

BIODIVERSIDADE

O que é e porque é importante



ELENA CASETTA
SILVIA DI MARCO
JORGE MARQUES DA SILVA
CARINA VIEIRA DA SILVA
DAVIDE VECCHI
LUÍS VICENTE

gradiva

© Elena Casetta, Silvia Di Marco, Jorge Marques da Silva,
Carina Vieira da Silva, Davide Vecchi e Luís Vicente/Gradiva
Publicações, S. A.

Edição Elena Casetta, Silvia Di Marco e Carina Vieira da Silva

Capítulo 1 («O inventário da vida») Tradução do inglês por
Carina Vieira da Silva

Capítulo 2 («Biodiversidade e evolução») Tradução do inglês por
Filipa Vala

Revisão de texto Maria de Fátima Carmo

Capa Armando Lopes

Fotocomposição Gradiva

Impressão e acabamento Multitipo — Artes Gráficas, L.^{da}

Reservados os direitos para a língua portuguesa por

Gradiva Publicações, S. A.

Rua Almeida e Sousa, 21 – r/c esq. — 1399-041 Lisboa

Telef. 21 393 37 60 — Fax 21 395 34 71

Dep. comercial Telef. 21 397 40 67/8 — Fax 21 397 14 11

geral@gradiva.mail.pt

1.^a edição Janeiro de 2018

Depósito legal 436 003/2018

ISBN 978-989-616-805-6

gradiva

Editor GUILHERME VALENTE

NOTAS

Por indicação dos autores, o texto do presente
livro obedece ao novo acordo ortográfico.

Este trabalho é financiado por fundos nacionais
através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia
no âmbito do projecto «Biodecon — Que definição de
biodiversidade para a conservação da biodiversidade?»
(PTD/IVC-HFC/1817/2014)

Visite o site www.gradiva.pt

Oportunidades fantásticas!

Índice

Introdução..... 7

PARTE I

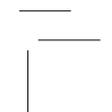
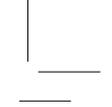
O QUE É A BIODIVERSIDADE

1. O inventário da vida — *E. Casetta* 17
2. Biodiversidade e evolução — *D. Vecchi*..... 47
3. O que é a biodiversidade? A percepção do público
comum — *C. Vieira da Silva*..... 77

PARTE II

A IMPORTÂNCIA DA BIODIVERSIDADE

4. Ecologia e economia: o valor da biodiversi-
dade — *L. Vicente* 105
5. Biodiversidade e serviços dos ecossistemas
— *S. Di Marco*..... 131
6. A natureza à nossa mesa: o papel da biodiver-
sidade na segurança alimentar — *J. Marques da
Silva*..... 161



1

O inventário da vida

Elena Casetta

1. Introdução

A variedade de todas as formas de vida tem vindo, desde sempre, a ser objeto de investigação científica. Podemos mencionar, pelo menos, quatro disciplinas biológicas diretamente envolvidas no estudo da diversidade biológica: biologia evolutiva, taxonomia, ecologia e biologia do desenvolvimento.

A biologia evolutiva tenta compreender os mecanismos e processos que conduzem às diferentes espécies que habitam o planeta, bem como as diferenças individuais que existem entre os organismos da mesma espécie. A taxonomia foca-se na diversidade produzida por esses mesmos mecanismos e processos, visando descrever e classificar as espécies, e as categorias de nível superior (desde o género e classe até ao reino), numa única estrutura hierárquica. A ecologia estuda a diversidade biológica de um ponto de vista ligeiramente diferente. A palavra «ecologia» vem do grego *oikos* (que significa casa ou família) e *logos* (que significa estudo) — e não

deve ser confundida com ecologismo, que corresponde a uma ideologia política, baseada na ideia ética de que o mundo não humano merece consideração moral. A ecologia é um ramo da biologia que se foca nas relações entre os organismos e o seu ambiente, bem como entre os organismos e a comunidade onde vivem, dedicado ao estudo do funcionamento das comunidades (*i.e.*, grupos de organismos de diferentes espécies que interagem e ocupam uma mesma área) e ecossistemas (*i.e.*, comunidades vivas e o seu ambiente abiótico). Finalmente, a biologia do desenvolvimento procura perceber, entre outras questões, porque é que os organismos da mesma espécie se desenvolvem de acordo uma trajetória similar, que é diferente da trajetória seguida pelos organismos de outras espécies.

A diversidade de vida tem estado também no centro da reflexão filosófica desde o seu início, muito anterior ao nascimento das ciências como as conhecemos hoje. De entre os primeiros filósofos ocidentais, Anaxágoras (c. de 510-428 a.C.), por exemplo, lançou uma teoria cosmológica com o objetivo de explicar a diversidade de tudo o que observamos no planeta, incluindo os seres vivos. De acordo com este filósofo, o cosmos terá sempre existido e era, na sua origem, apenas uma massa homogénea de fragmentos de elementos todos misturados. Estes elementos foram-se diferenciando lentamente sem, no entanto, se separarem «categoricamente». Em vez disso, cada elemento manteve algo de cada um dos restantes elementos, originados a partir da mesma mistura original. De acordo com Platão (428/427 ou 424/423-348/347 a.C.), existia na natureza uma espécie de poder universal que originava um máximo de diversidade no mundo natural, regulando as mudanças de acordo com leis uniformes. No seu diálogo *Timaeus*,

Platão argumenta que a coisa mais valiosa no Universo é a diversidade máxima. Aristóteles (384-322 a.C.), o mais famoso discípulo de Platão, foi pioneiro no estudo dos organismos e o primeiro a descrever a diversidade biológica, ao desenvolver a primeira taxonomia de animais — a primeira classificação sistemática de diferentes animais em diferentes categorias. A lista de filósofos maravilhados com a variedade de vida, na busca de uma explicação dessa mesma variedade, é vasta. Dando um grande salto temporal, mencionamos apenas mais um exemplo, um dos mais importantes filósofos de todos os tempos: Immanuel Kant (1724-1804). Para este, a matéria precisa desenvolver-se a si própria e a natureza desenvolve-se de acordo com o seu próprio fim imanente (inerente), desde a força primitiva à estrutura complexa e diversificada, a que Kant chamou «a cadeia da natureza». Nesta cadeia, os humanos são meramente ligações, entre muitas outras. De acordo com Kant, de facto, todas as ligações — desde os insetos até aos seres humanos — são igualmente importantes. No seu livro *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (*História Geral da Natureza e Teoria do Céu*) escrito e publicado anonimamente em 1755, explica que a ideia de que o Universo terá sido criado para cumprir os propósitos humanos deve estar errada. Considere-se, por exemplo, um piolho inteligente que vive num couro cabeludo humano. Naturalmente, do ponto de vista do piolho, a «floresta» de cabelo em seu redor foi criada para sua felicidade. Mas se colocarmos de parte o ponto de vista do piolho, torna-se claro que a natureza não favorece ninguém, nem qualquer propósito, e que o objetivo da sua força interna é apenas uma complexidade crescente — a que hoje nos referimos como «biodiversidade».

