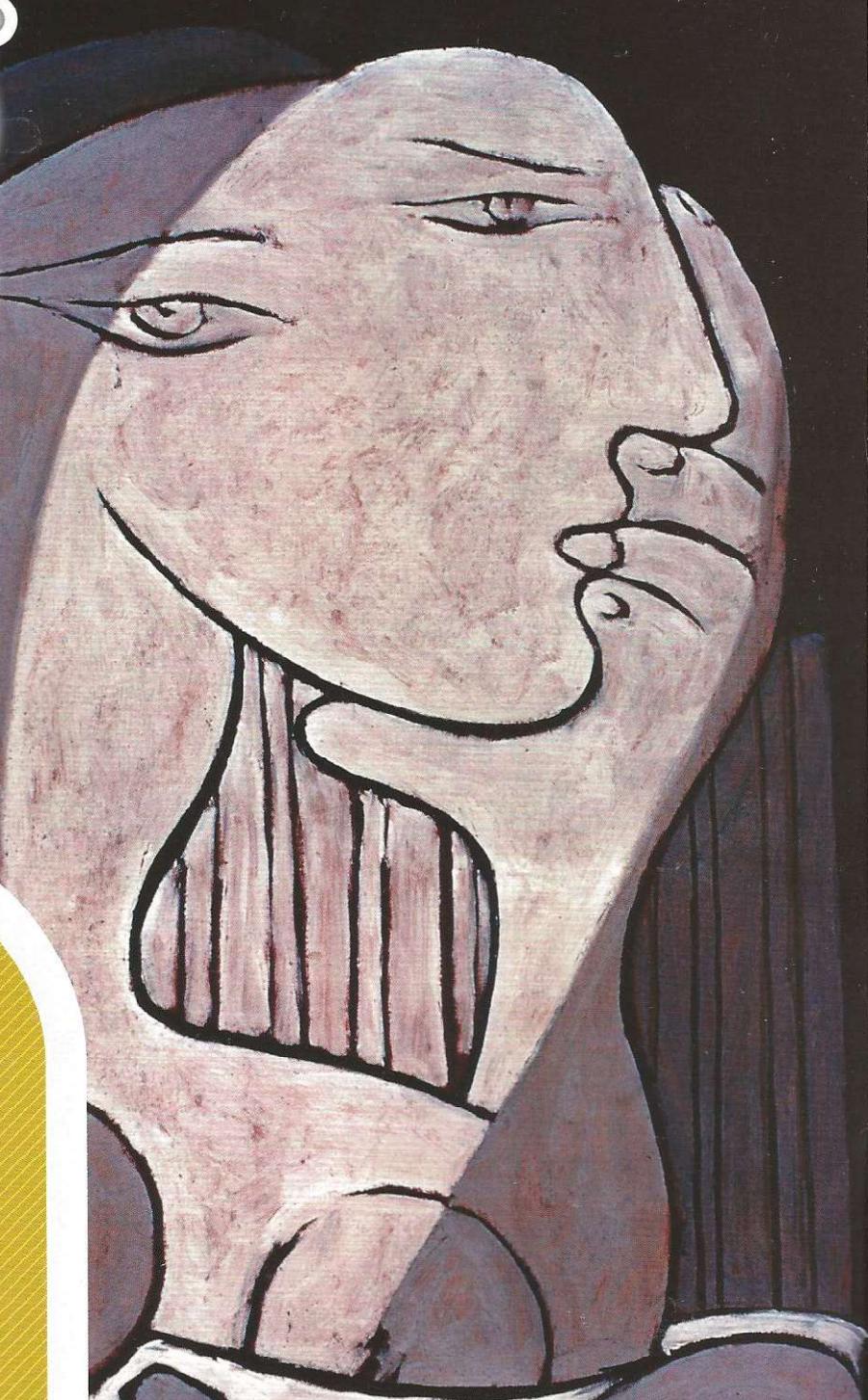


Maria Lúcia de Arruda Aranha
Maria Helena Pires Martins

FILOSOFANDO

Introdução à Filosofia



Volume Único

Componente curricular: FILOSOFIA

 **Moderna**

Capítulo
28

Ciência, tecnologia e valores



As irmãs Cholmondeley.
Obra de autoria
desconhecida, c. 1600-1610.

TATE GALLERY, LONDRES

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 8.610 de 19 de fevereiro de 1993.

Essa pintura do século XVII, de artista desconhecido, pode ser representativa das questões sobre a manipulação das células e das variações genéticas por retratar duas irmãs gêmeas que apresentam as mesmas feições e características. Há no canto inferior esquerdo dessa pintura a seguinte e curiosa inscrição: "Duas irmãs da família Cholmondeley que nasceram no mesmo dia, se casaram no mesmo dia e tiveram filho no mesmo dia". As possibilidades das novas ciências, como a engenharia genética, de interferir na criação da vida humana nos impõem a necessidade de revisar todos os valores, principalmente os éticos.

1 Que caminho devo tomar?

Lewis Carroll era professor de matemática na Universidade de Oxford quando escreveu o seguinte em *Alice no país das maravilhas*:

— Gato Cheshire... quer fazer o favor de me dizer qual é o caminho que eu devo tomar?

— Isso depende muito do lugar para onde você quer ir — disse o Gato.

— Não me interessa muito para onde... — disse Alice.

— Não tem importância então o caminho que você tomar — disse o Gato.

— ... contanto que eu chegue a *algum lugar* — acrescentou Alice como uma explicação.

— Ah, disso pode ter certeza — disse o Gato — desde que caminhe bastante."

