

Parte I

Princípios de ciências do mar

CAPÍTULO

1

A ciência da biologia marinha



Um mergulhador mede a penetração de luz no gelo marinho no Oceano Ártico.

A biologia marinha é o estudo científico dos organismos que vivem no oceano. O oceano é uma vasta área que serve de lar para incontáveis estranhas e maravilhosas criaturas. São frequentemente a beleza, os mistérios e a variedade de vida no mar que atraem estudantes para um curso de biologia marinha. Até mesmo profissionais da área têm um sentimento de aventura e admiração em seus estudos.

Existem também muitas razões práticas para estudar biologia marinha. A vida na Terra se originou provavelmente no mar, assim, o estudo dos organismos marinhos nos ensina muito sobre a vida na Terra, e não somente sobre a vida marinha. Muitos avanços da medicina, por exemplo, são fundamentados em descobertas relativas a estudos de células primitivas do sistema imunológico de anêmonas-do-mar e de larvas de estrelas-do-mar, de fertilização de ovos de pepinos-do-mar, de células nervosas de lulas, de músculos de mexilhões e de outras características de organismos marinhos.

A vida marinha também representa uma vasta fonte de saúde para os seres humanos. Ela fornece alimento, medicamentos e materiais naturais; oferece recreação; e suporta o turismo ao redor do mundo. Organismos marinhos também podem causar problemas. Por exemplo, alguns organismos prejudicam os seres humanos por meio de doenças ou ataques a pessoas. Outros nos causam danos indiretamente quando ferem ou matam outros organismos marinhos de valor para alimentação e outros usos. Alguns organismos marinhos corroem píeres, muros e outras estruturas que construímos nos oceanos, incrustam no fundo dos navios e entopem tubos.

Em um âmbito bem mais fundamental, a vida marinha ajuda a determinar a verdadeira natureza do planeta. Organismos marinhos produzem cerca de metade do oxigênio que respiramos e ajudam a regular o clima na Terra. Nossas zonas costeiras são formadas e protegidas pela vida marinha, pelo menos em parte, e alguns organismos marinhos ainda ajudam a criar novos terrenos. Em termos econômicos,

foi estimado que os sistemas vivos dos oceanos valem mais de US\$ 20 trilhões por ano.

Para fazer uso total e consciente dos recursos vivos marinhos, para resolver os problemas criados pelos organismos marinhos e para prever os efeitos das atividades humanas na vida dos oceanos, precisamos aprender tudo que podemos sobre a vida marinha. Além disso, os organismos marinhos fornecem pistas sobre o passado da Terra, sobre a história da vida e até mesmo sobre nossos corpos, as quais precisamos aprender para entender. Este é o desafio, a aventura, da biologia marinha.

A CIÊNCIA DA BIOLOGIA MARINHA

A biologia marinha não é exatamente uma ciência independente, mais do que isso, é a biologia mais geral aplicada aos oceanos. Praticamente todas as disciplinas da biologia estão representadas na biologia marinha. Há biólogos marinhos que estudam a química básica de organismos vivos, por exemplo. Alguns são interessados em organismos inteiros: seu comportamento, onde vivem e por que e demais aspectos. Outros adotam uma perspectiva global e observam o funcionamento dos oceanos como um sistema. A biologia marinha, portanto, faz parte de uma ciência mais ampla e é por si só composta de diferentes disciplinas, considerações e pontos de vista.

A biologia marinha é fortemente relacionada à oceanografia, o estudo científico dos oceanos. Assim como a biologia marinha, a oceanografia tem muitas partes. Oceanógrafos-geólogos, ou geólogos marinhos, estudam o fundo dos oceanos. Oceanógrafos químicos estudam a química dos oceanos, e oceanógrafos físicos estudam ondas, marés, correntes e outros aspectos físicos dos oceanos. A biologia marinha é mais relacionada à oceanografia biológica, tão fortemente relacionada, na verdade, que é difícil separar as duas. Às vezes elas são distinguidas por serem biólogos marinhos os que tendem a estudar organismos que

vivem relativamente próximo à costa, ao passo que os oceanógrafos-biólogos focam na vida em oceano aberto, longe do continente. Outra distinção comum é que os biólogos marinhos tendem a estudar a vida marinha pela perspectiva dos organismos (p. ex., estudando como os organismos produzem matéria orgânica), e os oceanógrafos-biólogos tendem a ter a perspectiva do oceano (p. ex., estudando a ciclagem da energia ou matéria orgânica no sistema). Na prática, existem tão poucas exceções a essas distinções que muitos cientistas do mar consideram a biologia marinha e a oceanografia biológica como a mesma ciência.

Os interesses dos biólogos marinhos podem se sobrepor largamente aos dos biólogos que estudam organismos terrestres. Muitas das maneiras básicas pelas quais seres vivos fazem uso da energia, por exemplo, são similares para organismos que vivem na terra ou no mar. Entretanto, a biologia marinha tem a sua própria identidade, parcialmente em razão de sua história.

A história da biologia marinha

As pessoas têm vivido ao redor do mar desde o início da humanidade, e os frutos do mar têm sido desde o início considerados essenciais para a sobrevivência humana e a migração. As primeiras lâminas de pedra conhecidas, de 165.000 anos atrás, foram recentemente descobertas em uma caverna adjacente ao mar, na África do Sul, juntamente com pilhas de conchas de moluscos da Idade da Pedra e com os primeiros traços de pigmentos de ocre que seriam usados em pinturas e decorações simbólicas no corpo. Ossos antigos ou arpões de conchas e anzóis de peixes também foram encontrados, assim como as primeiras joias conhecidas na forma de pingentes de conchas, de mais de 110.000 anos atrás. Ao utilizar esses recursos, as pessoas gradualmente adquiriam muitos conhecimentos práticos sobre o mar.

O conhecimento do oceano e de seus organismos se expandiu quando as pessoas conquistaram habilidades náuticas e de navegação. Antigos moradores de ilhas do Pacífico tinham conhecimentos detalhados sobre a vida marinha, os quais seus descendentes ainda possuem (Fig. 1.1). Eles eram habilidosos marinheiros, utilizando pistas como vento, ondas e correntes para navegar por longas distâncias. Os fenícios foram os primeiros a realizar navegações no ocidente. Por volta de 2000 a.C., eles estavam navegando ao redor do Mar Mediterrâneo, Mar Vermelho, leste do Oceano Atlântico, Mar Negro e Oceano Índico.

Os gregos antigos tinham considerável conhecimento sobre os organismos que vivem perto da costa na região do Mar Mediterrâneo (Fig. 1.2). O filósofo grego Aristóteles é considerado por muitos o primeiro biólogo marinho. Ele descreveu muitas formas de vida marinha e descobriu, entre outras coisas, que as brânquias são o aparato respiratório dos peixes.

Durante o período de séculos conhecido como Idade das Trevas, as investigações científicas, incluindo estudos sobre a vida marinha, cessaram por completo na maior parte da Europa. Muito do conhecimento dos gregos antigos foi perdido ou distorcido. Entretanto, nem todas as explorações dos oceanos foram interrompidas. Durante os séculos nono e décimo, os *Vikings* continuaram a explorar o Atlântico Norte. Em 995 d.C., um grupo *viking* liderado por Leif Eriksson descobriu *Vinland*, que hoje chamamos de América do Norte. Viajantes árabes também eram ativos durante a Idade Média, viajando para o leste da África, sudeste da Ásia e Índia. No leste da Ásia e no Pacífico, as pessoas continuavam a explorar e aprender sobre o mar.



FIGURA 1.1 Micronésios como estes moradores da Ilha de Satawal do Atol de Yap, nos Estados Federados da Micronésia, navegaram o Pacífico por milênios em canoas como esta.

FIGURA 1.2 Este prato grego de aproximadamente 330 a.C. reflete o considerável conhecimento da vida marinha. O peixe da direita é uma raia elétrica (*Torpedo*), que os gregos antigos utilizaram para fazer pela primeira vez a terapia por estímulos elétricos.



Durante a Renascença, parcialmente encorajados pelo redescobrimto de conhecimentos antigos preservados pelos árabes, os europeus novamente começaram a investigar o mundo ao seu redor, e muitos fizeram viagens de exploração. Cristóvão Colombo redescobriu o “Novo Mundo” em 1492 – a notícia das descobertas dos vikings nunca alcançou o restante da Europa. Em 1519, Fernão de Magalhães embarcou na primeira expedição para navegar ao redor do globo. Muitas outras viagens épicas contribuíram para nosso conhecimento sobre os oceanos. Mapas razoavelmente detalhados, em especial de lugares fora da Europa, começaram a surgir nessa época.

Logo depois, os exploradores tornaram-se curiosos sobre o que vivia nos oceanos nos quais eles navegavam. Um capitão inglês, James Cook, foi um dos primeiros a fazer observações científicas ao longo do caminho e a incluir permanentemente um naturalista em sua tripulação. Em uma série de três grandes viagens, iniciando em 1768, ele explorou todos os oceanos. Ele foi o primeiro europeu a ver os campos de gelo na Antártica e a aportar no Havaí, na Nova Zelândia, no Taiti e em muitas outras ilhas no Pacífico. Cook foi pioneiro ao usar um cronômetro marítimo, um preciso relógio que possibilitava a determinação de sua longitude com precisão e, portanto, a preparação de mapas confiáveis. Do Ártico à Antártica, do Alasca à Austrália, Cook aumentou e remodelou a concepção europeia do mundo. Ele trouxe espécimes de plantas e animais e histórias de estranhas novas terras. Embora Cook geralmente fosse atencioso e se interessasse pelas culturas indígenas, ele foi morto em 1779, em uma luta com havaianos nativos na Baía de Kealakekua, no Havaí.

Por volta do século XIX, tornou-se comum os navios terem um naturalista a bordo para estudar os organismos encontrados. Talvez o mais famoso destes naturalistas embarcados seja Charles Darwin, outro britânico. Iniciando em 1831, Darwin navegou ao redor do mundo a bordo do HMS *Beagle* por cinco anos, extremamente enjoado na maior parte do tempo. A principal missão do *Beagle* era mapear as linhas da costa, mas Darwin fez observações detalhadas de todos os aspectos do mundo natural. Isso desencadeou uma sequência de pensamentos que, anos mais tarde, o levariam a propor a teoria da evolução pela seleção natural (ver “Seleção natural e adaptação”, p. 79). Embora mais conhecido pela teoria da evolução, Darwin fez muitas outras contribuições à biologia marinha. Ele explicou, por exemplo, a formação dos anéis característicos de um recife de coral, chamados de atol (ver “Como os atóis são formados”, p. 320). Ele utilizou redes para capturar os minúsculos organismos flutuantes conhecidos como plâncton, o que os biólogos marinhos continuam a fazer até hoje (Fig. 1.3). Um dos muitos interesses de Darwin também incluía as cracas. Especialistas ainda referem-se a sua tese sobre elas.