Embora o conceito de diversidade de formas de vida tenha uma história tão longa, o termo «biodiversidade» foi cunhado apenas na década de 80, alcançando de imediato um enorme sucesso, e atualmente o debate sobre a biodiversidade está amplamente presente nas ciências da vida mas, também, nas nossas vidas quotidianas. A biodiversidade tornou-se rapidamente o foco central dos cientistas (biólogos, agrónomos, ecólogos, biogeógrafos...), dos governos e dos meios de comunicação social. No entanto, apesar de toda esta atenção e de todos os esforços dedicados à sua conservação, definir a biodiversidade, compreendendo o que é, inventariá-la, analisá-la e estabelecer as políticas necessárias à sua conservação e melhoria são tarefas extremamente complexas.

O que é a biodiversidade? Quanto sabemos a seu respeito? Podemos quantificar a biodiversidade perdida? Como se define a biodiversidade? Por mais simples que pareçam estas questões, no presente, não existe um consenso a respeito do entendimento do termo «biodiversidade», nem a respeito da quantificação da biodiversidade ou formas de medi-la. No presente capítulo vamos explorar estas questões básicas que são, de certa forma, preliminares a uma adequada conservação da biodiversidade.

2. A crise da biodiversidade

Embora a ideia da diversidade de vida exista desde os primórdios da filosofia e da biologia moderna, o termo «*biodiversity*» foi cunhado em inglês há 30 anos e foi adotado posteriormente nas restantes línguas. A expressão «*biological diversity*» entrou em uso no final

dos anos 70 e apenas foi conjugada em «*BioDiversity*» em 1985 pelo biólogo Walter G. Rosen, durante a organização do National Forum on BioDiversity, que decorreu em Washington DC em 1986. O recurso gráfico da composição do vocábulo (o D maiúsculo) perdeu-se em 1988, no título do volume de atas do National Forum on BioDiversity, intitulado *Biodiversity* (National Academy of Sciences, 1988). A nova palavra disseminou-se rapidamente, tanto no discurso científico como nos discursos sociais e políticos. A literatura científica dedicada à biodiversidade também cresceu consideravelmente. A 15 de Fevereiro de 2017, a pesquisa do termo «biodiversidade» (em inglês) no *Google Livros* produziu quase 370 000 resultados e uma busca no *Scopus*, uma base de dados de artigos científicos, identificou 17 971 artigos publicados com o termo «biodiversidade» no título... Nada mau para uma palavra com apenas 30 anos!

A palavra depressa se espalhou também pelos livros e universidades, tornando-se o foco de um impressionante conjunto de tratados internacionais dedicados à conservação da biodiversidade ao nível local, nacional e global. Ao nível global, o mais importante é a Convenção sobre a Diversidade Biológica, assinada na Cimeira da Terra no Rio de Janeiro em 1992. A convenção entrou em vigor a 29 de dezembro de 1993 e conta atualmente com 196 signatários, incluindo Portugal, que assinou a convenção a 13 de Junho de 1992 e a ratificou a 21 de Dezembro de 1993. A convenção foi complementada com o Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança, especificamente dedicado à gestão dos recursos genéticos e aos potenciais riscos impostos à biodiversidade pelos organismos geneticamente modificados (OGM), que entrou em vigor em 2003 (ver

capítulo 6). Ao nível da União Europeia, em 1992, 28 Estados-membros juntaram-se à «Rede Natura 2000», dedicada à monitorização e conservação de uma rede de sítios marinhos e terrestres fundamentais para a reprodução e repouso de espécies raras e ameaçadas, com o objetivo geral de assegurar a sobrevivência a longo prazo das espécies europeias e seus *habitats*. Em Portugal continental, existem 62 sítios classificados, 60 dos quais foram já reconhecidos como Sítios de Importância Comunitária (SIC) (foram ainda propostas, em 2016, duas novas áreas: Maceda/Praia da Vieira e Costa de Setúbal) e 42 Zonas de Proteção Especial (ZPE). Na Região Autónoma dos Açores estão classificados 3 SIC, 23 Zonas Especiais de Conservação (ZEC) e 15 ZPE, enquanto na Região Autónoma da Madeira existem 18 sítios classificados ao abrigo da Diretiva Habitats, 11 dos quais já designados como ZEC e 15 como ZPE, ao abrigo da Diretiva Aves. Para além dos tratados políticos, têm vindo a ser implementadas várias iniciativas com o objetivo de sensibilizar os governos, e o público em geral, acerca da crise da biodiversidade. Com este mesmo propósito, o ano de 2010 foi declarado pelas Nações Unidas Ano Internacional da Biodiversidade e, em dezembro de 2010, a mesma organização declarou o período de 2011 a 2020 como a Década das Nações Unidas para a Biodiversidade.

Um novo termo é criado geralmente quando existe algum tipo de necessidade de descrever algo novo. Mas, como vimos, a ideia da diversidade de formas de vida sempre esteve presente, assim como a ideia da diversidade de espécies, da variedade da natureza, etc. Qual foi então a necessidade — se existiu alguma — de criar um novo termo? Será o termo «biodiversidade» apenas

um novo rótulo para uma garrafa de vinho velho, ou haverá algo realmente novo lá dentro?

Historicamente, a razão que levou os biólogos evolutivos e os ecólogos a introduzirem o termo «biodiversidade» foi, na sua essência, política. O novo termo foi concebido como um *slogan* para atrair a atenção da comunidade científica, dos decisores políticos, governos, indústria e cidadãos, para o rápido decréscimo do número de espécies causado pelas atividades humanas. Concomitantemente com o aparecimento do «novo» conceito de biodiversidade, surgiu a biologia da conservação, uma ciência explicitamente dedicada à conservação da biodiversidade. No seu artigo fundacional «*What is Conservation Biology?*», o biólogo Michael Soulé explica que a biologia da conservação é «uma nova etapa na aplicação da ciência aos problemas de conservação... cujo objetivo é fornecer os princípios e ferramentas para preservar a diversidade biológica» (Soulé, 1985).

