracterizados do que aqueles dos animais (a propósito, ninguém precisa capturar plantas!). Por outro lado, na década de 80, a ecologia fisiológica animal juntou-se à biologia evolutiva para criar o campo da fisiologia evolutiva (Feder et al., 1987), uma mudança que os biólogos vegetais ainda não fizeram de forma clara.

Esta lacuna entre os campos da ecologia vegetal e animal foi conectada na década de 70, embora duas subáreas distintas ainda existam. Dois acontecimentos relacionados foram os responsáveis. Primeiro, foi o aumento nos estudos de interações planta-animal, especialmente sobre polinização (ver Capítulo 8) e herbivoria (ver Capítulo 11). Segundo, o interesse crescente nos aspectos evolutivos da ecologia nas décadas de 70 e 80, os quais transcenderam a tradicional separação dos estudos de plantas e de animais.

Mudanças recentes no campo da ecologia vegetal incluem o reconhecimento das áreas de ecologia de paisagem e de ecologia de conservação como disciplinas do final da década de 80. Os ecólogos de paisagem vieram para essa disciplina a partir de várias direções diferentes, incluindo campos tão diversos como a ecologia de comunidades vegetais e o sensoriamento remoto. Da mesma forma, os ecólogos da conservação criaram o seu campo com base na modelagem matemática e na ecologia de ecossistemas, comunidades e populações. A década de 1990 presenciou

a criação da disciplina de ecologia urbana, na qual a ecologia vegetal é um importante componente, e o reconhecimento geral de que quase todas as partes do globo foram afetadas pelo homem em maior ou menor grau. Outras áreas dentro da ecologia vegetal sofreram importantes mudanças de ênfase. A ecologia de comunidades vegetais experimentou tal mudança nos últimos 25 anos. Antes, era dominada por questões acerca de padrões e processos de comunidades como um todo. Hoje, o seu foco principal foi desviado para questões mais próximas à ecologia de populações, para interações dentro e entre espécies.

Uma importante tendência na ecologia contemporânea, incluindo a ecologia vegetal, é aquela direcionada para projetos de pesquisa maiores, mais integrados, que envolvam muitos colaboradores e que examinem fenômenos ao longo de grandes escalas de espaço e tempo ou ao longo de níveis de organização. Exceto pela subdisciplina de ecologia de ecossistemas, que estava conduzindo pesquisas com grandes equipes de cientistas na década de 1970, tais estudos envolvendo múltiplos investigadores eram muito raros em ecologia até recentemente. Tais estudos podem cobrir uma faixa que vai desde a genética molecular até ecossistemas e sistemas sociais, e estão desfazendo muitas das barreiras tradicionais entre subdisciplinas. A ecologia vegetal está passando por tempos estimulantes e esperamos que você se sinta igualmente estimulado ao ler este livro.

## Questões para estudo

1. Quais são as duas formas de conhecimento que não são classificadas como ciência? Descreva por que elas não são ciência.
2. Alguns afirmam que áreas que não podem conduzir experimentos de manipulação não são ciência (p. ex., astronomia, paleontologia). Essa afirmação está correta?
3. Os diferentes tipos de experimento (isto é, de manipulação, de observação e naturais) têm diferentes pesos no teste de hipóteses científicas?
4. Qual a relação entre ecologia e ambientalismo?
5. Um marco da ciência “madura” é sua capacidade de em usar leis bem-definidas para um entendimento do mundo que permita previsões. Segundo este critério, a ecologia vegetal é madura?

## Leituras adicionais

### Referências clássicas

- Platt, J. R. 1964. Strong inference. *Science* 146: 347-353.
- Popper, K. R. 1959. *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson & Co., London.
- Salt, G. W. 1983. Roles: Their limits and responsibilities in ecological and evolutionary research. *Am. Nat.* 122: 697-705.

### Fontes adicionais

- Hull, D. L. 1988. *Science as a Process*. University of Chicago Press, Chicago, IL.

- Mayo, D. G. 1996. *Error and the Growth of Experimental Knowledge*. University of Chicago Press, Chicago, IL.

- McIntosh, R. P. 1985. *The Background of Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Nicholson, M. 1990. Henry Allan Gleason and the individualistic hypothesis: The structure of a botanist's career. *Bot. Rev.* 56: 91-161.

- Pickett, S. T. A., J. Kolasa and C. G. Jones. 1994. *Ecological Understanding*. Academic Press, San Diego, CA.