A resposta do Gato tem sido frequentemente citada para exprimir a opinião de que os cientistas não sabem para onde o conhecimento está levando a humanidade e, além disso, não se importam muito. Diz-se que a ciência não pode oferecer objetivos sociais porque os seus valores são intelectuais e não éticos. [...] Mas é provável que a ciência possa contribuir para formular valores e, assim, estabelecer objetivos, tornando o homem mais consciente das consequências de seus atos. A necessidade de conhecimento das consequências, no ato de tomar decisões, está implícita na observação do Gato de que Alice chegaria certamente a algum lugar se caminhasse bastante. Desde que esse algum lugar poderia revelar-se bem indesejável, é melhor fazer escolhas conscientes do lugar para onde se quer ir.¹

Com base no texto de René Dubos, professor de biomedicina ambiental, iniciamos este capítulo com a seguinte reflexão: a ciência não é um saber neutro, desinteressado, puramente intelectual, à margem do questionamento social e político acerca dos fins de suas pesquisas.

2 Senso comum e ciência

O senso comum é o conhecimento que ajuda a nos situarmos no cotidiano, para compreendê-lo e agir sobre ele. Mais propriamente, poderíamos dizer que se trata de um conjunto de *crenças*, já que esse conhecimento quase sempre o recebemos pela tradição, de modo espontâneo e não crítico. Mas não só. Trata-se também do esforço que fazemos para resolver os problemas que surgem no dia a dia, buscando soluções muitas vezes bastante criativas.

É bem verdade que, em diversas situações, a ciência precisou se posicionar contra o que era considerado evidente por essas crenças, por exemplo, quando se achava natural que a Terra estivesse imóvel e o Sol girasse em torno dela. No entanto, não há como desprezar esse conhecimento tão universal nem desconsiderar o grande volume de saberes já construídos ao longo da história humana e cuja aplicação se mostrou fecunda.

Alguns exemplos

Vamos distinguir o senso comum da ciência,² examinando a especificidade de cada um por meio de exemplos.

- Descobrir pelo senso comum que a roda facilita o transporte de cargas não significa saber explicar as forças de fricção; conhecer o uso medicinal de certas ervas não quer dizer identificar suas propriedades ou compreender como se dá sua ação no organismo.

- O camponês sabe plantar e colher conforme aprendeu com seus pais, usando técnicas herdadas de seu grupo social, as quais são transformadas lentamente em decorrência dos acontecimentos casuais com os quais esse grupo se depara. Mas, se em determinado momento a adubagem deixa de proporcionar os efeitos desejados, ele não sabe identificar os motivos. Suas crenças, baseadas em hábitos rotineiros, valem enquanto há êxito, mas é com o conhecimento científico que se obtêm elementos para corrigir condutas e adaptá-las a novas situações.

- Pelo senso comum, sabemos que a água se congela quando a temperatura abaixa “o suficiente”. A imprecisão característica desse tipo de conhecimento é evitada pela ciência, que se baseia em uma medição precisa. Além disso, ela pode verificar a variedade de condições em que ocorre a solidificação dos líquidos, seja o caso da água, do leite, da cerveja, da vodka (que não congela nos freezers domésticos), e tem condições de explicar ainda por que um poço congela e o oceano não.

Características distintas

A partir desses exemplos, podemos examinar algumas características pelas quais se contrapõem esses dois tipos de conhecimento.

Particular/geral

Do senso comum resulta um conhecimento *particular*, restrito a uma pequena amostra da realidade, a partir da qual são feitas generalizações muitas vezes apressadas e imprecisas. Os dados observados costumam ser selecionados de maneira não muito rigorosa. Em outras palavras, conclui-se para todos os objetos o que vale para um ou para um grupo de objetos observados.

Já as conclusões da ciência são *gerais* no sentido de que não valem apenas para os casos observados, e sim para todos os que a eles se assemelham. Afirmações como “o peso de qualquer objeto depende do campo

¹ DUBOS, René. *O despertar da razão*. São Paulo: Melhoramentos/Edusp, 1972. p. 165.

² Baseado em NAGEL, Ernest. *La estructura de la ciencia*. Buenos Aires: Paidos, 1978. p. 15-26.

de gravitação” ou “a cor de um objeto depende da luz que ele reflete” ou ainda “a água é uma substância composta de hidrogênio e oxigênio” são válidas para todos os corpos, todos os objetos coloridos ou qualquer porção de água, e não apenas para aqueles que foram objeto da experiência.

A diferença entre elas deve-se ao fato de que as afirmações do senso comum são *assistemáticas*, enquanto as explicações da ciência são *sistemáticas* e *controláveis pela experiência*, o que permite chegar a conclusões gerais. Se o saber comum observa um fato a partir do conjunto dos dados sensíveis que formam nossa percepção imediata, pessoal e efêmera do mundo, o fato científico é um *fato abstrato*, isolado do conjunto em que se encontra normalmente inserido e elevado a um grau de generalidade.



NATIONAL GALLERY OF SCOTLAND, EDIMBURGO, ESCÓCIA – THE BRIDGEMAN ART LIBRARY/KEystone

Mulher velha cozinhando ovos. Diego Velásquez, 1618.
Não é preciso efetuar uma investigação científica para cozinhar um ovo, basta a experiência proporcionada pelo senso comum.

Fragmentário/unificador

Em comparação com a ciência, o conhecimento espontâneo é *fragmentário*, pois não estabelece conexões em situações em que essas poderiam ser verificadas. Por exemplo: pelo senso comum não é possível perceber qualquer relação entre o orvalho da noite e o “suor” que aparece na garrafa retirada da geladeira; nem entre a combustão e a respiração (que é uma forma de combustão discreta relacionada à queima dos alimentos no processo digestivo para obter energia). Se dermos crédito à velha história, é interessante lembrar as circunstâncias em que Isaac Newton teria intuído a lei da

gravitação universal, ao associar a queda de uma maçã à “queda” da Lua. Aliás, o caráter unificador dessa teoria nos permite associar fenômenos aparentemente tão disparecidos como o movimento da Lua, as marés, as trajetórias dos projéteis e a subida dos líquidos nos tubos delgados.