Evidentemente, preservar a diversidade biológica não é apenas uma questão para os cientistas. Não só toda a sociedade está envolvida, como existem também fortes interesses económicos implicados. Basta pensar que os bens e serviços fornecidos pelos ecossistemas (ver capítulo 5) foram avaliados num valor que se situa entre 2,9 e 33 triliões de dólares americanos por ano e que, de acordo com o Programa das Nações Unidas para o Ambiente, estima-se que os custos de manutenção da biodiversidade variem entre 680 milhões e os 42 mil milhões de dólares (para saber mais, pode ler James *et al.*, 2001). Os interesses económicos entram muitas vezes em conflito. Considere-se, por exemplo, o caso das áreas protegidas, geralmente sujeitas a fortes restrições de uso do solo. Estas restrições tendem a reduzir as oportunidades de desenvolvimento, num quadro em

que os municípios estão mais interessados em atrair novos negócios e investidores do que em conservar a biodiversidade. Para fazer face a estes tipos de conflito (que são também conflitos entre dois níveis diferentes de governação — o nível nacional ou transnacional, no qual a maioria das decisões de proteção ambiental é tomada, e o nível local, que tipicamente entende estas decisões como obstáculos ao desenvolvimento) podem seguir-se diferentes estratégias. Por exemplo, Portugal criou em 2007 um regime de benefícios fiscais para os municípios que incluíssem áreas protegidas (como os sítios da Rede Natura 2000) nos seus territórios. A ideia é de uma discriminação ecológica positiva: se um município incluir áreas protegidas no seu território, receberá mais financiamento do governo central.

3. Inventariar a vida

De acordo com uma hipótese da epistemologia evolutiva, as mentes humanas evoluíram de modo a serem recetivas à diversidade da natureza: para sobreviverem, os humanos primitivos tiveram de aprender a distinguir os frutos comestíveis dos não comestíveis, os animais perigosos dos inofensivos, as plantas tóxicas das não tóxicas, e assim por diante. Esta capacidade está na base da nossa aptidão de construir taxonomias, *i.e.*, classificações dos seres vivos. É incontroversa a ligação da biodiversidade à taxonomia. Na realidade, a ideia por detrás da introdução do termo «biodiversidade» foi, como vimos, lidar com o declínio da própria biodiversidade. A fim de prosseguir esta dura tarefa, a certa altura é necessário descrever, avaliar e estimar a diversidade dos sistemas biológicos (um ecossistema,

uma comunidade de espécies, um biota¹...). Para esta análise detalhada, são necessárias, em primeiro lugar, a contagem dos elementos do sistema e a avaliação do grau de diferenciação entre eles. Por outras palavras, quando sabemos o que devemos contar e como comparar o que contamos, rumamos para a compreensão do verdadeiro objeto de conservação. É então claro que biodiversidade e taxonomia estão intrinsecamente relacionadas, *i.e.*, a descrição, avaliação ou conservação da biodiversidade não pode ocorrer sem o conhecimento taxonómico. Porém, juntamente com os poderosos instrumentos e a organização estrutural da taxonomia, a biodiversidade herda também alguns dos seus problemas.

Na realidade, desenvolver taxonomias é uma tarefa complicada não só por razões práticas (como recursos financeiros limitados ou dificuldades de recolha de amostras em certas áreas), mas também porque existem diferentes formas de classificar os organismos em espécies e as espécies em grupos mais amplos (os chamados táxones, o plural de táxon), como os géneros, as famílias, ordens, classes, filos, até aos reinos e domínios. No seu tempo, Aristóteles juntou na mesma classe aves e seres humanos, uma vez que ambos caminhavam sobre duas pernas. As classificações atuais baseiam-se não tanto nas semelhanças morfológicas, mas mais no grau de semelhanças genéticas, que se considera refletirem melhor as relações filogenéticas entre organismos, *i.e.*, o seu lugar na «árvore da vida» (todos os organismos estão relacionados através da sua descendência — os ramos — de um antepassado comum — a raiz, formando uma estrutura semelhante a uma árvore). Ainda assim,

¹ Conjunto de todos os organismos vivos de um determinado local e/ou num determinado período.

as classificações não são mais fáceis do que no tempo de Aristóteles. Provavelmente, são ainda mais difíceis, porque sabemos que o inventário da vida é uma tarefa sem fim. Vamos analisar as razões disto.

O pai da taxonomia moderna é considerado, unanimemente, Carl Linnaeus, vulgarmente conhecido por Lineu. O seu *Systema naturæ per regna tria naturæ, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis* (título da 10.^a edição de 1758, sendo a primeira edição de 1735) estabeleceu as regras de nomenclatura e a estrutura hierárquica como as conhecemos atualmente. Foi Lineu quem decidiu que os nomes das espécies seriam todos compostos por duas palavras em latim, a primeira identificando o género a que a espécie pertence (como *Homo*, em *Homo sapiens*) e a segunda identificando a espécie dentro do género (*sapiens*).

Não obstante, Lineu não considerou, obviamente, a teoria da evolução de Darwin, que foi proposta pela primeira vez de forma sistemática apenas em 1859. O mundo natural de Lineu, entendido como um produto da criação divina, era um mundo estático que não considerava o aparecimento de nova biodiversidade. As espécies eram entendidas como átomos do sistema, em virtude de terem essências provenientes diretamente de Deus. Lineu considerava que todas as espécies existiam desde o início da vida na Terra e que nenhuma espécie nova poderia surgir, porque tal significaria que algo faltava no Universo e, portanto, a criação de Deus, bem como ele próprio enquanto criador, não eram perfeitos. Enquanto o criacionismo (a crença de que toda a humanidade, a vida, a Terra e o Universo são criação de um agente sobrenatural) e o fixismo (a ideia de que as espécies não evoluem, mantendo-

-se imutáveis durante toda a sua existência) não são considerados seriamente na biologia contemporânea, o sistema de Lineu continua em utilização, apesar da sua concepção estática da diversidade da vida. Na realidade, é mesmo o sistema de referência nos códigos internacionais contemporâneos que regulamentam a nomenclatura zoológica e botânica.