Nos Estados Unidos, a primeira importante viagem de exploração foi provavelmente a *United States Exploring Expedition*, de 1838-1842, frequentemente chamada de “Expedição de Wilkes” devido a seu líder, o tenente Charles Wilkes, da Marinha Norte-americana. A expedição incluiu apenas onze naturalistas e artistas, carinhosamente chamados de “catadores de conchas” pelo restante da tripulação, e alguns historiadores concluíram que a expedição tinha mais o objetivo de projetar a autoridade da América do que de realizar descobertas científicas. Wilkes era, como todos diziam, um homem vazio e cruel que se autopromoveu a Capitão assim que atracou no porto, e em seu retorno foi julgado por açoitá-lo em excesso sua tripulação. Apenas dois dos seis navios da expedição voltaram para casa. Mesmo assim, os arquivos da Expedição de Wilkes são impressionantes. A expedição mapeou 2.400 km da costa da Antártica, confirmando ser ela um continente, além da costa noroeste do Pacífico na América do Norte. Ela explorou aproximadamente 280 ilhas no Pacífico Sul, coletando informações sobre pessoas e culturas, bem como sobre a flora e a fauna. Os 10.000 espécimes biológicos incluíam aproximadamente 2.000 espécies que até então eram desconhecidas (Fig. 1.4). A expedição, a primeira pesquisa internacional financiada pelo governo dos Estados Unidos, também proporcionou a instituição de um fundo governamental de investimentos para pesquisas científicas.

A expedição Challenger Por volta da metade do século XIX, alguns sortudos cientistas foram capazes de empreender uma viagem especificamente para estudar os oceanos, em vez de embarcar em navios fazendo outros trabalhos. Um deles foi Edward Forbes, que nas décadas de 1840 e 1850 realizou extensivas dragagens do fundo marinho, principalmente ao redor da sua terra natal, a Grã-Bretanha, mas também no Mar Egeu e em outros lugares. Forbes morreu prematuramente em 1854, aos 39 anos, mas foi o mais influente biólogo marinho de seu tempo. Ele descobriu muitos organismos até então desconhecidos e reconheceu que a vida no fundo do mar varia nas diferentes profundidades (ver “Biodiversidade no mar profundo”, p. 378). Talvez sua mais importante contribuição, entretanto, tenha sido inspirar um novo interesse sobre a vida marinha.

Os contemporâneos e os sucessores de Forbes, principalmente da Grã-Bretanha, Alemanha, Escandinávia e França, continuaram seus estudos sobre a vida no fundo do mar. Seus navios eram precariamente equipados e as viagens eram curtas, mas seus estudos produziram muitos resultados interessantes. Eles foram tão bem-sucedidos, na verdade, que cientistas britânicos convenceram seu governo a financiar a primeira grande expedição oceanográfica, sob a liderança científica de Charles Wyville Thompson. A marinha britânica forneceu um pequeno navio de guerra a ser adequado para a proposta. O navio foi chamado de HMS *Challenger*.

O *Challenger* submeteu-se a extensas renovações durante a preparação para a viagem. Laboratórios e alojamentos para a tripulação de

FIGURA 1.3 Estes cientistas marinhos estão carregando uma rede conhecida como “rede bongo”, utilizada para capturar o minúsculo plâncton marinho. Um deles está sinalizando as instruções para o operador do guincho.





FIGURA 1.4 Um golfinho-de-peale (*Lagenorhynchus australis*), batizado após a expedição do naturalista Wilkes, que primeiro descreveu a espécie, é um dos 2.000 animais marinhos e terrestres descobertos por esta expedição.

cientistas foram construídos, e equipamentos para dragagem e coleta de amostras de água em águas profundas foram instalados. Dos antigos aos modernos modelos, os equipamentos científicos a bordo eram os melhores da época. Finalmente, em dezembro de 1872, o *Challenger* iniciou sua jornada.

Durante os seguintes três anos e meio, o *Challenger* e sua tripulação navegaram ao redor do mundo, reunindo informações e coletando amostras (Fig. 1.5). O volume completo dos dados era enorme – fo-

ram 19 anos para que os resultados fossem publicados, os quais preencheram 50 grossos volumes. O *Challenger* retornou com mais informações sobre os oceanos do que toda informação que já tinha sido registrada em toda história da humanidade.

Não foi somente a duração da viagem ou a quantidade de informações coletadas que fizeram a expedição *Challenger* diferenciarse de esforços anteriores. A expedição estabeleceu novos modelos para se estudar os oceanos. Medidas foram tomadas sistemática e cuidadosamente, registros foram guardados meticulosamente. A tripulação trabalhou com grande eficiência e dedicação na tarefa. Pela primeira vez, os cientistas começaram a traçar uma imagem coerente dos oceanos. Eles também aprenderam mais sobre a enorme variedade de vida marinha, já que o *Challenger* retornou com milhares de espécies até então desconhecidas. Assim, a expedição *Challenger* representou a base das ciências marinhas modernas.

Outras expedições logo continuaram o trabalho iniciado pelo *Challenger*, e muitos importantes cruzeiros oceanográficos são realizados até os dias de hoje. De qualquer modo,

a viagem do *Challenger* permanece como uma das mais importantes na história da oceanografia.

O crescimento dos laboratórios marinhos Mesmo antes de o *Challenger* terminar sua jornada, os biólogos estavam animados com os organismos trazidos do oceano pela expedição. Infelizmente, os navios tinham alojamentos para apenas poucos cientistas. Muitos biólogos somente iriam ver os espécimes preservados mortos que os navios tra-

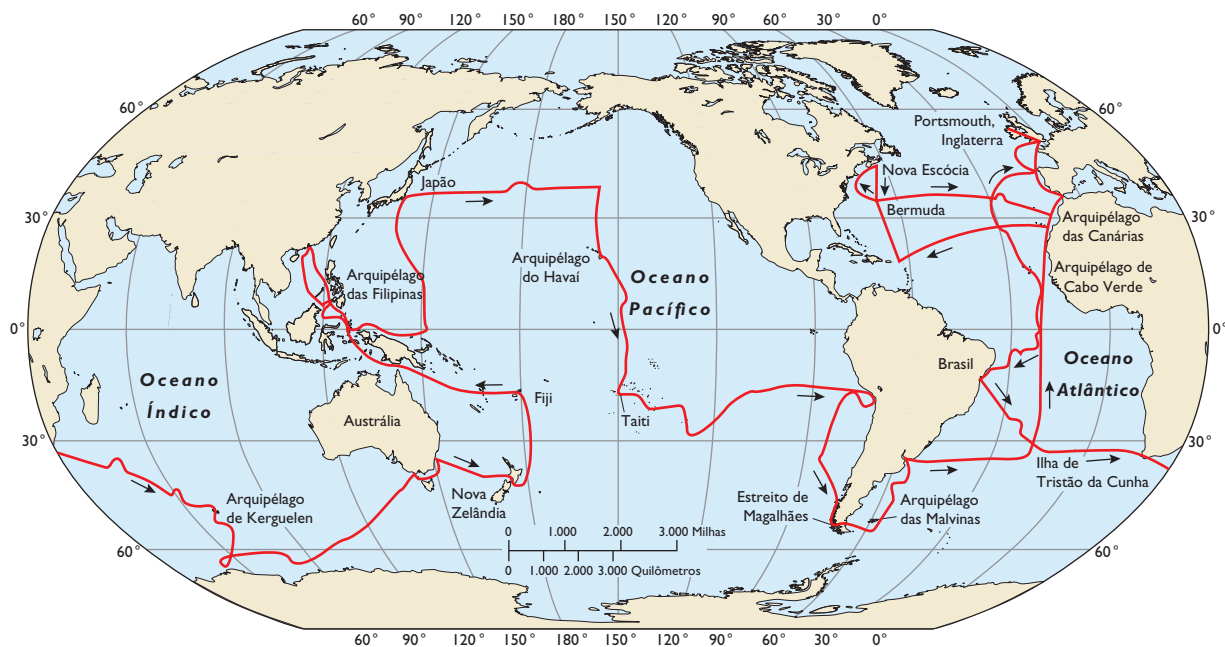


FIGURA 1.5 A rota da expedição Challenger, que de 1872 a 1876 realizou a primeira investigação sistemática dos oceanos ao redor do globo.

ziam para os portos. Esses espécimes revelaram muito sobre a vida marinha ao redor do mundo, mas os biólogos queriam saber como os organismos realmente viviam: como funcionavam e o que faziam. Espécimes vivos eram essenciais para isso, mas os navios geralmente permaneciam em um local por pouco tempo, impossibilitando observações experimentais a longo prazo.

Como uma alternativa aos navios, biólogos começaram a trabalhar no litoral. Entre os primeiros estavam dois franceses, Henri Milne Edwards e Victor Andouin, que por volta de 1826 começaram a visitar regularmente o litoral para estudar a vida marinha. Outros biólogos logo seguiriam seu exemplo. Estas excursões ofereciam a possibilidade de se estudar organismos vivos, mas não havia instalações permanentes, e apenas um pequeno número de equipamentos podia ser transportado. Finalmente, os biólogos montaram laboratórios permanentes onde podiam cultivar organismos vivos e trabalhar por períodos maiores. O primeiro destes laboratórios foi o *Stazione Zoologica*, fundado em Nápoles, Itália, em 1872 – o mesmo ano do início da expedição *Challenger*. O laboratório da Sociedade de Biologia Marinha do Reino Unido foi fundado em Plymouth, Inglaterra, em 1879.

O primeiro importante laboratório marinho da América do Norte foi o Laboratório de Biologia Marinha, em Woods Hole, Massachusetts. É difícil definir a data exata na qual este laboratório foi fundado. O primeiro laboratório marinho em Woods Hole foi iniciado pela United States Fish Community, em 1871, mas não prosperou. Vários outros laboratórios apareceram por curtos períodos de tempo na área ao redor de Woods Hole. O biólogo de Harvard, Louis Agassiz, que também estudou muitas espécies da Expedição de Wilkes, montou um laboratório perto de Cape Ann, em 1873. Em 1888, este laboratório mudou-se para Woods Hole e abriu suas portas oficialmente como Laboratório de Biologia Marinha (Fig. 1.6). Ele ainda é um dos mais prestigiados laboratórios de biologia marinha do mundo.

Depois desse início, outros laboratórios marinhos começaram a se estabelecer. Entre os primeiros nos Estados Unidos estão o Hopkins Marine Station, em Pacific Grove, Califórnia; o Instituto de Oceanografia *Scripps*, em La Jolla, Califórnia; e o Friday Harbor Marine Laboratory, em Friday Harbor, Washington. Nos anos seguintes, mais laboratórios apareceram ao redor do mundo, e outros continuam sendo estabelecidos até hoje.