Subjetivo/objetivo

O senso comum é frequentemente *subjetivo*, porque depende do ponto de vista individual e pessoal, não fundado no objeto, e condicionado por sentimentos ou afirmações arbitrárias do sujeito. Se temos antipatia por alguém, é preciso certo esforço para reconhecer, por exemplo, seu valor profissional. Ao observar o comportamento de povos com costumes diferentes dos nossos, tendemos a julgá-los baseados em nossos valores e considerá-los estranhos, ignorantes, engracados ou até desrespeitáveis.

O mundo construído pela ciência aspira à *objetividade*. É objetivo o conhecimento imparcial, que independe das preferências individuais e que resulta da descentralização do sujeito que conhece, pelo confronto com outros pontos de vista. No caso das ciências, as conclusões podem ser testadas por qualquer outro membro competente da comunidade científica.

Ambiguidade/rigor

Para ser precisa e objetiva, a ciência dispõe de uma *linguagem rigorosa* cujos conceitos são definidos para evitar ambiguidades. A linguagem torna-se cada vez mais precisa, à medida que utiliza a matemática para transformar qualidades em quantidades. A matematização da ciência adquiriu grande importância no trabalho de Galileu. Ao estabelecer a lei da queda dos corpos, por exemplo, Galileu mediou o espaço percorrido e o tempo que um corpo leva para descer o plano inclinado, e ao final das observações registrou a lei numa formulação matemática.

É bem verdade que o mesmo não ocorre com as *ciências humanas*, cujo componente qualitativo não pode ser reduzido à quantidade. Algumas delas, como é o caso da psicanálise, não fazem uso da matemática ou da experimentação, embora outras teorias psicológicas, como as comportamentalistas, recorram não só às experiências em laboratório como à matemática e à estatística.

PARA SABER MAIS

Voltaremos às ciências humanas no capítulo 32, “O método das ciências humanas”.



Julgamento de Galileu.
Autor desconhecido, 1633.
O quadro mostra Galileu Galilei sendo julgado pelo Tribunal do Santo Ofício em Roma, no início do século XVII. Galileu foi obrigado pela Igreja Católica a renegar a teoria heliocêntrica. Reza a lenda, porém, que ele teria murmurado, referindo-se à Terra: “E pur si muove!” (“E, no entanto, ela se move!”).

Os instrumentos de medida (balança, termômetro, dinamômetro, telescópio etc.) também permitem ao cientista ultrapassar a percepção imediata, imprecisa e subjetiva da realidade e fazer a verificação objetiva dos fenômenos.

A ciência constitui-se de corpos de conhecimento organizado, nos quais as classificações assumem uma tarefa indispensável. Mesmo que o senso comum seja capaz de organizar conhecimentos e de fazer classificações, a ciência distingue-se dele porque suas conclusões se baseiam em investigações sistemáticas, empiricamente fundamentadas pelo controle dos fatos. As *explicações científicas* são formuladas em enunciados gerais, alcançados pelo exame das diferenças e semelhanças das propriedades dos fenômenos, de modo que um número pequeno de princípios explicativos possa unificar um grande número de fatos.

3 O método científico

O conhecimento científico é uma conquista recente da humanidade, datando de cerca de quatrocentos anos. No pensamento grego, ciência e filosofia achavam-se ainda vinculadas e só vieram a se separar a partir da Idade Moderna, no século XVII, com a revolução científica instaurada por Galileu.

A ciência moderna nasce ao determinar seu objeto específico de investigação e ao criar um método confiável pelo qual estabelece o controle desse conhecimento. São os métodos rigorosos que possibilitam demarcar um conhecimento sistemático, preciso e objetivo que permita a descoberta de relações universais entre os fenômenos, a previsão de acontecimentos e também a ação sobre a natureza de maneira mais segura.

A partir da modernidade, as ciências se multiplicaram, buscando cada uma delas seu próprio caminho, ou seja, seu método. Cada ciência torna-se, então, uma *ciência particular*, pois delimita um campo de pesquisa e procedimentos específicos. Cada uma privilegia setores distintos da realidade: a física trata do movimento dos corpos; a química, da sua transformação; a biologia, do ser vivo etc. Recentemente, a partir do século XX, constituíram-se as ciências *híbridas*, como a bioquímica, a biofísica, a mecatrônica, a fim de melhor resolver problemas que exigem, ao mesmo tempo, o concurso de mais de uma ciência.

4 A comunidade científica

As conclusões a que chegam os cientistas são avaliadas pelos seus pares, que pertencem a uma comunidade intelectual encarregada do constante exame crítico desses resultados. Uma *comunidade científica* pode ser entendida como o conjunto dos indivíduos que se reconhecem e são reconhecidos como possuidores de conhecimentos específicos na área da investigação científica.

Até pouco tempo atrás as grandes realizações científicas eram fruto de gênios individuais, enquanto hoje em dia, cada vez mais, o trabalho da ciência é feito em equipe. Não queremos abordar aqui as ambiguidades do conceito de comunidade científica — que pode ocultar divergências de interesses e conflitos de poder —, e sim mostrar sua importância para a discussão e o estabelecimento do método científico e a produção da ciência.