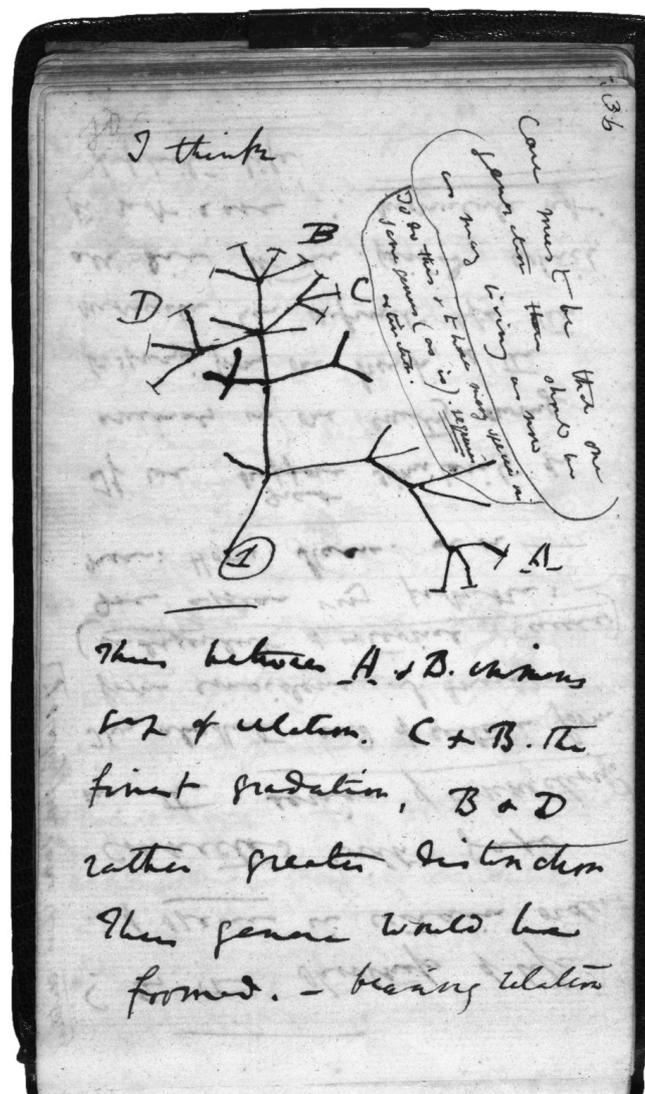


Figura 1 — O primeiro diagrama de Darwin de uma árvore evolutiva (Darwin 1837-38). Fonte: Wikimedia Commons

Com a teoria de Darwin, a visão global mudou drasticamente (ver capítulo 2). A vida evolui. A biodiversidade é continuamente produzida e perdida. As espécies são átomos significantes desta diversidade, não porque possuam essências, mas porque originam novas espécies através de processos de divergência (causados por diferentes tipos de fatores, do isolamento reprodutivo à hibridização) — especiação — extinguindo-se ou transformando-se através desses processos.

Para explicar este novo mundo em evolução, as diferentes escolas taxonómicas começaram a propor diferentes formas de agrupar (classificar) os organismos em espécies e categorias superiores. As classificações do mundo natural são, por vezes, tão distintas que chegam mesmo a ser incompatíveis. Por exemplo, a taxonomia evolutiva pretende adicionar ao sistema de Lineu uma reinterpretação histórica em termos de filogénese, *i.e.*, em termos de processos biológicos de transformação que explicam a histórica ramificação de linhagens. Resumidamente, as espécies são atualmente agrupadas em géneros (e os géneros em categorias mais abrangentes), não de acordo com a sua similaridade, mas sim com base no seu antepassado mais recente. Dito de outra forma, um género é um grupo de espécies que partilham um antepassado comum bastante recente e que geralmente, mas não necessariamente, exibem caracteres herdados que são similares entre si. As categorias superiores ao género são grupos em que o antepassado comum viveu num período de tempo mais remoto, daí que a divergência evolutiva seja maior, assim como a sua correspondente diversidade fenotípica (*i.e.*, o conjunto de todas as características não genéticas, tais como as morfológicas, fisiológicas e comportamentais). Apesar da sua atratividade, a taxonomia evolutiva enfrenta

a dificuldade prática de identificar os caracteres (um carácter é uma característica biologicamente distinta que pode ser usada para classificar um organismo) que devem ser considerados homologias, *i.e.*, caracteres cuja presença permite inferir relações filogenéticas. Por exemplo, o coração e os rins, ambos encontrados tanto em seres humanos como em chimpanzés, são órgãos homólogos que testemunham uma história evolutiva comum. Do mesmo modo, pode pensar-se que a visão, partilhada por insetos e mamíferos, é uma indicação de uma história evolutiva comum, mas não é. Mamíferos e insetos não têm nenhum antepassado comum dotado de olhos. Os olhos dos mamíferos e insetos evoluíram independentemente e não decorrem de um antepassado comum. Outra dificuldade com a qual a taxonomia evolutiva se depara é a de, embora se baseie em relações evolutivas, não se referir exclusivamente a essas relações.

Um exemplo famoso de desacordo taxonómico é o caso do táxon Reptilia (répteis). Se olharmos somente para as relações entre antepassado e descendentes, as

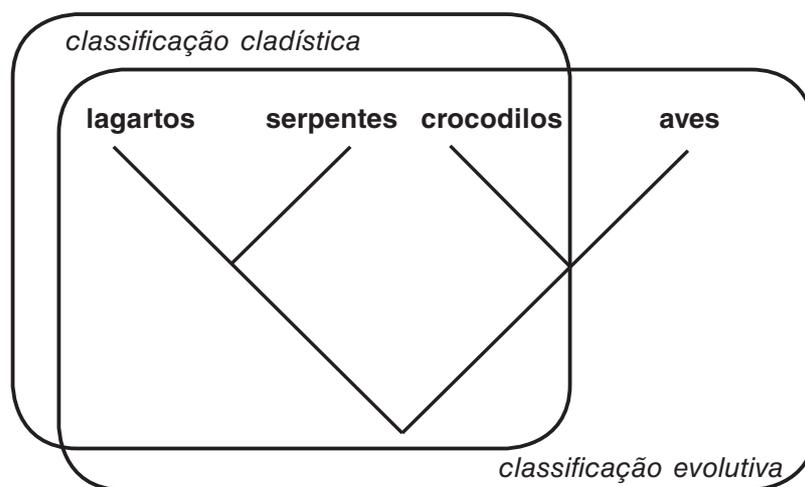


Figura 2 — Táxon Reptilia (répteis)

aves podem ser incluídas no mesmo táxon que os lagartos, que as cobras e os crocodilos. Mas, de acordo com os taxonomistas evolutivos, as aves são demasiado diferentes desses animais e devem, portanto, ser incluídas num táxon diferente. Por oposição, uma escola taxonómica diferente — a cladística — afirma que não interessa quão diferentes são as aves dos crocodilos. Desde que ambos tenham origem no mesmo evento histórico de ramificação, estes dois grupos pertencem ao mesmo *clado* (ramo) da árvore. Fica assim claro que a escolha do sistema de classificação não depende apenas de questões empíricas. Como escolher então entre os dois sistemas de classificação?