O início da II Guerra Mundial teve importantes consequências no desenvolvimento da biologia marinha. Uma nova tecnologia, o **sonar**, ou *sound navigation ranging*, em inglês, foi desenvolvida em resposta ao crescimento da importância dos submarinos nos conflitos de guerra. O sonar é baseado na detecção de ecos submersos – uma forma de se escutar o mar (Fig. 1.7). O oceano, que por muito tempo foi considerado uma área silenciosa, foi de repente descoberto cheio de sons, muitos feitos pelos animais. Durante os tempos



FIGURA 1.6 Cientistas e a tripulação no Laboratório de Biologia Marinha do Woods Hole, Massachusetts, por volta de 1888.

de guerra, aprender sobre esses animais não era apenas uma atividade casual de poucos biólogos marinhos interessados, mas uma questão de segurança nacional. Como resultado desta necessidade, muitos laboratórios marinhos, como o *Scripps* e o Instituto de Oceanografia de Woods Hole (estabelecido em 1929), tiveram um rápido crescimento. Quando a guerra acabou, estes laboratórios não só permaneceram como centros vitais de pesquisa, como continuaram a crescer.

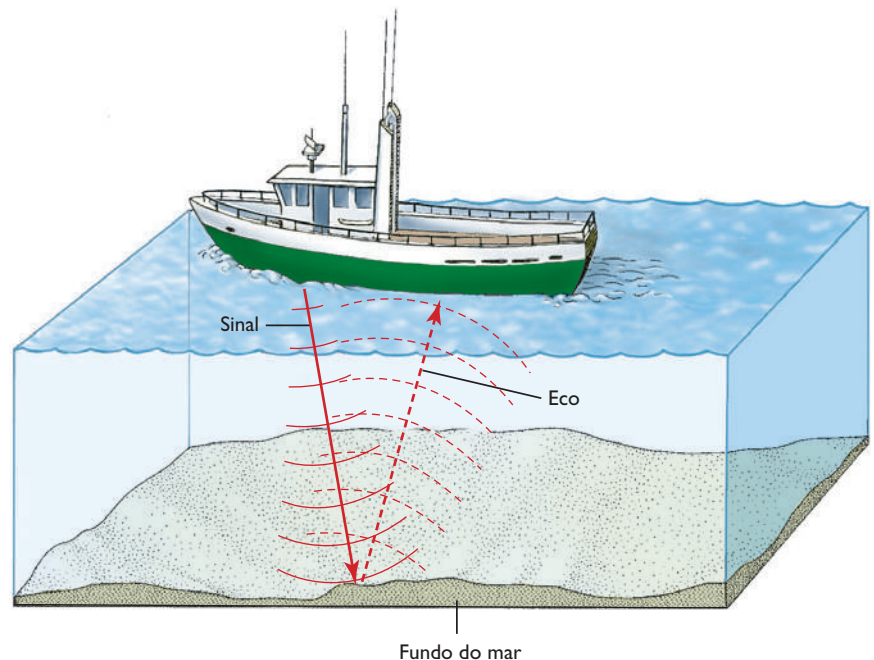


FIGURA 1.7 Um navio usa um sonar que “pinga”, ou emite, um forte pulso de som e mede o tempo que seu eco leva para retornar do fundo do mar. A profundidade da água pode ser determinada pelo tempo de retorno. Este, o tipo mais comum de sonar, é chamado de “sonar ativo”, porque os sons utilizados são gerados ativamente pelo equipamento.

dos Unidos foi o *Long-term Ecosystem Observatory* (LEO), instalado na costa de Nova Jersey, em 1996. O LEO, hoje conhecido como *Coastal Ocean Observation Laboratory* (COOL), cresceu para incluir planadores subaquáticos, radares baseados na costa, medidas de navios e instrumentos fundeados e foi sendo integrado a sistemas similares em uma única rede cobrindo toda a costa nordeste dos Estados Unidos. No Pacífico, os primeiros cabos para o *Victoria Experimental Network Under the Sea* (VENUS) foram colocados em 2006 em Saanich Inlet, na costa da Colúmbia Britânica, Canadá, e a instalação do *Monterey Accelerated Research System* (MARS) na costa da Califórnia começou em 2007. VENUS e MARS estão testando as condições de campo para uma rede ainda maior, a *North East Pacific Time-integrated Undersea Network Experiments* (NEPTUNE) *Observatory*, que se estenderá da Colúmbia Britânica ao Oregon e conectará toda a placa tectônica Juan de Fuca. Os cientistas estão atualmente usando AUVs e outros equipamentos para determinar os melhores pontos no fundo do mar onde serão colocados os instrumentos do NEPTUNE. O NEPTUNE, por sua vez, é parte de um programa ainda maior, o *Ocean Observatory Initiatives*, iniciado em 2007. Redes similares estão sendo desenvolvidas ao redor do mundo, incluindo Europa, Japão, Golfo do México e Oceano Ártico. Impressionantes equipamentos novos estão a caminho, como sensores que irão não somente medir a abundância de plâncton, mas também iden-

tificar seu DNA, e docas nas quais vários AUVs podem recarregar suas baterias e baixar suas informações. Os cientistas estão planejando uma frota de 100 AUVs que irão planar pela água, pesquisando mais sobre o fundo marinho em poucos meses do que os cientistas poderiam esperar por toda sua vida usando os métodos convencionais. Eles estão trabalhando ainda em AUVs autossuficientes que utilizam o plâncton como combustível.

Nem todo sistema de observação dos oceanos é inanimado – animais marinhos estão sendo recrutados para ajudar. Focas, leões-marinhos, tubarões e outros grandes animais marinhos se movem sob a água mais rapidamente do que os humanos podem sonhar em alcançar, e é improvável que se comportem naturalmente na presença de humanos. Para ter uma ideia inicial do que estes animais fazem abaixo da superfície, os cientistas desenvolveram uma *crittercam*, uma compacta câmera de vídeo subaquática que é acoplada aos próprios animais. A *crittercam* foi desenvolvida para uma ampla gama de animais, incluindo tartarugas marinhas, tubarões, baleias, focas, leões-marinhos e pinguins. Ela proporcionou as primeiras imagens subaquáticas da alimentação de baleias jubarte utilizando uma cortina de bolhas para atrair arenques, o comportamento social do mergulho de pinguins-de-adélia (*Pygoscelis adeliae*) e pinguins-de-barbicha (*P. antarctica*), e o movimento de tartarugas marinhas ameaçadas de extinção no México. Uma *crittercam* acoplada a uma cachalote

(*Physeter catodon*) recentemente propiciou novas imagens da vida no oceano profundo.

Os cientistas usam animais para estudar os oceanos assim como estudam os próprios animais. Um “*Autonomous Underwater Sample*” é um outro nome para um animal como um elefante-marinho com um transmissor colado em seu dorso. Originalmente, os transmissores – que medem temperatura, profundidade e salinidade –, foram usados para registrar o comportamento do mergulho desses animais, mas os oceanógrafos entenderam que os sensores também fornecem valiosos dados sobre a circulação dos oceanos, e que os animais podem ir a lugares que os cientistas não podem acessar de outra maneira.

Os sistemas de observação dos oceanos não são apenas para fins científicos, eles irão trazer benefícios concretos para a sociedade. Em 2006, por exemplo, a rede COOL ajudou a fazer previsões da trajetória da Tempestade Tropical Ernesto, permitindo repostas emergenciais das autoridades e da população. Redes de observação estão fornecendo avisos prévios de tsunamis, salvando centenas de milhares de vidas (ver “Ondas que matam”, p. 58). Os sistemas irão ajudar em previsões de terremotos e tempestades, acompanhar os efeitos das mudanças climáticas, monitorar as populações de peixes e tornar a navegação mais eficiente. Os observatórios dos oceanos irão um dia salvar vidas e dinheiro e ajudar a humanidade a fazer uso mais consciente dos oceanos – e certamente de todo planeta oceano.

Os anos seguintes à II Guerra Mundial viram o refinamento dos primeiros e práticos *scuba*, de *self-contained underwater breathing apparatus*. A tecnologia básica foi desenvolvida na França, pelo engenheiro Émile Gagnan, a fim de permitir que automóveis rodassem com gás natural comprimido. Depois da guerra, Gagnan e seu colega francês Jacques Cousteau modificaram o equipamento, usando-o para respirar ar comprimido embaixo d’água. Cousteau dedicaria sua vida ao mergulho autônomo e aos oceanos.

Usando *scuba*, biólogos marinhos poderiam, pela primeira vez, descer abaixo da superfície para observar os organismos marinhos em seu ambiente natural (Fig. 1.8). Eles agora podiam trabalhar confortavelmente dentro do oceano, coletando espécimes e desenvolvendo experimentos, embora ainda estivessem limitados a águas rasas, geralmente com profundidade inferior a 50 metros.

Biologia marinha hoje

Navios oceanográficos e laboratórios no continente são atualmente tão importantes para a biologia marinha como nunca antes. Hoje, muitas universidades e outros institutos operam navios de pesquisa (Fig. 1.9). Navios modernos são equipados com os últimos equipamentos para navegação, amostragem e estudos das criaturas que são coletadas. Muitos, como o *Challenger*, foram originalmente construídos para ou-

tros fins, mas um crescente número de navios começa a ser construído especificamente para pesquisas científicas no mar.

Além dos navios que sempre imaginamos, algumas extraordinárias embarcações são usadas para se estudar o mundo marinho. Submarinos de alta tecnologia podem descer às partes mais profundas dos oceanos, relatando um mundo outrora inacessível (Fig. 1.10). Uma variedade de navios estranhos ocupa os oceanos, fornecendo instalações específicas para os cientistas marinhos (Fig. 1.11).

Os laboratórios marinhos também percorreram um longo caminho desde seu início. Hoje, estes laboratórios pontilham o litoral ao redor do mundo e são utilizados pela comunidade científica internacional. Muitos são equipados com as mais modernas instalações disponíveis. Outras são simples bases de pesquisa que fornecem apoio aos cientistas em áreas remotas. Existem ainda *hábitats* submersos onde os cientistas podem viver por semanas, literalmente imersos em seu trabalho (Fig. 1.12). Os laboratórios marinhos são importantes centros não somente para pesquisa, mas também para educação. Muitos oferecem cursos práticos de graduação nos quais os estudantes podem estudar biologia marinha em primeira mão, e muitos oferecem instalações onde os estudantes podem iniciar suas carreiras nas ciências do mar.