É nesse sentido que o filósofo francês Gérard Fourez comenta:

Afinal, um laboratório terá uma boa *performance* tanto por seu pessoal ser bem organizado e ter acesso a aparelhos precisos como por raciocinar corretamente. A fim de produzir resultados científicos, é preciso também possuir recursos, acesso às revistas, às bibliotecas, a congressos etc. É preciso também que, nas unidades de pesquisa, a comunicação, o diálogo e a crítica circulem. O método de produção da ciência passa, portanto, pelos processos sociais que permitem a constituição de equipes estáveis e eficazes; subsídios, contratos, alianças sociopolíticas, gestão de equipes etc. Mais uma vez, a ciência aparece como um processo humano, feito por humanos, para humanos e com humanos.³

Mais ainda, não se imagine que essas conclusões só serão aceitas se forem consideradas indubitáveis. É preciso retirar do conceito de ciência a falsa ideia de ser ela a única explicação da realidade, um conhecimento “certo” e “infalível”. Há muito de *construção* nos modelos científicos e, às vezes, são aceitas até teorias incompatíveis entre si, como, por exemplo, a teoria corpuscular e a ondulatória, ambas utilizadas para explicar aspectos diferentes do fenômeno luminoso. Além disso, a ciência está em constante evolução, e suas teorias, ainda que comprovadas, são de certo modo provisórias.



TOMAZETTY IMAGES

Cientistas examinando plantas em estufa. Japão, 2008. Desde Arquimedes a ciência foi um trabalho para inventores e gênios solitários. A ciência contemporânea é realizada por várias equipes de trabalho em grandes laboratórios, financiados por empresas multinacionais, universidades e governos.

³ FOUREZ, Gérard. *A construção das ciências: introdução à filosofia e à ética das ciências*. São Paulo: Editora Unesp, 1995. p. 94-95.

⁴ LACEY, Hugh. *Valores e atividade científica*. São Paulo: Discurso Editorial, 1998. p. 133.

5 Ciência e valores

É comum as pessoas afirmarem que, enquanto o senso comum é pragmático, por estar interessado na *aplicação prática*, que visa a benefícios imediatos, a ciência tem por objetivo *conhecer* a estrutura do mundo.

De fato, embora sejam inegáveis as aplicações tecnológicas, não é essa a intenção primeira da investigação científica, que antes de tudo visa ao conhecimento. Sob esse aspecto, a ciência só visaria a *valores cognitivos*, isto é, ao cientista só interessaria conhecer por conhecer, sem se preocupar com a aplicação do conhecimento. No entanto, veremos que o trabalho científico também envolve, além de valores cognitivos, os valores éticos e políticos.

► Valores cognitivos

Examinaremos inicialmente as três características relativas aos valores cognitivos da ciência: a *imparcialidade*, a *autonomia* e a *neutralidade*.

Imparcialidade

De acordo com o professor australiano Hugh Lacey, a

imparcialidade é a concepção de que as teorias são corretamente aceitas apenas em virtude de manifestarem os valores cognitivos em alto grau, segundo os mais rigorosos padrões de avaliação e com respeito a uma série apropriada de dados empíricos.⁴

Neutralidade

O conhecimento científico é neutro quando não atende a nenhum outro valor particular, podendo suas práticas serem realizadas no interior de qualquer esquema de valor: elas não serviriam a nenhum interesse específico. Ou seja, no processo de investigação propriamente dito, os valores morais e sociais não deveriam influenciar diretamente os cientistas, quando o objetivo é cognitivo.

Autonomia

A *autonomia* refere-se às condições independentes das investigações, porque, segundo se espera, as instituições científicas deveriam estar isentas

Capítulo
31

O método das ciências da natureza



YALE CENTER OF BRITISH ART, PAUL MELLON COLLECTION, ESTADOS UNIDOS – THE BRIGGEMAN ART LIBRARY/YEATONE

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Filósofo dando uma aula sobre o planetário. Joseph Wright of Derby, c. 1768.

Isaac Newton publicou em 1687 sua obra-prima, *Os princípios matemáticos da filosofia natural*, completando o trabalho iniciado por Galileu no início daquele mesmo século. O impacto de sua teoria da gravitação universal revolucionou o que até então se sabia a respeito do movimento dos astros em torno do Sol. A tela de Joseph Wright é do século XVIII, período em que a nova ciência despertava o interesse do público: um filósofo faz uma demonstração sobre o sistema solar com um modelo mecânico para mostrar o movimento da Terra e da Lua em torno do Sol, simulado por uma lâmpada de gás.

1 O desafio do método

As ciências avançam a partir de problemas que desafiam a compreensão dos cientistas. Mesmo quando são solucionados, surgem outros que exigem novas pesquisas. Assim diz o filósofo George Kneller:

O problema resolvido é um elo na cadeia de problemas e suas soluções, através dos quais a ciência avança. De um modo geral, uma nova teoria é uma fonte muito fecunda de problemas, através das predições que gera.¹

O movimento da ciência revela, portanto, o caráter histórico e provisório das conclusões, que sempre enfrentam novos questionamentos. O que nos interessa em um primeiro momento é indagar sobre os procedimentos dos cientistas diante dos problemas, ou seja, qual é o método (ou quais são os métodos) da ciência?

E ETIMOLOGIA

Método. Do grego *meta*, “ao longo de”, e *hodós*, “via, caminho”.

Para alcançar um objetivo determinado, seja uma ação, seja a explicação de um fenômeno, precisamos agir com método, desenvolvendo um conjunto de procedimentos racionais, ordenados, que nos “encaminhem” em direção à verdade procurada ou à ação desejada.

Na vida cotidiana, o senso comum supõe um método pelo qual procuramos solucionar os problemas com que nos defrontamos ou para realizar uma ação, por exemplo, planejar uma viagem. Quando se trata de ciência, mesmo que muitas vezes também sejam usados procedimentos do senso comum, por ensaio e erro, as exigências de rigor são muito maiores.