Enigmas deste tipo são ainda mais frequentes quando falamos de espécies. Tanto na taxonomia como no estudo da biodiversidade, as espécies ocupam um lugar privilegiado. Na taxonomia, enquanto os táxones superiores (como as famílias e ordens) são frequentemente considerados um resultado de agrupamentos arbitrários, as espécies gozam de uma certa primazia: são consideradas como «mais reais», por assim dizer. As espécies são vulgarmente entendidas como as unidades da biodiversidade (juntamente com os genes e ecossistemas) e são geralmente os alvos das políticas de conservação. Além disso, as espécies têm uma importância crucial na conceção comum da biodiversidade.

Leis como a Lei das Espécies Ameaçadas — *Endangered Species Act* (uma das principais leis ambientais dos Estados Unidos), de 1973, tomam como certa a nossa compreensão do que são exatamente as espécies e de como contá-las inequivocamente. No texto da lei pode ler-se, por exemplo, que as espécies são entidades objetivas facilmente identificadas. No entanto, a inven-

tariação das espécies é muito mais difícil do que parece à partida. Para além das divergências taxonómicas, decorrentes de uma série de escolhas arbitrárias por parte dos taxonomistas (recorde-se o caso dos répteis), não existe também acordo acerca da delimitação e contagem de espécies, uma vez que diferentes investigadores usam, muitas vezes, diferentes definições de espécies, dependendo da sua área de investigação e do tipo de organismos que consideram. Por exemplo, um paleontólogo utilizará um conceito de espécie baseado em caracteres morfológicos, enquanto um zoólogo optará, provavelmente, por um conceito de populações interreprodutoras, segundo o qual se incluem na mesma espécie organismos que se reproduzem entre si originando descendência fértil. Por outro lado, um conceito de espécie baseado no cruzamento será inútil para um bacteriologista, por exemplo, uma vez que as bactérias geralmente não se cruzam. As desigualdades que resultam deste tipo de desacordo constituem um sério obstáculo à avaliação da biodiversidade e à aplicação de políticas dedicadas à preservação das espécies.

Considere-se o caso do lobo-vermelho (*Canis rufus*), apresentado num artigo da revista americana *Scientific American* (Zimmer, 2008). O lobo-vermelho era considerado como uma espécie isolada, que vivia no sudeste dos EUA. Nos últimos anos, esta espécie tem vindo a ser alvo de um grande projeto de conservação que visa evitar a sua extinção. No entanto, os cientistas canadianos argumentam agora que se trata apenas de uma população isolada da espécie *Canis lycaon* (o lobo-cinzento canadiano). Felizmente, no Canadá esta espécie continua a prosperar, com milhares de indivíduos — o lobo-vermelho parece afinal não estar assim tão ameaçado. Se pensarmos agora no caso das

aves-do-paraíso, a partir dos mesmos dados podemos chegar a diferentes conclusões, consoante o conceito de espécie que utilizarmos: se usarmos o chamado conceito filogenético, encontramos cerca de 90 espécies dessas aves; mas se usarmos o conceito de espécie baseado na reprodução encontramos entre 40 a 42 espécies. Como podemos explicar estas diferenças? E como podemos lidar com elas na perspectiva das políticas de conservação da biodiversidade? Não existem respostas fáceis a estas perguntas. Ainda assim, é importante lembrarmo-nos destas questões, particularmente quando analisamos dados que se referem à perda de biodiversidade, ou às taxas de extinção.

4. Espécies

Na sua génese, o termo «biodiversidade» pretendia (implícita ou explicitamente) referir-se à riqueza de espécies, nomeadamente ao número de espécies diferentes presentes numa dada comunidade, ecossistema ou área geográfica. Neste caso, quanto maior for o número de espécies, maior será a biodiversidade. Na sua contribuição para as atas do National Forum on BioDiversity, E. O. Wilson identificou, explicitamente, a diversidade biológica como o número de espécies existentes e relacionou a perda de diversidade com a extinção destas. A razão para essa interpretação ficou clara no seu livro *The Diversity of Life*, de 1992:

«Elimine-se uma espécie e outra aumentará em número para ocupar o lugar vago. Elimine-se um grande número de espécies e o ecossistema local entrará em visível declínio. A produtividade cai à medida que os canais dos ciclos de nutrientes são tapados. Mais bio-

massa é sequestrada na forma de vegetação morta que sofre um lento metabolismo, lama quase privada de oxigénio, ou é simplesmente arrastada... Caem menos sementes, e surgem menos rebentos. Os herbívoros entram em declínio e, em consonância, os seus predadores vão morrendo.»

A riqueza de espécies (ou riqueza específica) é considerada importante, como se pode observar na citação, porque é suposto relacionar-se com o bom funcionamento, ou estabilidade, de um ecossistema. Mas é provável que o número de espécies não seja o único aspeto a ter em consideração. Outro aspeto importante a considerar é a uniformidade. Diz-se que uma comunidade biológica, um ecossistema ou uma área geográfica têm uniformidade quando a abundância de todas as espécies presentes é semelhante. Por exemplo, a riqueza específica de uma comunidade com 5 espécies diferentes será menor do que a de uma comunidade com 8 espécies diferentes. Uma comunidade com 100 leões e duas gazelas é menos uniforme do que uma comunidade com 100 leões e 104 gazelas. A combinação da riqueza específica com a uniformidade de espécies — frequentemente referida como diversidade de espécies (ou diversidade específica) — pode ser medida através de índices matemáticos. Medir a biodiversidade é fundamental se a quisermos conservar, pois as ações de conservação dependem geralmente de recursos financeiros limitados e, por conseguinte, os locais a conservar têm de ser priorizados. Isto implica que a biodiversidade seja primeiro medida, ou avaliada.