Novas tecnologias oferecem excelentes oportunidades para se estudar os oceanos. Não é preciso dizer que os computadores e apare-

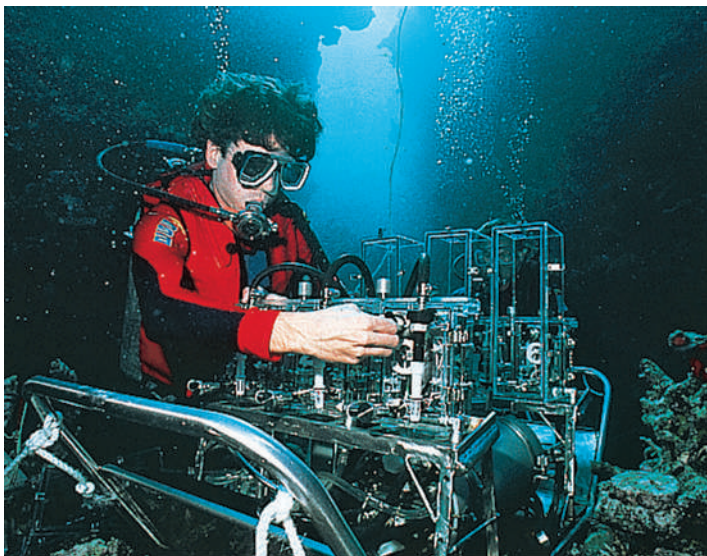


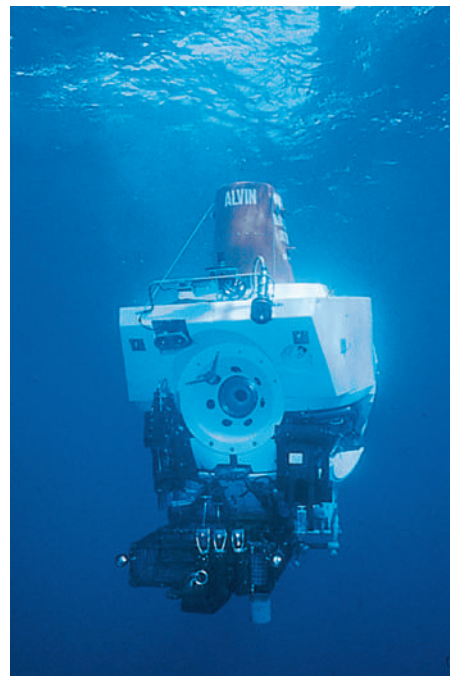
FIGURA 1.8 O mergulho autônomo é uma importante ferramenta no trabalho de muitos biólogos marinhos. Este cientista está usando um equipamento chamado de respirômetro para medir a produção e o consumo de oxigênio por organismos em um recife de coral.

lhos eletrônicos tiveram um profundo impacto. Os satélites desceram até junto dos oceanos e, devido a estarem tão longe, podem visualizar enormes áreas dos oceanos de uma só vez capturando grandes imagens (Fig. 1.13). Muito do nosso conhecimento sobre feições em larga escala como as correntes oceânicas foi fornecido pela tecnologia do **sensoriamento remoto**. Entretanto, os satélites veem apenas a superfície dos oceanos, e muitas das atividades acontecem em grandes profundidades. Os submarinos são uma opção para se penetrar nas profundidades, mas os cientistas estão fazendo uso gradativamente maior de robôs subaquáticos, incluindo veículos operados remotamente (ROVs), que são controlados da superfície, e veículos subaquáticos autônomos (AUVs; veja Fig. 16.23), que operam independentemente de um controle humano direto. Cientistas do mar também estão desenvolvendo uma

FIGURA 1.9 O Navio de Pesquisa *Thomas G. Thompson*, operado pela Universidade de Washington, é o primeiro de uma nova geração de navios de pesquisa. Estes navios oferecem mais espaço de trabalho e podem viajar para os locais de pesquisa mais rapidamente, permanecendo lá por mais tempo que os navios de pesquisa anteriores.



FIGURA 1.10 *Alvin*, um submarino de oceano profundo, operado pelo Instituto de Oceanografia Woods Hole, é uma das mais famosas embarcações na história das ciências marinhas.



gama de equipamentos que se fixam ao fundo, flutuam em um local, derivam com as correntes, ou são acoplados aos animais (ver “Observando o oceano”, p. 6). Tecnologias espaciais também têm um papel importante; muitos equipamentos oceanográficos retransmitem seus dados por satélites.

Atualmente, os biólogos marinhos usam todas as ferramentas possíveis em seus estudos do mar, até mesmo algumas decididamente de baixa tecnologia (Fig. 1.14). Informações sobre os oceanos surgem em ritmo crescente. Entretanto, há muito ainda para ser aprendido, e os oceanos permanecem como uma área de grandes mistérios e emoções.

O MÉTODO CIENTÍFICO

A biologia marinha é, com certeza, uma aventura, mas é também uma ciência. Cientistas, incluindo biólogos marinhos, dividem um determinado modo de ver o mundo. Estudantes de biologia marinha precisam estar familiarizados com este contexto e com a maneira com que ele afeta nosso entendimento do meio ambiente, incluindo o oceano.

Nós vivemos na era da ciência. Anúncios constantemente gabam-se dos avanços “científicos” de seus produtos. Jornais regularmente reportam novas descobertas, e muitas emissoras de televisão têm repórteres especiais para ciência. Governos e companhias privadas gastam bilhões de dólares todo ano em pesquisas científicas e educação. Por que a ciência veio a ocupar um espaço tão privilegiado na nossa sociedade? A resposta, bastante simples, é porque ela funciona! A ciência está entre os maiores sucessos dos esforços dos seres humanos. A sociedade moderna não poderia existir sem o conhecimento e a tecnologia produzidos pela ciência. A vida de cada um de nós vem sendo enriquecida por avanços científicos em medicina, agricultura, comunicação, transporte, arte e outras incontáveis áreas.

Muito do sucesso da ciência resulta do modo como ela é feita. Os cientistas não veem o mundo como um lugar onde as



(a)



(b)

FIGURA 1.11 O Navio de Pesquisa *FLIP*, pequeno para uma plataforma instrumental flutuante, operado pelo Instituto de Oceanografia *Scripps*, representa uma plataforma estável para pesquisas no mar. (a) A maior parte do casco consiste em um tubo oco que flutua enquanto o navio é puxado para sua posição. Quando o casco é alagado e afunda, o *FLIP* oscila para a posição vertical (b), na qual não é afetado pela subida e descida das ondas.

coisas apenas acontecem, sem nenhuma razão. Ao contrário, eles insistem que o universo pode ser explicado por leis da física. Os cientistas não procuram descobrir estas leis de maneira difícil; eles o fazem de acordo com o tempo de cada procedimento. O conjunto de procedimentos por meio do qual o cientista aprende sobre o mundo é conhecido como o **método científico**.

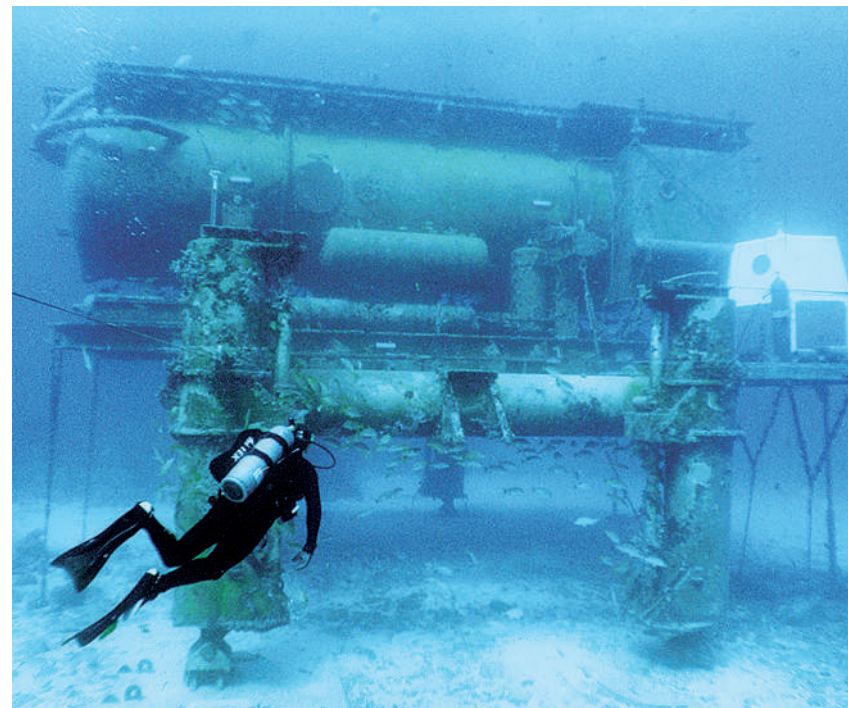
Os cientistas podem discordar a respeito de pontos específicos do método científico. Como resultado, eles podem aplicar o método de maneiras ligeiramente diferentes. Apesar destas pequenas diferenças, a maioria dos cientistas concorda com os princípios básicos do método científico, que deve ser visto como um sistema flexível que orienta estudos sobre a natureza e não um rígido conjunto de regras.

Observação: a moeda da ciência

O objetivo da ciência é descobrir fatos sobre o ambiente e os princípios que explicam estes fatos. No coração do método científico está a convicção de que podemos aprender sobre o mundo apenas por meio do nosso sentido ou com ferramentas que aumentem nossos sentidos. Os microscópios, por exemplo, estendem nossa visão nos ajudando a ver o que é muito pequeno para ser visto. Assim, o conhecimento científico é derivado fundamentalmente da observação da natureza. Conclusões científicas são baseadas em observações, e não em ideias preexistentes de como o mundo deveria ser.

Uma das vantagens em confiar nas observações é que estas estão acessíveis aos outros. Os pensamentos, os sentimentos e as crenças de uma pessoa são internos. Ninguém realmente sabe o que se passa na mente do outro. Por outro lado, o mundo estudado pelos cientistas é externo para cada pessoa. Pessoas diferentes podem olhar para o mesmo objeto. A percepção sensorial pode ser imperfeita, e os cientistas, como qualquer outra pessoa, não são sempre imparciais, mas o objeto está ali para que todos o vejam. Assim, existe um modo para checar e verificar as observações de qualquer pessoa.

FIGURA 1.12 Um mergulhador nada fora do *Aquarius*, o único laboratório submerso de ciências marinhas no mundo. O *Aquarius* está localizado no Santuário Marinho de Flórida Keys, a uma profundidade de aproximadamente 20 m. Os alojamentos estão no largo cilindro na parte superior à esquerda, que, felizmente para a tripulação, é maior do que parece aqui, pois está bem distante do mergulhador.