O método já mereceu atenção desde a Antiguidade, mas, a esse respeito, diz o filósofo francês Gilles-Gaston Granger:

[...] existem duas áreas em que se haviam desenvolvido, muito antes [do séc. XVII], conhecimentos que ainda hoje designamos como

ciências: o das matemáticas e o da astronomia. Mas a exploração dos fenômenos da natureza que não os movimentos regulares dos astros, embora muito ativa, efetuava-se na Antiguidade e na Idade Média de maneira, por assim dizer, anárquica e dispersa. Faltava um quadro unificador dos meios e dos métodos, mas sobretudo, e mais profundamente, da própria ideia do ‘objeto a ser descrito’, do tipo de explicação esperado dos fenômenos observados.²

A partir do século XVII, o interesse pelas questões metodológicas intensificou-se entre os pensadores, como René Descartes, Francis Bacon, John Locke, David Hume e Baruch Espinosa. Nesse mesmo período, Galileu Galilei provocou uma revolução na ciência ao desenvolver o método da física, calcado na matematização, observação e experimentação.

A definição rigorosa do método científico aumentou a confiança na possibilidade de se conhecer, pela ciência, os segredos da natureza. Essa confiança baseava-se na profunda crença na ordem e racionalidade do conhecimento do mundo.

2 A investigação científica

Inicialmente restrito à física e à astronomia, o método científico universalizou-se, servindo de modelo e inspiração às outras ciências particulares que se destacavam aos poucos do corpo da “filosofia natural”.

► A classificação das ciências

À medida que as ciências tornavam-se autônomas, surgiu a necessidade de sua classificação. Vários filósofos propuseram-se a tarefa, de que resultou uma enorme e compreensível variação, porque as ciências se encontram em contínua transformação e se situam por vezes em limites não muito bem definidos. Portanto, embora ajudem a sistematizar e organizar, as classificações são sempre provisórias e insuficientes.

Atualmente, costuma-se considerar:

- *ciências formais*: matemática e lógica;
- *ciências da natureza* (ou *ciências naturais*): física, química, biologia, geologia, geografia física etc.

¹ KNELLER, G. F. *A ciência como atividade humana*. Rio de Janeiro/São Paulo: Zahar/Edusp, 1980. p. 30.

² GRANGER, Gilles-Gaston. *A ciência e as ciências*. São Paulo: Editora Unesp, 1994. p. 44-45.

- *ciências humanas* (ou culturais): psicologia, sociologia, ciências sociais, economia, história, geografia humana, linguística, etnologia etc.

No entanto, cada vez mais as pesquisas contemporâneas exigem a contribuição dos mais diversos campos do saber, o que fez nascer as ciências híbridas, que rompem suas clássicas fronteiras. Especialidades novas reúnem simultaneamente pesquisadores e técnicos de áreas diversas, como engenharia, informática, medicina e biologia.

Assim diz Isaac Epstein:

A bioengenharia no seu sentido bioquímico estuda métodos para conseguir biossínteses de produtos animais e vegetais. No seu sentido médico, a bioengenharia provê meio artificial para corrigir funções morfológicas ou fisiológicas defeituosas. Os bioengenheiros são cientistas e técnicos interdisciplinares que usam a engenharia, a física e a química para desenvolver instrumentos ou engenhos que imitam as ações de seres vivos, próteses, órgãos artificiais etc.³

Neste capítulo veremos as ciências da natureza e o método experimental, que as caracterizou desde o início da modernidade.

3 O método experimental

Classicamente o método experimental das ciências da natureza passa pelas seguintes etapas: observação, hipótese, experimentação, generalização (lei) e teoria. É difícil, porém, abordar o tema do método científico, pois ao dizer o que é esse método, precisamos ao mesmo tempo mostrar que nem sempre é exatamente assim. Ou seja, por questões didáticas, explicamos as etapas do método científico, mas os exemplos que tiramos do trabalho efetivo do cientista nos levam a reconhecer variações no procedimento descrito.

Comecemos pelo procedimento levado a efeito por Claude Bernard (1813-1878), médico e fisiólogo francês conhecido não só por suas experiências em biologia, mas também pelas reflexões sobre o método experimental. As etapas do método científico podem ser observadas numa experiência feita por Bernard com coelhos (ver seção “Para saber mais”).

PARA SABER MAIS

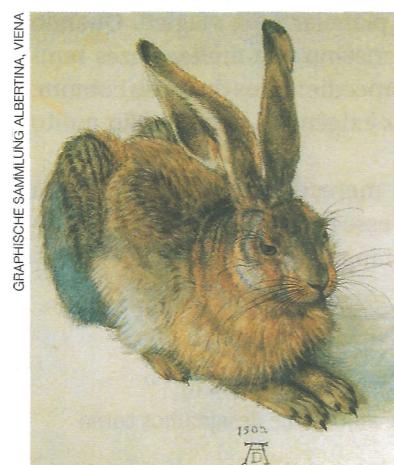
- Bernard percebeu que coelhos trazidos do mercado tinham a urina clara e ácida, característica dos animais carnívoros (*observação*).
- Como ele sabia que os coelhos têm a urina turva e alcalina, por serem herbívoros, supôs que aqueles coelhos não se alimentavam havia muito tempo e transformaram-se, pela abstinência, em verdadeiros carnívoros, vivendo do seu próprio sangue (*hipótese*).
- Fez variar o regime alimentar dos coelhos, dando a alguns alimentação herbívora e, a outros, carnívora; repetiu a experiência com um cavalo (*controle experimental*).
- No final, enunciou que “em jejum todos os animais se alimentam de carne” (*generalização*).

Vamos explicar, a seguir, cada etapa da experiência de Bernard.

► Observação

A todo momento estamos observando, mas a observação comum é com frequência fortuita, feita ao acaso, dirigida por propósitos aleatórios. A observação científica, ao contrário, é rigorosa, precisa, metódica, orientada para a explicação dos fatos e, mais do que isso, já orientada por uma teoria. No exemplo dos coelhos, Claude Bernard já sabia que os animais herbívoros têm urina turva e alcalina, e o fato de ela estar clara e ácida chamou sua atenção.