Para dar uma ideia de como isto funciona, observe-se um dos índices de biodiversidade mais comuns, o Índice

de Diversidade de Simpson, que considera o número de espécies presentes, como também a abundância relativa de cada espécie:

$$D = \sum_{i=1}^N \frac{ni * (ni - 1)}{N * (N - 1)}$$

Onde N representa o número total de organismos que encontramos na área de estudo e ni o número de indivíduos da espécie i . A diversidade presente numa determinada área é dada por:

$$1 - D$$

Para calcular a diversidade de duas áreas, por exemplo, primeiro temos de recolher uma amostra dos organismos existentes em cada área e registar, quer o número de espécies diferentes, quer o número de indivíduos de cada espécie. Suponha-se então que recolhemos um total de 30 organismos em cada área, pertencentes a 3 espécies diferentes.

i	ÁREA 1 Número de indivíduos (ni)	ÁREA 2 Número de indivíduos (ni)
Espécie A	15	2
Espécie B	7	2
Espécie C	8	26
<i>N.º total de indivíduos (N)</i>	30	30

O cálculo do Índice de Simpson será:

ÁREA 1	ÁREA 2
$D = \frac{15(15 - 1) + 7(7 - 1) + 8(8 - 1)}{30(30 - 1)}$	$D = \frac{2(2 - 1) + 2(2 - 1) + 26(26 - 1)}{30(30 - 1)}$
D = 0,354	D = 0,751
1 - D = 0,646	1 - D = 0,249

De acordo com este índice, a diversidade é maior na Área 1 (0,646) do que na Área 2 (0,249). Desta forma, a Área 1 «funcionará» provavelmente melhor do que a Área 2, ou seja, a comunidade de espécies na Área 1 será mais estável e, no caso de ocorrer um evento disruptivo (como por exemplo a chegada de uma espécie invasora), essa comunidade recuperará, provavelmente, mais depressa.

Ainda que este procedimento de avaliação da diversidade possa parecer claro e simples, ele enfrenta problemas, quer práticos quer teóricos.

Uma primeira dificuldade baseia-se no pressuposto de que somos capazes de distinguir as diferentes espécies, de distinguir os indivíduos e de saber em que espécies incluir os vários indivíduos. Todas estas tarefas são bastante complicadas. Considere-se, por exemplo, o caso dos animais e plantas que se reproduzem assexuadamente. Em primeiro lugar, não é claro se os organismos que se reproduzem assexuadamente constituem espécies. Em segundo lugar, a individualização nem sempre é simples, como, por exemplo, no caso das plantas que se reproduzem pela dispersão de propágulos vegetativos (*i.e.*, sem a produção de sementes ou esporos) através dos seus rebentos e raízes.

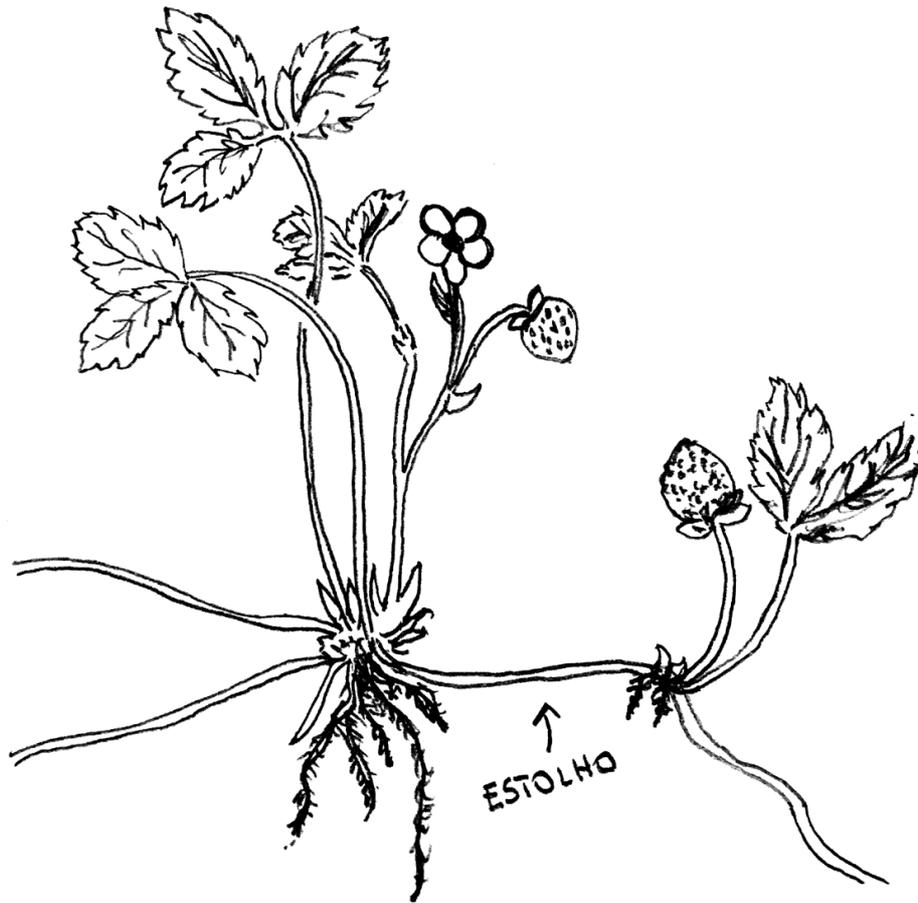


Figura 3 — Uma planta-mãe de morango com uma planta-filha, ligadas por um estolho: 1 ou 2 indivíduos?

Por exemplo, os morangos e várias ervas utilizam «corredores» horizontais (*i.e.*, estolhos) para se propagarem. Os estolhos são caules horizontais que se propagam normalmente acima da terra e enraízam nos seus nós, dando origem a novas plantas iguais à original. O conjunto de todas estas estruturas (planta-mãe + planta-filha + estolhos) tem o mesmo ADN ou seja, a mesma base genética. Quantos indivíduos devemos contar, neste caso? A diversidade de formas de reprodução nas plantas (no caso das algas e dos fungos, a situação complica-se ainda mais) impossibilita

a contabilização de indivíduos. Porém, também no reino animal a contabilização de indivíduos pertencentes a uma determinada espécie é mais fácil de dizer do que fazer. Muitos organismos passam por várias metamorfoses, adquirindo diferentes formas ao longo dos seus ciclos de vida, e outros apresentam forte dimorfismo sexual. Pensemos na descoberta recente de três tipos de peixes, até então incluídos em três famílias diferentes por causa da sua morfologia tão distinta, mas que na realidade são respetivamente larvas, machos e fêmeas, de uma só família!² Casos como este são frequentes em qualquer nível da hierarquia taxonómica, incluindo as espécies.

Outra dificuldade na análise da diversidade prende-se com a multiplicidade de papéis que as várias espécies desempenham numa comunidade ou num ecossistema. Quando as espécies são contabilizadas através de índices, como o Índice de Simpson, elas são consideradas como sendo todas iguais. Isto significa que os índices de diversidade não são capazes de considerar as diferentes importâncias funcionais das espécies, que implicam diferentes consequências para o ecossistema.

Outros problemas são de natureza mais prática, como as dificuldades concretas em medir a riqueza e a abundância de espécies. Idealmente, para medirmos a riqueza de espécies numa certa área, seria necessária uma enumeração completa das espécies existentes nessa área, ou uma enumeração completa dos indivíduos de cada espécie, no caso de querermos medir a abundância de espécies. Contudo, um levantamento completo deste tipo é quase sempre inviável do ponto de vista logístico (e é provável que as espécies raras não sejam

² Para saber mais sobre esta descoberta, ver Johnson *et al.*, 2009.

consideradas, porque a possibilidade de serem encontradas é menor).