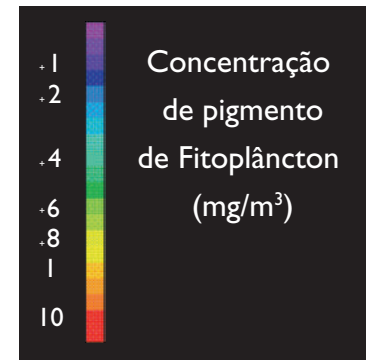
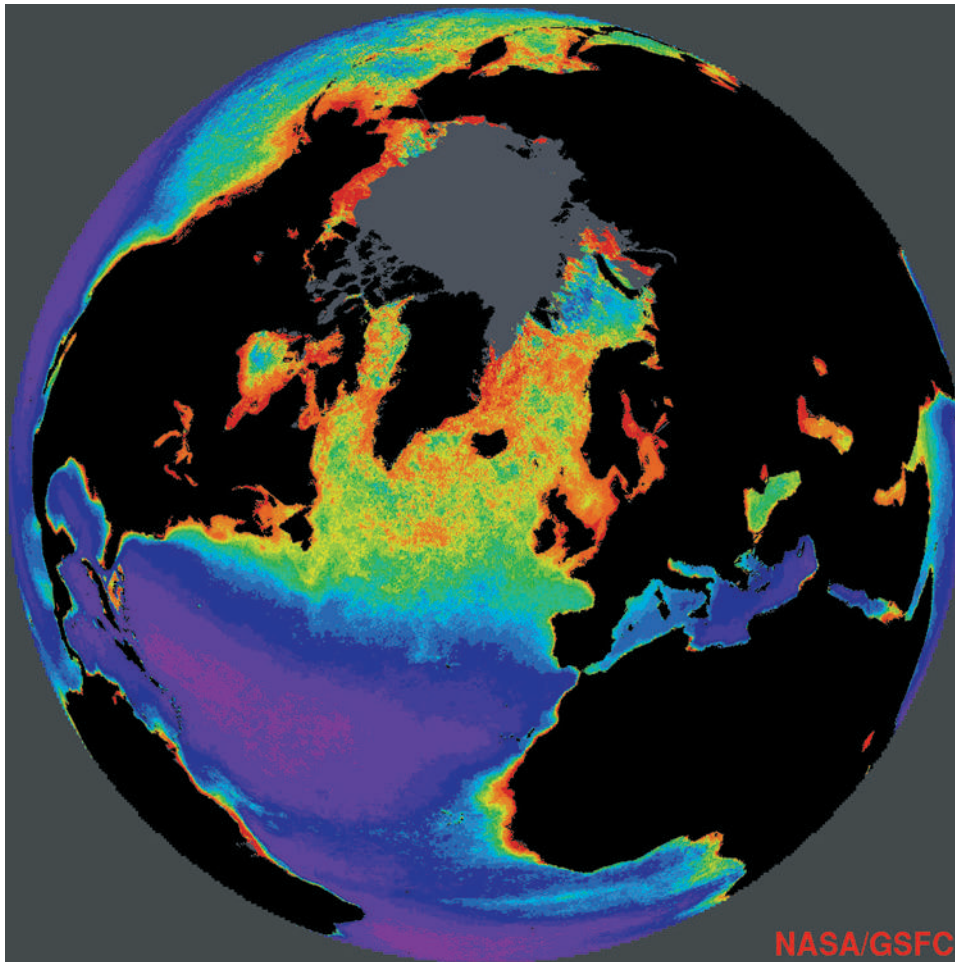


FIGURA I.13 Uma imagem de satélite mostrando a abundância de organismos fotossintetizantes no oceano, como indicado pela quantidade de pigmento na água. Esta foto foi tirada pelo *Coastal Zone Color Scanner (CZCS)*, que foi montado no satélite *Nimbus-7*. A imagem é na verdade uma composição de informações obtidas durante quase 18 anos. Avanços na tecnologia da computação e espacial fizeram com que esta imagem fosse possível.

A observação é crucial para todas as fases do método científico. Para começar, ela nos permite descrever o mundo natural. A única maneira de aprender sobre quais organismos vivem em uma área específica do oceano, quantos destes organismos estão lá, o quão rapidamente e quanto eles crescem em tamanho, quando e como se reproduzem, o que comem, como se comportam, entre outros aspectos, é observando esta área do oceano e os organismos que ali vivem. As explorações e descrições têm uma importância vital na biologia marinha, constantemente revelando novas informações. Espécies até então desconhecidas, por exemplo, são encontradas quase sempre que o fundo do oceano profundo é amostrado (ver “Biodiversidade no mar profundo”, p. 378). Novas tecnologias, como câmeras subaquáticas que revelam o comportamento das baleias (ver “Observando o oceano”, p. 6), ou técnicas da genética que revelaram um vasto número de micróbios marinhos até então desconhecidos (ver “Pequenas células, grandes surpresas”, p. 92),

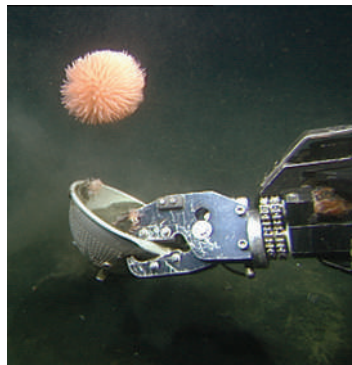


FIGURA I.14 Alta tecnologia encontra a baixa tecnologia: O braço robótico do ROV *Ventana* captura uma anêmona pom-pom (*Liponema brevicornis*) com um escorredor de cozinha comum.
© MBARI 1998

frequentemente aumentam nossa habilidade em observar o mar e realizar novas descobertas. Cada descoberta leva a novas observações. A descoberta de ecossistemas totalmente desconhecidos e inesperados em fontes termais no oceano profundo, por exemplo, levou os biólogos a procurar – e encontrar – ecossistemas similares em outras partes do oceano (ver “Fontes hidrotermais, fontes frias e carcaças”, p. 379).

Ao observar mais e mais sobre o mundo, cientistas inevitavelmente procuram explicar suas observações – *por que esta espécie de alga marinha ocorre apenas em uma certa faixa de profundidade?* – e fazer previsões – *será boa a pesca no ano que vem?* O desejo de explicar e prever, por sua vez, leva a mais observações.

Duas formas de pensar

Para descrever, explicar e fazer previsões sobre o mundo natural, os cientistas utilizam duas manei-

ras básicas de pensamento. Na **indução**, usa-se diferentes observações para chegar a princípios gerais. O raciocínio que parte dos princípios gerais para conclusões específicas é chamado de **dedução**. Uma vez que existem fortes argumentos que aceitam as duas formas de pensar, os cientistas hoje, em geral, concordam que ambas, indução e dedução, são indispensáveis.

Indução Ao usar a indução, um cientista inicia uma série de observações individuais. Idealmente, ele não tem objetivo ou concepções prévias sobre os resultados, sendo completamente objetivo. O cientista então usa suas observações para formular uma conclusão geral. Por exemplo, suponha que um biólogo marinho examine um agulhão-bandeira (Fig. 1.15), um tubarão (Fig. 1.16) e um atum (Fig. 1.17) e veja que todos têm brânquias. Em razão de agulhões-bandeira, tubarões e atuns serem peixes, ele pode concluir que *todos os peixes possuem brânquias*. Este é um exemplo de indução.

No processo de indução, conclusões gerais são feitas a partir de observações específicas.

O cientista deve ter cuidado ao usar a indução. O passo entre uma observação isolada e uma conclusão geral depende muito do número e

FIGURA 1.15 O agulhão-bandeira indo-pacífico (*Isiophorus playpterus*). A longa projeção no focinho é chamada de bico.



FIGURA 1.16 Um tubarão-tigre (*Galeocerdo cuvier*). As cinco brânquias verticais podem ser vistas logo a frente das nadadeiras peitorais.



da qualidade das observações e do reconhecimento de suas limitações. Se o biólogo depois de examinar o agulhão-bandeira, que tem um bico, usar a indução pode concluir erroneamente que *todos os peixes têm bico*. Mesmo após examinar os três peixes, ele poderia ter concluído que *todos os animais marinhos têm brânquias* em vez de apenas *todos os peixes terem brânquias*. Aqui é onde a dedução entra em cena.

Dedução Na dedução, os cientistas começam com afirmações gerais sobre a natureza e preveem que consequências específicas aconteceriam se estas afirmações fossem verdadeiras. A conclusão geral pode ser baseada em palpites ou intuição, mas é frequentemente baseada em observações. Vamos supor que nosso biólogo marinho use a indução para concluir que *todos os animais marinhos têm brânquias*. Ele pode então ponderar que se todos os animais marinhos têm brânquias e as baleias são animais marinhos, então as baleias devem ter brânquias. O biólogo usou uma conclusão geral sobre todos os animais marinhos para concluir sobre um animal marinho em particular.

No processo da dedução, previsões específicas são feitas por meio da aplicação de princípios gerais.

Testando ideias

Os cientistas nunca estão satisfeitos em simplesmente elaborar afirmações sobre o mundo e deixá-las de lado. Em vez disso, eles são obcecados por testar estas afirmações para ver se elas são, realmente, verdadeiras. Ambas, indução e dedução, levam os cientistas a elaborar afirmações que *podem* ser verdadeiras. Uma afirmação que pode ser verdadeira é chamada de **hipótese**. Uma característica crucial do método científico é que todas as hipóteses são testadas, em geral, de novo e de novo. Esta insistência em continuar testando é uma das grandes forças do método científico. Hipóteses incorretas são rapidamente eliminadas e descartadas.

Construindo a hipótese Hipóteses científicas devem ser elaboradas de um modo que as permita serem testadas. Isso significa que deve ser possível, pelo menos teoricamente, *provar* que a hipótese é falsa, se for realmente falsa. Às vezes isso é simples. Por exemplo, a hipótese de que as baleias têm brânquias é facilmente testada. Tudo o que o biólogo precisa fazer é examinar uma baleia para ver se ela possui brânquias. Fazendo isso, ele verá que as baleias têm pulmões, não brânquias (Fig. 1.18). Ele terá provado que a hipótese *baleias têm brânquias* é falsa. Ele também terá refutado a hipótese mais geral de que *todos os animais marinhos têm brânquias*. Os passos que nosso biólogo marinho usou para construir e testar estas hipóteses estão ilustrados na Figura 1.19. Esta linha de raciocínio não é inteiramente imaginária. Aristóteles utilizou uma lógica similar no século quarto a.C., observando não somente que as baleias respiravam por pulmões em vez de brânquias, mas também que, diferentemente de outros peixes, elas davam à luz filhotes, em vez de colocarem ovos. Infelizmente, a descoberta de Aristóteles de que as baleias e outros mamíferos marinhos não são peixes foi esquecida pela ciência ocidental por mais de dois milênios.

Hipóteses são frequentemente muito mais complicadas do que a questão de um animal ter brânquias ou não. Organismos marinhos são afetados pelo clima e por padrões atuais, abundân-



DE OLHO NA CIÊNCIA

Investigação criminal: oceano

Quando um corpo chega ao litoral, as questões são óbvias: Quem era esta pessoa? Como morreu, e quando? E, claro, existe algum crime? Se um acidente com um barco ou nadador tiver sido reportado, as respostas podem ser claras, mas às vezes cientistas forenses são chamados para resolver mistérios por meio de evidências no próprio corpo. Quando um corpo é encontrado em terra, os investigadores podem determinar a hora da morte pela temperatura do corpo ou, se faz muito tempo, por insetos, que colonizam cadáveres em uma sequência previsível. No oceano, entretanto, a temperatura do corpo cai muito rápido para que a hora da morte seja estimada, e até recentemente quase nada se sabia sobre como os animais marinhos colonizam um cadáver. Também não existe nenhum conhecimento sobre a ordem dos danos que os animais marinhos e o oceano impõem a um corpo – ferimentos causados por um assassino podem não ser distinguidos dos feitos por animais marinhos ou do esmagamento contra rochas.