Há situações em que apenas nossos sentidos são suficientes para a observação; outras vezes exigem instrumentos como microscópio, telescópio, sismógrafo, balança, termômetro, que lhe emprestem maior precisão e menos subjetividade. Por exemplo, é mais objetivo medir a temperatura pelo termômetro do que pelo tato.



A lebre. Albrecht Dürer, 1502. Dürer, artista do Renascimento alemão, era fascinado pela natureza e pela biologia, aprofundando-se nos estudos de botânica. Acreditava que a arte deveria se basear em cuidadosa observação científica.

³ EPSTEIN, Isaac. *Divulgação científica*: 96 verbetes. Campinas: Pontes, 2002. p. 43.

Em 1643, ao limpar os poços de água de Florença, percebeu-se que a água não subia mais de 18 braças (10,33 metros). O físico e matemático Evangelista Torricelli, discípulo de Galileu, elucidou o problema pela hipótese da pressão atmosférica. Na ilustração, Torricelli testa sua hipótese: encheu um tubo com mercúrio — que é cerca de 14 vezes mais pesado que a água —, mergulhou-o em um recipiente de mercúrio e viu que o líquido do tubo desceu até a altura de 76 centímetros e não mais. A parte livre do tubo era o vácuo. Além dessa descoberta, Torricelli estabeleceu a lei do escoamento dos líquidos e inventou o barômetro — que mede a pressão atmosférica e as variações do clima. Assim podemos saber por que os jogadores que saem de uma cidade praiana precisam adaptar-se aos 3.600 metros de La Paz, na Bolívia: em uma montanha, o ar fica mais rarefeito.

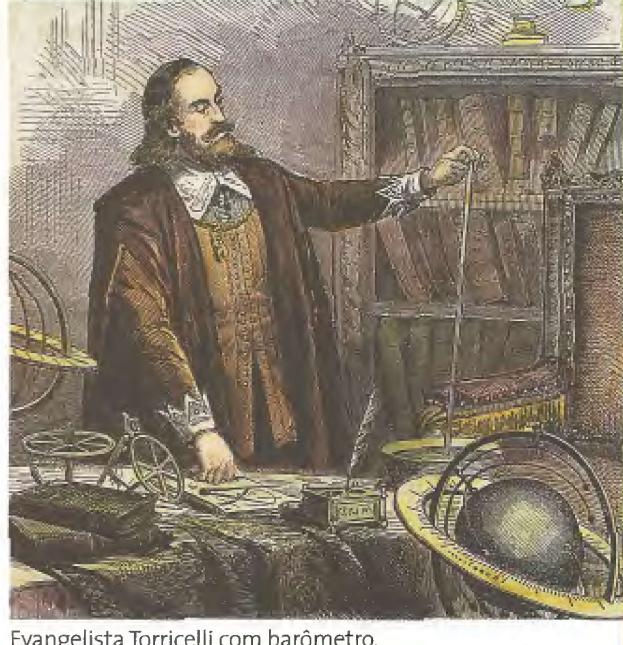
Perguntamos: será que a observação decorre sempre da observação dos fatos? Mas quais fatos? Quando observamos, já privilegiamos alguns aspectos entre as inúmeras informações caoticamente recebidas. Por exemplo, duas pessoas que observam a mesma paisagem não a registram como uma câmara fotográfica, porque o olhar humano é dirigido por uma *intenção* e, portanto, *tende* para certos pontos e não para outros.

Com maior razão, o olhar do cientista acha-se orientado por pressupostos que escapam ao leigo. Se olhamos uma lâmina ao microscópio, quando muito distinguimos cores e formas. Mas a teoria “nos ensina a ver”. Portanto, os fatos nunca constituem o dado primeiro, mas resultam de nossa *observação interpretativa*. Em outras palavras, a *observação científica* está *impregnada de teoria*.

Ainda mais: nem sempre os dados estão diante de nós, bastando que os identifiquemos. No próximo tópico veremos como Torricelli levantou uma hipótese com base em um fato que “não saltava à vista”.

► Hipótese

A hipótese é a explicação provisória dos fenômenos observados, a interpretação antecipada que deverá ser ou não confirmada. Diante da interrogação sugerida pelo problema, a hipótese propõe uma solução. Portanto, o *papel da hipótese* é reorganizar os fatos de acordo com uma ordem e tentar explicá-los provisoriamente.



THE GRANGER COLLECTION, NEW YORK / OTHER IMAGES - COLEÇÃO PARTICULAR

Evangelista Torricelli com barômetro, autoria desconhecida, século XIX.

E ETIMOLOGIA

Hipótese. Do grego *hypó*, “debaixo de”, “sob”, e *thesis*, “proposição”. Hipótese é o que “está sob a tese”, o que está suposto.

Qual é a fonte da hipótese? A formulação da hipótese não depende de procedimentos mecânicos, mas de engenhosidade. Nessa etapa do método científico, o cientista pode ser comparado ao artista que, inspirado, descobre uma nova forma de expressão. Muitas vezes a descoberta resulta de *insight*. Nesse sentido, a construção de hipóteses é um processo heurístico, de invenção e descoberta.

E ETIMOLOGIA

Heurístico. Relativo ao verbo grego *heurísko* “descobrir”. É a mesma raiz da expressão Eureka!, (descobri!).

Não convém, entretanto, mistificar a formulação da hipótese, apresentando-a como algo misterioso, pois, mesmo em casos em que há nitidamente a intuição adivinhadora, esta é antecipada por conhecimentos, diante dos quais a descoberta representa apenas o momento culminante. É o próprio Newton

Insight. Termo inglês que significa “iluminação súbita”.

quem diz a respeito dos movimentos dos corpos celestes que o levaram a conceber as leis básicas da mecânica: "Mantive o tema constantemente diante de mim e esperei até que as primeiras centelhas se abrissem pouco a pouco até a luz total".⁴

Tipos de raciocínio

Além da imaginação criadora, vários *tipos de raciocínio* orientam o cientista na proposição de uma hipótese, tais como a indução, a dedução e a analogia.