A lista de dificuldades podia continuar, mas no restante do capítulo gostaríamos de discutir uma questão mais geral e fundamental. Suponhamos, por razões de argumentação, que somos capazes de medir de forma fiável a diversidade de espécies numa determinada área. Se tal for possível, estaremos de facto a medir a biodiversidade? Por outras palavras, será a biodiversidade apenas a diversidade de espécies? Intuitivamente, a resposta será negativa. Mas então o que é a biodiversidade?

5. O problema da definição

A noção de biodiversidade é profundamente intuitiva, mas como dizia o filósofo Agostinho de Hipona sobre a noção de tempo: «Se ninguém mo perguntar eu sei; se o quiser explicar a quem me fizer a pergunta, já não sei» (*Confissões*, Livro XI, 14). A diversidade de formas de vida está ao nosso redor: basta olharmos para um jardim, um parque, ou um fundo marinho para tomarmos consciência disso. Quando usamos a palavra «biodiversidade» entendemo-nos imediatamente, sem necessidade de mais esclarecimentos. Mas, apesar desta intuição, definir a «biodiversidade» de forma precisa é uma tarefa complicada, podendo mesmo constituir um desafio sem esperança. Por que razão é assim?

Se olharmos para a etimologia do termo «biodiversidade», este significa a diversidade da vida. Mas isso significa, ao mesmo tempo, tudo e nada.

Em primeiro lugar, podemos questionar: de que tipo de diversidade estamos a falar? Ou que tipo de entidades ou sistemas vivos devemos considerar? A noção

de diversidade é problemática, principalmente por ser um conceito tão impreciso. Quanto é que *a* tem de ser diverso de *b* para que seja considerado diverso? Por outras palavras, serão um leão e um caracol mais diversos do que, por exemplo, um inseto e um ser humano? A noção de biodiversidade parece ser então cientificamente duvidosa, pelo menos na sua raiz. No entanto, todos nós (e os outros animais também) temos uma espécie de senso inato de similaridade e diversidade, seja como resultado da evolução, seja como resultado da transmissão cultural.

Em segundo lugar, a noção de vida é ainda mais problemática do que a noção de diversidade. A vida apresenta-se sob diferentes formas e em diferentes níveis de organização e complexidade que são, provavelmente, impossíveis de considerar de uma forma unificada. Além disso, não existe nem uma definição universalmente aceite do que é a vida, nem uma forma incontroversa de identificar as fronteiras entre o mundo vivo e o não vivo. Um exemplo clássico é o dos vírus. Tipicamente, considera-se algo como sendo vivo quando este consegue metabolizar, *i.e.*, consegue extrair energia do seu ambiente e usar essa energia para mover-se, crescer, desenvolver-se e reproduzir-se. Os vírus, no entanto, não possuem, normalmente, metabolismo próprio. Para se reproduzirem, usam o metabolismo da célula hospedeira. Serão então os vírus formas vivas? Outro exemplo complicado é o do solo. Intuitivamente, o solo é algo não vivo, mas na realidade isto não é completamente verdade. Qualquer solo é constituído, simultaneamente, por matéria inorgânica (como partículas de minerais provenientes das rochas) e matéria orgânica (onde se incluem os fungos, bactérias e algas). Muito provavelmente haverá mais

vida numa colher cheia de solo, do que seres humanos a viver no nosso planeta! Outro exemplo de como as dificuldades relativas à caracterização da vida afetam a caracterização da biodiversidade está relacionado com a noção de ecossistema. Os ecossistemas desempenham, juntamente com as espécies, um papel muito relevante, quando se fala de biodiversidade. Os ecossistemas são constituídos por componentes bióticas e abióticas (*i.e.*, não vivas) e o seu funcionamento depende de ambas as componentes. Como poderia um ecossistema funcionar sem água (componente abiótica), por exemplo? No entanto, se considerarmos a «biodiversidade» de forma literal, a componente abiótica dos ecossistemas fica de fora do domínio da biodiversidade.

As dificuldades destacadas refletem-se na atual multiplicidade de definições de biodiversidade. Seguem-se alguns dos exemplos mais populares:

«A diversidade biológica significa a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, incluindo, *inter alia*, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos dos quais fazem parte; compreende a diversidade dentro de cada espécie, entre espécies e dos ecossistemas.»

Convenção sobre a Diversidade Biológica (CBD, 1992)

«Biodiversidade é a variedade de vida, e refere-se coletivamente à variação em todos os níveis de organização biológica.»

(GASTON E SPICER, 1998)

«Biodiversidade não é somente o número de genes, espécies, ecossistemas ou outro grupo de coisas numa

área definida... Mais útil do que uma definição seria, talvez, uma caracterização da biodiversidade, que identificasse as principais componentes nos vários níveis de organização.»

(Noss, 1990)

«A biodiversidade é um atributo de uma área e refere-se especificamente à variedade dentro e entre organismos vivos, conjunto de organismos vivos, comunidades bióticas e processos bióticos, quer ocorram naturalmente, quer sejam modificados pelos seres humanos.»

(DELONG, 1996)

Numa revisão de literatura relevante, entre 1976 e 1996, Don C. Long (1996) enumera pelo menos 85 definições de biodiversidade. Essas definições diferem principalmente no seu grau de abrangência. Algumas incluem toda a vida na Terra, presente, passada e futura, enquanto outras restringem a biodiversidade ao estado de uma área específica num determinado momento no tempo. Há definições que incluem processos, outras que apenas consideram entidades. Algumas incluem a biodiversidade alterada pelos seres humanos (como as espécies exóticas ou culturas geneticamente modificadas), enquanto outras a excluem do inventário, equiparando a biodiversidade à natureza selvagem, e assim por diante.