Entre no *Victoria Experimental Network Under the Sea* (VENUS), um observatório oceânico que fornece dados oceanográficos e geológicos con-

tínuos em *Saanich Inlet*, na costa da Colúmbia Britânica, Canadá (ver “Observando o oceano”, p. 6). Os equipamentos de VENUS incluem um vídeo e até um sistema de câmeras que ficam a 96 m de profundidade e podem ser controlados do laboratório em terra. Os cientistas forenses estão obtendo vantagens deste sistema para aprender mais sobre o que acontece com os corpos no oceano. Usando um ROV, que normalmente é usado para instalar, recuperar e manter os equipamentos, os investigadores posicionaram em frente às câmeras a carcaça de um porco recentemente abatido. Sensores medem variáveis como temperatura e o nível de oxigênio. Carcaças de porcos são frequentemente usadas em pesquisas forenses em razão de sua pele, órgãos, tecidos e micróbios intestinais serem similares aos dos humanos.

Estes estudos estão começando a revelar muito sobre a decomposição dos corpos nos oceanos. A vida marinha ataca um corpo de uma maneira muito mais imprevisível do que os insetos em terra, mas os pesquisadores estão aprendendo a reconhecer ferimentos característicos feitos por diferentes animais e distingui-los de ferimentos causados deliberadamente. Diferente-

mente dos insetos, os animais marinhos tendem a deixar o rosto e a cabeça intactos. Este tipo de informação pode fortalecer um caso contra um assassino por meio de fortes evidências de homicídio, ou defender alguém falsamente acusado com base em ferimentos que parecem ser violentos, mas que na verdade foram causados pela vida marinha. Estas informações também podem ajudar famílias que perderam seus entes queridos, dando respostas sobre como seus familiares morreram.

Este trabalho já foi útil em algumas investigações reais, mas há mais para ser aprendido, em parte porque a decomposição dentro do mar parece ser muito mais variável do que em terra. Os investigadores continuam a submergir porcos em frente às câmeras, registrando as variações entre um experimento e o próximo. Somadas à rede VENUS, com pacotes de equipamentos instalados em diferentes profundidades, novas oportunidades para se estudar os efeitos de temperatura, oxigênio e pressão foram iniciadas. Em razão destes estudos, a história da próxima infeliz vítima que for encontrada em uma praia será muito mais facilmente desvendada.

cia de alimento e predadores, ciclos naturais de reprodução e morte, atividades humanas e muitos outros fatores. Os cientistas marinhos expressam cada vez mais seu entendimento sobre como esses fatores interagem por meio da construção de modelos, na forma de equações matemáticas e programas de computador, que preveem o que pode acontecer

em um determinado conjunto de circunstâncias. Embora complexos, esses modelos constituem hipóteses que podem ser testadas pela comparação entre suas previsões e o que realmente acontece na natureza.

Às vezes, as pessoas cometem erros ao propor hipóteses que não podem ser repetidamente testadas. Alguém que acredita em sereias pode dizer que *em algum lugar no oceano existem sereias*. O problema dessa hipótese é que nunca poderá ser *provado* que ela é falsa. Um exército de biólogos marinhos pode passar toda a sua carreira procurando por uma sereia sem ter sucesso, mas um crédulo verdadeiro pode sempre dizer, *as sereias estão lá; vocês só não as encontraram*. Não importa o quanto procurem, os biólogos podem nunca provar que não existem sereias. Portanto, a afirmação *existem sereias no oceano* não é uma hipótese científica válida, pois não é **testável**.

Uma hipótese científica é uma afirmação sobre o mundo que pode ser verdadeira e é testável. Uma hipótese testável é aquela que pelo menos teoricamente pode-se provar ser falsa.

A natureza da prova científica Deve ser possível refutar uma hipótese, pelo menos em princípio, antes que seja con-

FIGURA 1.17 O atum-azul-do-norte (*Thunnus thynnus*). Este peixe cresce até quase 700 kg.



siderada científica. Como se pode comprovar que uma hipótese é verdadeira? Esta questão sempre incomodou os cientistas e sua resposta também pode trazer dúvidas. Em geral, nenhuma hipótese científica pode ser comprovada como totalmente verdadeira. Por exemplo, considere a hipótese de que todos os peixes têm brânquias. É fácil verificar que esta hipótese pode ser considerada falsa se um peixe sem brânquias for encontrado. Contudo, mesmo se todo peixe que for examinado tiver brânquias, ainda não há prova de que *todos* os peixes possuem brânquias. Em algum lugar pode existir um peixe escondido sem brânquias. Assim como não pode ser provado que não existem sereias, nunca poderá ser provado que todos os peixes têm brânquias.

Na ciência, então, não existem verdades absolutas. Sabendo disso, cientistas poderiam levantar suas mãos e procurar outras frentes de trabalho. Felizmente, a maioria dos cientistas aprendeu a aceitar e concordar com a falta de certeza absoluta que é inerente à ciência fazendo o melhor com as evidências disponíveis. Qualquer hipótese científica é examinada e testada, cutucada e espremida, para ver se corresponde às observações reais do mundo. Quando uma hipótese resiste a todos esses testes, ela é condicionalmente aceita como uma “verdade”, já que é consistente com as informações disponíveis. Cientistas falam em *aceitar* hipóteses, não *prová-las*. Eles aceitam a hipótese de que todos os peixes têm brânquias porque toda tentativa em rejeitá-la foi falha. Pelo menos até agora, a hipótese é adequada às observações. Um bom cientista, entretanto, nunca pode esquecer que qualquer hipótese, mesmo sua favorita, pode de repente ser atirada para fora da janela por informações novas. Nenhuma hipótese é isenta de ser testada, ou imune de ser descartada se entrar em conflito com as evidências. O que sustenta a ciência é a observação do mundo, *não* as ideias e crenças humanas pré-concebidas.

Nenhuma hipótese pode ser cientificamente *provada* como verdadeira. Ao contrário, hipóteses são aceitas pelo tempo em que são apoiadas pelas evidências disponíveis.

Testando as hipóteses Em razão de geralmente não ser possível provar as hipóteses como verdades, os cientistas, surpreendentemente, passam a maior parte do seu tempo tentando refutar, e não comprovar, hipóteses. Mais confiança pode ser dada a uma hipótese que superou rigorosos testes do que a uma que não foi testada. Assim, o papel dos cientistas é o de serem céticos.

Com frequência, os cientistas estão tentando decidir entre duas ou mais **hipóteses alternativas**. Depois de observar o agulhão-bandeira, o tubarão e o atum, nosso biólogo marinho imaginário elaborou duas hipóteses possíveis: que todos os peixes têm brânquias e que todos os animais marinhos têm brânquias. Ambas as hipóteses eram consistentes com suas observações até aquele momento. Depois de examinar uma baleia, ele rejeitou a segunda hipótese e, fazendo isso, reforçou a primeira. Ele chegou à melhor hipótese pelo processo de eliminação.

Biólogos marinhos reais raramente têm a facilidade do nosso biólogo imaginário, que foi capaz de construir e então testar sua hipótese sobre as brânquias com apenas algumas observações simples. Testar uma hipótese com frequência requer um planejamento cuidadoso e



FIGURA 1.18 Um cachalote (*Physeter catodon*) solta bolhas de ar de seu pulmão através da narina no topo de sua cabeça.

minuciosas observações. Ocasionalmente, uma nova observação ou um conjunto de observações leva à rejeição total de uma hipótese aceita, o que é denominado “revolução científica”. Esta descoberta resulta em manchetes, mas na maior parte do tempo, o processo científico é gradual e as hipóteses são continuamente refinadas e modificadas, e novas alternativas são propostas, assim que mais informações são disponibilizadas.

Hipóteses podem frequentemente ser testadas quando são feitas as observações corretas do ambiente, no lugar e na hora certos. Melhores sistemas de observação (ver “Observando o oceano”, p. 6) irão sem dúvida nos ensinar muito sobre os oceanos.

Às vezes, entretanto, as condições necessárias para se testar uma hipótese não ocorrem naturalmente e os cientistas precisam manipular a natureza, ou seja, realizar um **experimento**, para fazer as observações necessárias.

Nos experimentos, os cientistas criam situações artificiais para testar hipóteses, pois não podem fazer as observações necessárias sob condições naturais.

Suponha que outro biólogo marinho decida que quer descobrir como a temperatura da água afeta o crescimento de mexilhões. Ele pode ser capaz de encontrar dois lugares, um quente e um frio, e medir o quão rapidamente os mexilhões crescem em cada lugar. Entretanto, a temperatura em qualquer lugar muda o tempo todo, e ele provavelmente teria dificuldade em encontrar dois lugares onde um é sempre mais quente do que o outro. Mesmo que ele consiga, as diferenças de temperatura não serão as mesmas e provavelmente existirão muitas outras diferenças entre os dois lugares. Os mexilhões podem ser diferentes, por exemplo. Eles podem estar comendo diferentes alimentos ou quantidades de alimento. Pode haver poluição ou um surto de uma doença em um dos locais. Em qualquer situação natural existirão incontáveis fatores além da temperatura que podem explicar as diferenças no crescimento dos mexilhões. Os fatores que podem afetar as observações são chamados de **variáveis**.