• **Indução:** trata-se da generalização de casos diferentes e particulares; por exemplo, na experiência da queda dos corpos, Galileu supõe que todos os corpos caem ao mesmo tempo, independentemente do peso.

• **Raciocínio hipotético-dedutivo:** quando é formulada uma hipótese e comprovam-se empiricamente as consequências que são tiradas dela; por exemplo, a hipótese da teoria da relatividade de Einstein supôs o desvio da luz por um campo gravitacional, o que foi verificado em 1919, por ocasião de um eclipse.

• **Analogia:** quando são estabelecidas relações de semelhança entre fenômenos; por exemplo, o modelo atômico de Bohr é feito por analogia ao modelo do sistema solar; conclusões em experiências feitas com animais são transpostas para os humanos etc.

 **PARA SABER MAIS**

Mais detalhes sobre indução, dedução e analogia podem ser encontrados no capítulo 11, "Lógica aristotélica".

Critérios de valor da hipótese

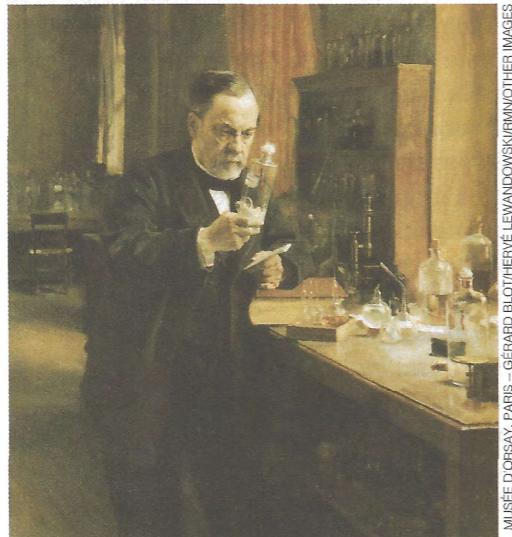
Passemos agora ao exame dos critérios⁵ usados para julgar o *valor ou a aceitabilidade das hipóteses*. Vejamos alguns deles:

• **Relevância:** podemos inventar as mais mirabolantes hipóteses para explicar um fenômeno, mas apenas algumas serão relevantes, por terem maior poder explicativo e preditivo que outras, pela sua abrangência e precisão.

• **Possibilidade de ser submetida a testes:** a hipótese deve ser passível de teste empírico, o que quase sempre é complicado de realizar. Como observar radiações, elétrons, partículas

e ondas, por exemplo? O astrônomo Leverrier, observando o percurso de Urano, percebeu uma anomalia que apenas seria explicada se existisse um outro planeta ainda desconhecido. Com base nas leis de Newton, calculou não só a massa como a distância em relação à Terra do suposto planeta, o que permitiu a outro astrônomo, chamado Gall, confirmar a hipótese ao identificar Netuno. Como se vê, no caso da astronomia, basta realizar nova observação orientada pela hipótese. Em outras ciências, porém, o teste é mais complexo e deve ser feito por meio de experimentação.

• **Compatibilidade com hipóteses já confirmadas:** uma característica da ciência é a abrangência de diversas hipóteses compatíveis entre si, compondo um todo coerente, que exclui enunciados contraditórios. O exemplo de Leverrier confirma essa coerência buscada pela ciência. No entanto, não se pode superestimar este terceiro critério, porque às vezes a incompatibilidade com teorias anteriores pode indicar um novo caminho válido a ser percorrido. Foi o caso da teoria da relatividade, ao conflitar com a teoria newtoniana. Nesse caso, não houve necessidade de abandonar a antiga teoria, mas definir os campos específicos de aplicação de cada uma delas.



Louis Pasteur. Albert Gustaf Aristide Edelfelt, 1885. O cientista francês Louis Pasteur teve grande importância no estudo das origens da vida e fez descobertas de aplicação prática que contribuíram para a prevenção de doenças, como as vacinas, e estudos sobre a propagação dos micro-organismos.

⁴ Citado por BRODY, David Eliot e BRODY, Arnold R. *As sete maiores descobertas científicas da história*. São Paulo: Companhia das Letras, 1999. p. 74.

⁵ Texto adaptado de COPI, Irving. *Introdução à lógica*. São Paulo: Mestre Jou, 1978. p. 386-391.

► Experimentação

Enquanto a observação é o estudo dos fenômenos como se apresentam naturalmente, a experimentação é o estudo dos fenômenos em condições determinadas pelo experimentador. Trata-se de *observação provocada para fim de controle da hipótese*.

Além da experimentação de Claude Bernard com os coelhos, outro exemplo clássico de controle experimental foi realizado por Pasteur com ovelhas (ver boxe).



PARA SABER MAIS

Os criadores de ovelhas na França estavam sofrendo perdas no rebanho devido ao bacilo do carbúnculo, uma doença infecciosa e letal. Pasteur preparou uma vacina com bactérias enfraquecidas de carbúnculo e levantou a hipótese da imunização. Separou sessenta ovelhas da seguinte maneira:

- em dez não aplicou tratamento algum;
- vacinou 25, nas quais inoculou após alguns dias uma cultura contaminada pelo bacilo do carbúnculo;
- não vacinou as 25 restantes, em que também inoculou a cultura contaminada;

Depois de algum tempo, verificou que as 25 ovelhas não vacinadas morreram, as 25 vacinadas sobreviveram e, comparadas às dez que não tinham sido submetidas a tratamento, constatou que não sofreram alteração de saúde.

A experimentação proporciona condições privilegiadas de observação, porque permite:

- repetir os fenômenos;
- variar as condições de experiência;
- tornar mais lentos os fenômenos muito rápidos: o plano inclinado de Galileu tornou possível observar a queda dos corpos;
- simplificar os fenômenos: para estudar a variação de volume, mantém-se constante a pressão dos gases.