O que devemos fazer quando existem tantas definições de biodiversidade, muitas vezes inconsistentes entre si? Na realidade, o uso de um termo com múltiplos significados pode dificultar o acordo na tomada de decisão. Todavia, para que se estabeleçam estratégias

efetivas e partilhadas de conservação da biodiversidade, é necessário alcançar um acordo sobre a definição de biodiversidade, ainda que provisório e apenas operacional. Uma solução possível foi proposta pelo filósofo da ciência e biólogo da conservação contemporâneo Sahotra Sarkar, da Universidade do Texas em Austin. No seu artigo de 2002 «*Defining 'biodiversity'; Assessing biodiversity*», Sarkar sugere que reconheçamos a estrita relação entre biodiversidade e a sua conservação, argumentando que a biodiversidade deve ser definida, implicitamente, como o que está a ser conservado na prática pela biologia da conservação. Definições implícitas, ou seja, definições que consistem num conjunto de axiomas no qual se inclui o conceito a definir, são frequentes na ciência (por exemplo, o «número natural» é tipicamente definido através dos axiomas de Peano). No caso da biodiversidade, não se trata de axiomas, mas sim de algoritmos, *i.e.*, procedimentos. Consequentemente, o centro da questão passa a ser sobre que entidades se devem focar os procedimentos da biologia da conservação e que procedimentos são esses. De acordo com Sarkar, podem distinguir-se dois tipos diferentes de ação na biologia da conservação, tal como na medicina: melhorar e prevenir. A conservação que pretende melhorar (recuperar) a biodiversidade pretende, principalmente, salvar espécies ameaçadas de extinção. A conservação preventiva aplica-se por sua vez a áreas geográficas, ou seja, implica a manutenção e melhoria das condições ambientais de áreas geográficas consideradas importantes para a biodiversidade. Na conservação preventiva, segue-se uma abordagem unificada que consiste na priorização de locais de acordo com o valor da sua biodiversidade (a biodiversidade é deste modo entendida como a propriedade de um local

e os locais são regiões específicas ocupadas com os resultados particulares da sua história evolutiva — cada local é, assim, único) e nos procedimentos necessários para a sobrevivência, a longo-prazo, das unidades biológicas de interesse. A ideia é a seguinte: nem sabemos exatamente o que é a biodiversidade, nem temos forma de a medir diretamente. Ainda assim, podemos usar os chamados «substitutos verdadeiros» (*true surrogates*), *i.e.*, propriedades mais simples que supostamente representam a biodiversidade e que com ela variam, como, por exemplo, a diversidade de espécies que, esta sim, conseguimos medir. Se, ou quando, for muito difícil medir com fiabilidade o substituto verdadeiro (*e.g.*, a diversidade de espécies), podemos usar os substitutos estimativos (*estimator surrogates*), *i.e.*, propriedades ainda mais simples, mais fáceis de medir e que supostamente representam os substitutos verdadeiros (*e.g.*, a riqueza de espécies — o número de espécies encontrado num determinado local).

Subst. estimativo → Subst. verdadeiro → Biodiversidade geral
 (*e.g.* riqueza de espécies) (*e.g.* diversidade de espécies)

A partir daqui podemos priorizar locais com base nos substitutos. Desta forma, a biodiversidade é implicitamente definida pelos procedimentos da biologia da conservação. Foram já propostos vários substitutos (e índices matemáticos para medi-los). Por exemplo, como substitutos verdadeiros, os candidatos preferidos são, para além da diversidade de espécies, a diversidade de características ou atributos, a diversidade de biomas (*i.e.*, comunidades e seus *habitats*) e a diversidade de parâmetros ambientais.

Resumindo, mesmo que não saibamos exatamente o que é a biodiversidade e como a podemos definir, a diversidade é reconhecida geralmente como um valor biológico, e embora a diversidade de espécies seja frequentemente reconhecida como um bom substituto de biodiversidade, a biodiversidade é mais do que a simples diversidade de espécies, como podemos ver pela multiplicidade de substitutos e de índices utilizados atualmente na biologia da conservação.

6. Conclusão

Neste capítulo, vimos que a biodiversidade é uma noção muito intuitiva e simultaneamente muito difícil de captar numa definição precisa. Consequentemente, a medição/avaliação da biodiversidade é uma tarefa complicada. Inventariar a vida é, deste modo, difícil, quer pelas disputas taxonómicas, quer por problemas práticos, e conservá-la é uma árdua tarefa, não só pelos constrangimentos económicos, mas também por razões teóricas mais fundamentais. Como podemos conservar algo que não sabemos o que é? Contudo, a conservação da biodiversidade é provavelmente o maior desafio que as gerações presentes e futuras terão de enfrentar.

Na verdade, mesmo que não saibamos exatamente o que é a biodiversidade (não só não existe ainda uma definição compartilhada entre todos os cientistas, como também a compreensão da biodiversidade difere entre estes e público em geral, ver capítulo 3), existe um consenso geral de que a biodiversidade tem valor. Tem um valor económico, geralmente mencionado em termos de serviços dos ecossistemas (ver capítulos 5 e 6), mas também um valor ético — a biodiversidade é

considerada como algo bom, a preservar, e a sua perda é considerada como algo mau para os humanos e para as outras espécies (ver capítulo 4). A biodiversidade também é um valor, do ponto de vista biológico. Uma comunidade ou sistema mais diverso, por exemplo, é considerado frequentemente como sendo mais estável e como tendo maior capacidade de sobrevivência. Por último, a biodiversidade é simultaneamente causa e resultado de processos evolutivos (ver capítulo 2).

Bibliografia

- CBD, CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (1992), <https://www.cbd.int/convention/text/default.shtml>.
- DARWIN, C. (1837-1838), *Notebook B: [Transmutation of species (1837-1838)]*, CUL-DAR121 (Darwin Online, <http://darwin-online.org.uk/>).
- DARWIN, C. (1859), *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life; A Origem das Espécies*, FV Éditions, 2017.
- DELONG, D. C. (1996), «Defining Biodiversity», *Wildlife Society Bulletin*, 24:738-49.
- GASTON, K. J. e SPICER, J. I. (1998), *Biodiversity. An Introduction*, Blackwell, Oxford.
- JAMES, A.; GASTON, K. J. e BALMFORD, A. (2001), «Can we afford to conserve biodiversity?», *Bioscience*, 51(1):43-52.
- JOHNSON, G. D. *et al.* (2009), «Deep-sea mystery solved: astonishing larval transformations and extreme sexual dimorphism unite three fish families», *Biology Letters*, 5:235-239.
- Noss, R. (1990), «Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach», *Conservation Biology*, 4(4):355-364.

- SARKAR, S. (2002), «Defining 'biodiversity'; Assessing biodiversity», *The Monist*, 85(1):131-155.
- SOULÉ, M. (1985), «What is Conservation Biology?», *BioScience*, 35(11):727-734.
- WILSON, E. O. (1992), *The Diversity of Life*, Harvard University Press, Cambridge (MA).
- WILSON, E. O. e PETER, F. M. (eds.) (1988), *Biodiversity*, The National Academy Press, Washington DC.
- ZIMMER, C. (2008), «What Is a Species?», *Scientific American*, Junho de 2008, 72-79.