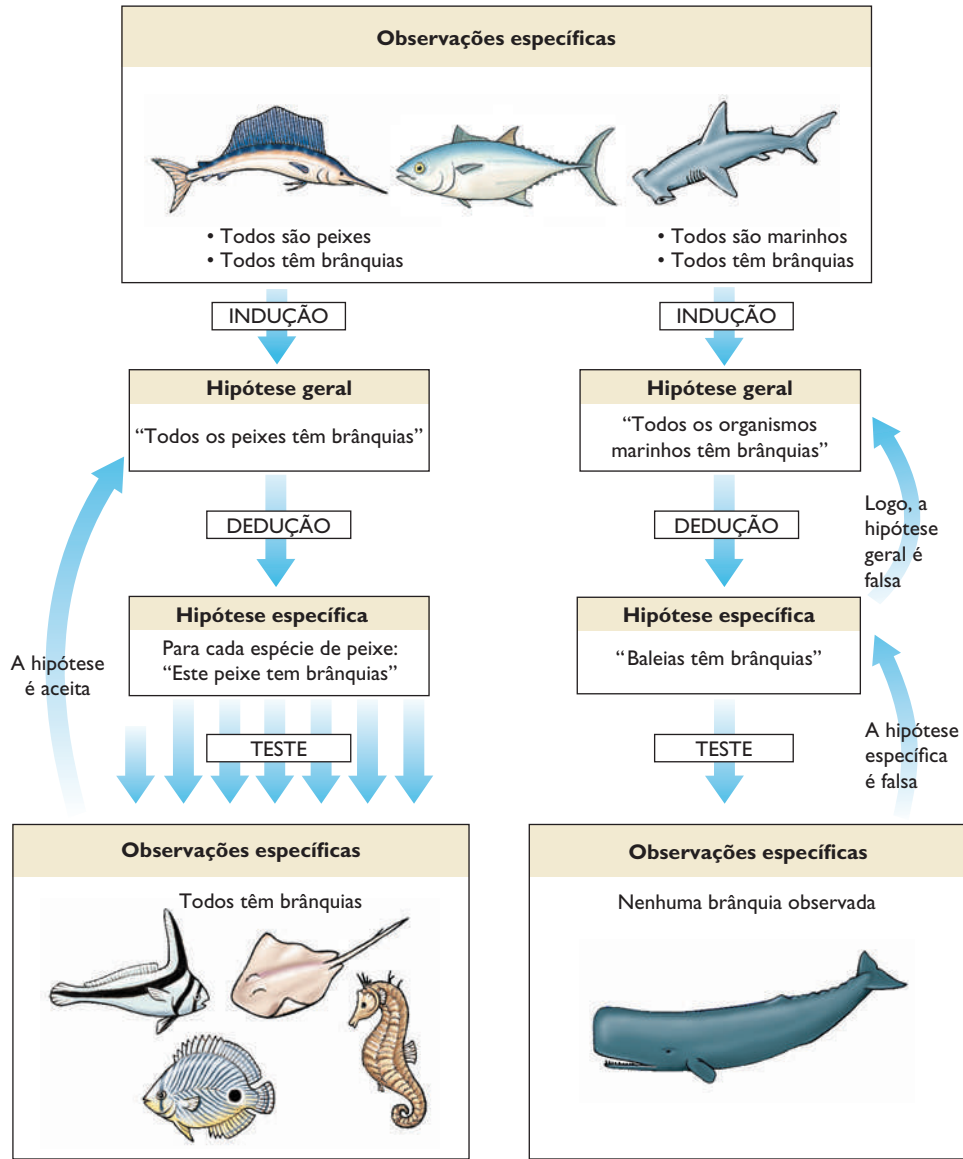


FIGURA 1.19 Um exemplo do uso do método científico. Duas hipóteses são derivadas das mesmas observações. Quando testadas por observações adicionais, uma hipótese (esquerda) é aceita e a outra (direita) é rejeitada.

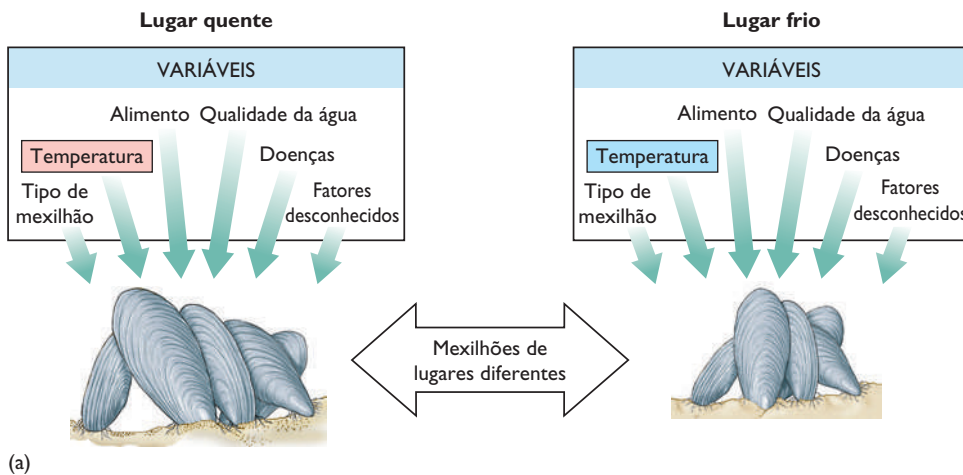
Cara a cara com todas estas variáveis, o biólogo decide realizar um experimento. Ele coleta os mexilhões de um local e os separa de forma randômica em dois grupos. Agora ele sabe que os mexilhões nos dois grupos são semelhantes. Ele coloca os dois grupos em tanques onde pode controlar a temperatura da água e acompanhar o crescimento de um grupo em águas quentes, e o do outro em águas frias. Ele alimenta todos os mexilhões com o mesmo alimento na mesma quantidade e ao mesmo tempo, protege os mexilhões da poluição e das doenças, fornece aos tanques de retenção água do mar da mesma fonte e mantém todas as outras condições de vida exatamente as mesmas para ambos os grupos. Devido a todas estas variáveis serem as mesmas para ambos os grupos, o biólogo sabe que elas não podem ser responsáveis por nenhuma diferença observada no crescimento dos mexilhões. A única diferença entre os dois grupos é a temperatura.

Para evitar que uma variável afete um experimento, o cientista tem duas opções. Uma é manter artificialmente a variável para que ela não mude – por exemplo, dando a todos os mexilhões exatamente o mesmo alimento. A outra é ter certeza de que qualquer mudança que ocorrer seja idêntica para ambos os grupos. Por fornecer aos tanques água do mar da mesma fonte, por exemplo, nosso biólogo garante que qualquer mudança na qualidade da água afeta ambos os grupos de mexilhões igualmente. As variáveis que são impedidas de afetar um experimento são ditas **controladas**, e o experimento é chamado de **experimento controlado** (Fig. 1.20). Já que o biólogo controlou os efeitos das outras variáveis enquanto os mexilhões cresciam em diferentes temperaturas, ele pode se assegurar de que qualquer diferença observada na taxa de crescimento entre os dois grupos é devido à temperatura.

De maneira similar, o biólogo pode estudar como o suprimento de alimento afeta o crescimento dos mexilhões mantendo-os na mesma temperatura, mas fornecendo diferentes quantidades de comida. Os experimentos permitem então que efeitos de diferentes variáveis sejam separados. As maneiras pelas quais as variáveis interagem também podem ser estudadas. Os mexilhões podem ser mantidos em diferentes *combinações* de temperatura e suprimento de alimento, por exemplo, para se verificar se a temperatura na qual eles crescem mais rapidamente depende da quantidade de alimento ingerida. Experimentos não são apenas para laboratórios – muitos experimentos importantes são realizados lá fora, no mundo real (p. ex., ver “Transplante, remoção e experimentos em gaiolas”, p. 256).

A teoria científica Muitas pessoas pensam em uma teoria como uma suposição muito fraca, e muitos de nós escutamos pessoas ridicularizando uma ideia ou outra porque ela era “somente teórica”. O público com frequência despreza teorias controversas ou impopulares. A teoria da gravidade, por exemplo, é raramente criticada como “somente uma teoria”. Nas conversas do dia a dia, as pessoas costumam usar o termo “teoria” com o sentido de especulação ou de apenas uma entre várias explicações possíveis para alguma coisa, mas os cientistas nunca usam o termo **teoria científica** para se referir a uma hipótese controversa ou provisória. Uma hipótese, ou um conjunto de hipóteses, não é considerada uma teoria científica até que todas as alternativas sejam descartadas e a hipótese tenha passado por todos os testes possíveis. Uma teoria científica é baseada em fortes evidências e representa a explicação compreensível das nossas observações sobre como o mundo funciona. Ela é um estabelecido princípio científico que guia as buscas por novos conhecimentos indicando novas e testáveis hipóteses.

Observação de campo



Experimento controlado em laboratório

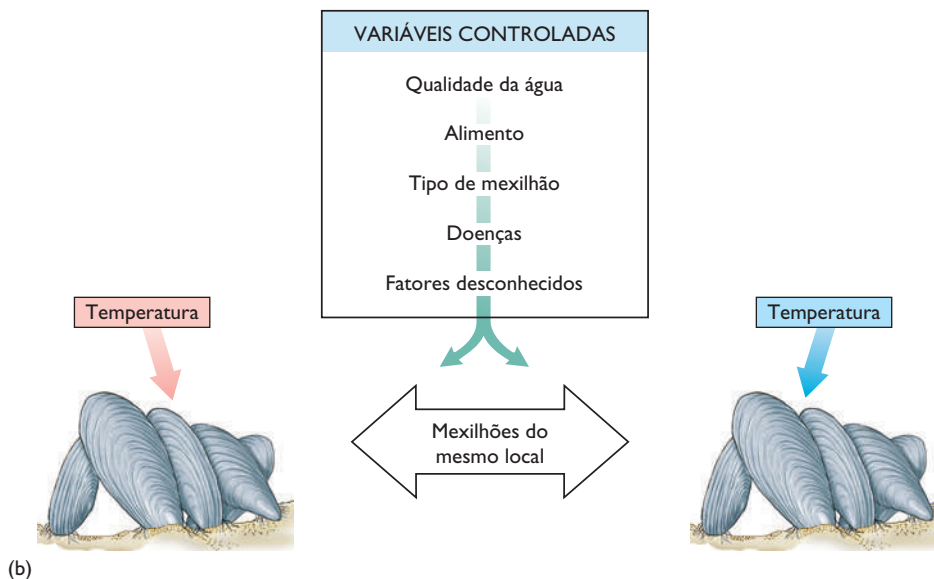


FIGURA 1.20 (a) Muitas diferentes variáveis podem produzir diferenças entre grupos de mexilhões observados em dois locais diferentes. (b) O controle das variáveis em um experimento permite que os efeitos de um único fator – neste caso, temperatura - sejam testados. Este exemplo descreve um experimento de laboratório, mas experimentos são frequentemente realizados em campo (para exemplo, ver “Transplante, remoção e experimentos em gaiolas”, p. 256).

Deve ser lembrado, entretanto, que a teoria é apenas uma hipótese, porém uma bem-testada hipótese. Assim como acontece com outras hipóteses, teorias não podem ser totalmente provadas e são aceitas como verdadeiras somente enquanto estão baseadas em evi-

dências. Bons cientistas aceitam teorias temporariamente porque a melhor evidência disponível as suporta. Eles também reconhecem que qualquer teoria pode ser anulada por novas evidências.

Uma teoria científica é a hipótese que foi tão extensivamente testada que é em geral considerada verdadeira. Como qualquer hipótese, entretanto, é sujeita a uma rejeição se evidências suficientes contra ela forem acumuladas.

Limitações do método científico

Nenhuma iniciativa humana, incluindo a ciência, é perfeita. Assim como é importante entender como e por que o método científico funciona, é importante entender as limitações do método científico. Primeiramente, lembre-se que cientistas também são pessoas; eles são propensos às mesmas fraquezas humanas que nós. Os cientistas podem apoiar sua teoria favorita mesmo quando são confrontados por evidências contrárias – estar errado pode ser difícil de aceitar. Como qualquer outra pessoa, eles podem deixar que preferências pessoais afetem seus pensamentos. Ninguém pode ser totalmente objetivo todo o tempo. Felizmente, erros de execução são com frequência corrigidos, pois as hipóteses são testadas não apenas por uma pessoa, mas por muitas. O sucesso da ciência é uma evidência de que a natureza autotestável do método científico funciona na maior parte do tempo.

A ciência também tem algumas limitações embutidas. Ironicamente, estas limitações surgiram das mesmas características que deram ao método científico seu poder: a insistência nas observações diretas e em hipóteses testáveis. Isso significa que a ciência não pode fazer julgamentos sobre valores, ética ou moralidade. A ciência pode revelar como o mundo é, mas não como ele deveria

ser. A ciência não pode decidir o que é bonito, nem dizer à humanidade como utilizar o conhecimento e a tecnologia produzidos. Tudo isso depende de valores, sentimentos e crenças, que estão além do objetivo da ciência.

John Steinbeck e Ed Ricketts

A maioria das pessoas conhece o escritor americano John Steinbeck como o autor de alguns adorados trabalhos, por exemplo, *The Grapes of Wrath*, *Of Mice and Men*, e *East of Eden*. Menos conhecidas são as contribuições de Steinbeck para a biologia marinha, que em muito resultam de sua próxima amizade com um homem chamado Ed Ricketts.

Steinbeck e Ricketts se encontraram pela primeira vez em 1930 – segundo um relato de Steinbeck, em um consultório odontológico em Pacific Grove, Califórnia. Steinbeck tinha um antigo interesse na biologia marinha e queria encontrar Ricketts há algum tempo. Ricketts era dono do *Pacific Biological Laboratory*, próximo ao *Hopkins Marine Station* e que atualmente é o *Monterey Bay Aquarium*. Ricketts coletou espécimes da vida marinha ao longo da costa do Pacífico e os vendeu para universidades e museus. Ele era imensamente popular na área e sabia mais sobre biologia marinha do que qualquer outra pessoa.

Os dois homens ficaram amigos próximos quase imediatamente. Logo Steinbeck, então com dificuldades como escritor, estava perdendo muito tempo ao redor dos laboratórios de seus amigos, indo a viagens de coleta e ajudando em operações do dia a dia. Steinbeck estava tão envolvido nesse trabalho que poderia ficar animado até mesmo com um microscópio:

Meu sonho para algum momento no futuro é um microscópio de pesquisa em lentes imersas em óleo, mas ele custa aproximadamente 600 dólares, e eu não tenho isso neste momento...Oh, garoto! Oh, garoto! Algum dia eu terei um¹.

John Steinbeck finalmente creditaria Ricketts por ter moldado sua visão sobre a humanidade e o mundo, e personagens em pelo menos seis romances de Steinbeck foram baseados em Ricketts. O mais famoso é *Doc*, o personagem principal de *Cannery Row*, que mantinha o “*Western Biological Laboratory*”:

Ele vendeu os adoráveis animais marinhos, as esponjas, os tunicatos, as anêmonas, as estre-

las e as butlestars [sic], as sunstars, os bivalves, as cracas, os vermes e as conchas, os fabulosos e multiformes pequenos brothers, o movimento vivo das flores do mar, os nudibrânquios e tectibrânquios, os espinhosos e filamentosos e pontudos ouriços, os caranguejos e demi-crabs, os pequenos dragões, os ligeiros camarões, os camarões-fantasma tão transparentes que dificilmente fazem sombra...Você pode encomendar qualquer coisa viva do Western Biological e cedo ou tarde você os terá.²

A amizade foi benéfica para a biologia marinha, assim como para a literatura. Sua expedição para o México produziu *The Sea of Cortez*, um relatório científico que também é parte literatura e parte registro de viagem. O livro lista mais de 600 espécies coletadas em réplicas, incluindo cerca de 60 que eram novas para a ciência. Entretanto, a viagem não foi só trabalho. Os autores registram terem tomado “2.160 porções individuais de duas espécies de cerveja”.

A maior contribuição de Ed Ricketts para a biologia marinha foi a publicação *Between Pacific Tides*, de 1939. Escrita com Jack Calvin, um amigo de Ricketts e Steinbeck, *Between Pacific Tides* é um abrangente guia da vida costeira do Pacífico da América do Norte. Revisado e atualizado, ele ainda é usado tanto por profissionais como por amadores.

Embora Ricketts fosse um talentoso biólogo e bastante responsável pelo conteúdo de *Between Pacific Tides*, ele tinha dificuldade em passar suas observações e ideias para o papel. É quase certo que Steinbeck o ajudou a escrever o livro e a publicá-lo. Quando Ricketts sentiu que a editora, *Stanford University Press*, o estava enrolando, Steinbeck enviou esta sarcástica carta:

Cavalheiro,

Talvez nós retiremos certas partes selecionadas de Between Pacific Tides que com o passar dos anos precisem de uma revisão. A ciência avança, mas Stanford Press, não.

Também existe o problema da iminente Nova Era do Gelo.



Ed Ricketts.

Um dia qualquer, no futuro próximo, nós gostaríamos de pedir uma (1) cópia da inédita publicação (1948, sem dúvida) The Internal Combustion Engine, Will it work?³

*Sinceramente,
John Steinbeck
Ed Ricketts*

P.S. Boa sorte com A Brief Anatomy of the Turtle.

Ed Ricketts foi morto em um acidente de trem, em 1948. Steinbeck, triste com a morte de seu amigo, escreveu, “Morreu o melhor homem que eu já conheci e o melhor professor”.

¹ “2/17/48 to Gwyndolyn Steinbeck” por John Steinbeck e Ed Ricketts, copyright 1952 por John Steinbeck, © 1969 por The Estate of John Steinbeck, © 1975 por Elaine A. Steinbeck e Robert Wallsten, “12/15/1939 letter to Elizabeth Otis” por John Steinbeck, de Steinbeck: *A Life in Letters* por Elaine A. Steinbeck e Robert Wallsten, editores, copyright 1952 por John Steinbeck, © 1969 by The Estate of John Steinbeck, © 1975 by Elaine A. Steinbeck e Robert Wallsten. Com permissão de Viking Penguin, divisão do Penguin Group (USA) Inc.

² “Chapter 5,” de *Cannery Row* por John Steinbeck, copyright 1945 por John Steinbeck. Renovado © 1973 por Elaine Steinbeck, John Steinbeck IV e Thom Steinbeck. Com permissão de Viking Penguin, divisão do Penguin Group (USA) Inc.

Exploração

Interativa

Pensando criticamente

1. A maior parte dos principais avanços na biologia marinha apareceu nos últimos 200 anos. Na sua opinião, quais as razões para isso?
2. Relembre que a afirmação “Existem sereias no oceano” é uma hipótese científica válida. O mesmo pode ser dito para “Não existem sereias no oceano”? Por quê?
3. Imagine que você seja um biólogo marinho e descubra que certo tipo de caranguejo tende a ser maior em uma baía local do que em águas adjacentes à baía. Quais hipóteses podem ser responsáveis por esta diferença? Como você poderia testar estas hipóteses?
4. Muitas espécies de baleias têm sido mortas, quase até a extinção. Muitas pessoas pensam que não temos o direito de matar baleias e que toda caça deve acabar. Por outro lado, em muitas culturas, as baleias têm sido caçadas por séculos e ainda têm uma grande importância cultural. Pessoas destas culturas argumentam que a caça controlada de baleias deve continuar. Qual o papel que a ciência pode ter na decisão de quem está com a razão? Quais questões não podem ser respondidas pela ciência?

Interesse geral

- Chave, A., 2004. Seeding the seafloor with observatories. *Oceanus*, vol. 42, no. 2, pp. 28-31. Redes de instrumentos de alta tecnologia instaladas no fundo oceânico nos permitirão monitorar continuamente as condições e a dinâmica no interior do planeta.
- Clarke, T., 2003. Oceanography: Robots in the deep. *Nature*, vol. 421, no. 6922, 30 January, pp. 468-470. Veículos submarinos autônomos – AUVs – estão se tornando realidade.
- Curry, A., 2008. Raiders or traders? *Smithsonian*, vol. 39, no. 4, July, pp. 24-30. Durante a baixa Idade Média, escandinavos saquearam e fizeram comércio ao longo de milhares de quilômetros de rotas marinhas para o Leste e para o Sul de suas terras de origem. Zarpou em uma réplica de um navio *Viking* dá aos pesquisadores ideia de como era a vida desses aventureiros intrépidos.
- Earth monitoring. *Nature*, vol. 450, no. 7171, 6 December 2007, pp. 778-790. Uma coleção especial de artigos sobre o monitoramento dos sistemas naturais da Terra.
- Linden, E., 2004. The Vikings: A memorable visit to America. *Smithsonian*, vol. 35, no. 9, December, pp. 92-99. A história da descoberta da América do Norte pelos *Vikings* – onde eles foram e quando regressaram.
- Mayr, E., 2000. Darwin's influence on modern thought. *Scientific American*, vol. 283, no. 1, July, pp. 78-83. As descobertas e publicações de Charles Darwin tiveram um profundo impacto não apenas na ciência, mas também na sociedade como um todo.
- Ocean observatories. *Oceanus*, vol. 42, no. 1, 2000. Conjuntos de instrumentos de alta tecnologia permanecem por meses, ou até anos, no fundo oceânico enviando informações importantes para os cientistas na superfície.
- Pringle, H., 2007. Follow that kelp. *New Scientist*, vol. 191, no. 2616, August 11-17, pp. 40-43. Os primeiros habitantes da América podem ter vindo da Sibéria em pequenos botes seguindo o cinturão de florestas de *kelps* da costa do pacífico Norte.
- Quammen, D., 2004. Was Darwin wrong? *National Geographic*, vol. 206, no. 5, November, pp. 2-35. Sim, evolução é uma teoria – isso significa dizer que ela é a melhor explicação disponível para um vasto conjunto de evidências.
- Smith, R., 2008. Beyond the blue horizon. *National Geographic*, vol. 213, no. 3, March, pp. 106-123. Achados arqueológicos recentes ajudam a montar o quebra-cabeça de como os antigos polinésios navegaram pelo Oceano Pacífico.
- Stone, G. S., 2003. Deep science. *National Geographic*, vol. 204, no. 3, September, pp. 78-93. *Aquarius*, o único laboratório sub-aquático habitado do mundo no fundo do mar das Florida Keys.
- Sulloway, F. J., 2006. The evolution of Charles Darwin. *Smithsonian*, vol. 36, no. 9, December, pp. 58-69. Charles Darwin seguiu rigorosamente o método científico, mesmo quando suas conclusões desafiaram seus preceitos religiosos profundamente estabelecidos.
- Tindall, B., 2004. Tidal attraction. *Sierra*, vol. 89, no. 3, May/June, pp. 48-55, 64. Um olhar sobre as mesmas poças de maré estudadas por Ed Ricketts e John Steinbeck – mas muitas já não são o que eram antes.
- Wheelwright, J., 2003. Sea searchers. *Smithsonian*, vol. 33, no. 10, January, pp. 56-62. Cientistas iniciam um esforço sem precedentes para seguir os movimentos de animais marinhos usando a última tecnologia de satélites.