Vale retomar a advertência já feita, de que toda observação está impregnada de teoria. Na experimentação isso é igualmente verdadeiro, sobretudo em ciências mais avançadas, como a física, quando o pesquisador não pode observar diretamente os fatos. Segundo o físico e filósofo francês Pierre Duhem (1861-1916), nesse nível de investigação o instrumento matemático exerce um papel essencial, e a representação simbólica exige o uso de um vocabulário constituído de expressões abstratas introduzidas pelas teorias físicas, como pressão, temperatura, densidade, eixo óptico de uma lente, coeficiente de dilatação etc.

Além disso, ainda segundo Duhem, “uma experiência reconhece implicitamente a exatidão de todo um conjunto de teorias”.

Isso significa que o pesquisador, prossegue Duhem,

[...] jamais pode submeter ao controle da experiência uma hipótese isolada, mas somente todo um conjunto de hipóteses. Quando a experiência está em desacordo com suas previsões, ela lhe informa que pelo menos uma das hipóteses que constituem esse conjunto está errada e deve ser modificada, mas ela não lhe indica aquela que deve ser mudada.⁶

Nem sempre a experimentação é simples ou viável. É impossível observar diretamente a evolução darwiniana, que se processa durante muitas gerações; mesmo assim é uma hipótese válida, na medida em que unifica e torna inteligível um grande número de dados. Voltaremos a ela mais adiante.

No entanto, quando a experimentação refuta a hipótese — o que acontece inúmeras vezes —, o cientista deve recomeçar a busca de outra hipótese, e outra, e mais outra...

► Generalização

Aristóteles já dizia que não existe ciência senão do universal. A análise dos fenômenos nos leva à formulação de *leis*, enunciados que descrevem regularidades ou normas.

Na fase de experimentação, analisamos as variações dos fenômenos: observadas as relações constantes, podemos generalizar. Por exemplo, se a *temperatura* de um gás aumentar, mantida a mesma *pressão*, então o seu *volume* aumentará. Descobre-se aí a *relação constante entre os fenômenos*: sempre que aumentarmos a temperatura do gás, o seu volume aumentará, e não poderá deixar de aumentar.

Tipos de generalização

As generalizações podem ser de dois tipos: as leis empíricas e as leis teóricas.

As *leis empíricas* (ou leis particulares) são inferidas de alguns casos particulares. Por exemplo, “o calor dilata os corpos”, “os mamíferos produzem sua própria vitamina E”, “o fígado tem função glicogênica” ou, ainda, a lei da queda dos corpos, a lei dos gases etc.

Função glicogênica. Produção de glicogênio a partir de moléculas de glicose.

⁶ DUHEM, Pierre. “Algumas reflexões acerca da física experimental”. Em: Ciéncia e filosofia. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciéncias Humanas da Universidade de São Paulo, 1989. n. 4. p. 87-118.

Nem sempre, porém, é possível alcançar a universalidade rigorosa. Nesses casos, existem leis estatísticas baseadas em probabilidades, procedimentos especialmente valiosos em casos como sistemas com um grau acentuado de acaso. Por exemplo: em biologia, as questões sobre mutação; em estudos sociais, uma pesquisa sobre o poder de compra de determinado segmento ou sobre a escolha de candidatos em eleições.

As *leis teóricas* ou *teorias* propriamente ditas são leis mais gerais e abrangentes que reúnem as diversas leis particulares sob uma perspectiva mais ampla. Por exemplo: a teoria da gravitação universal de Newton engloba as leis planetárias de Kepler e a lei da queda dos corpos de Galileu.

Fecundidade da teoria

Dentre as características fecundas da teoria, destaca-se seu *caráter unificador*, que já se nota no exemplo dado anteriormente, em que Newton reúne leis referentes a domínios distintos numa só explicação sobre a gravitação universal.

Além disso, a teoria tem um poder heurístico. Por exemplo, a teoria da gravitação universal permite calcular a massa do Sol e dos planetas, explicar os marés etc. Portanto, a teoria não só unifica o saber adquirido, articulando leis isoladas, como também é fecunda, ao possibilitar novas investigações.

4 A ciência como construção

Até aqui, distinguimos hipótese, lei e teoria, mas na verdade todas são hipotéticas e admitem diferentes graus de comprovação, dependendo dos testes a que foram submetidas. Ainda que haja grande diferença entre uma primeira hipótese não comprovada pelos fatos e outra suficientemente testada e corroborada pelos fatos — como a teoria da gravitação universal de Newton —, mesmo esta última poderá ser contestada sob algum aspecto, como de fato ocorreu com o surgimento da teoria de Einstein.

No entanto, teria a teoria da relatividade de Einstein superado a teoria newtoniana da gravitação universal? Ora, Einstein não só partiu de pressupostos diferentes daqueles utilizados por Newton, como chegou a conclusões diferentes. Isso não significa que a teoria newtoniana devesse ser totalmente abandonada, mas sim que seria preciso reconhecer os limites dela, já que sua aplicação se restringe a determinado setor da realidade. Ou seja, quando



METROPOLITAN MUSEUM OF ART, NOVA YORK

Antoine-Laurent Lavoisier e sua mulher, Marie-Anne Pierrette Paulze. Jacques Louis David, 1788. A química constituiu-se uma ciência no sentido moderno no século XVIII, com o nobre francês Antoine Lavoisier (1743-1794), que morreu precocemente entre os guilhotinados da Revolução Francesa.

se trata do microcosmo (interior do átomo) ou do macrocosmo (Universo), a teoria newtoniana mostra-se insuficiente, por isso a necessidade de recorrer à teoria da relatividade.

Consideremos, ainda, o exemplo da teoria da luz. Newton admite a emissão corpuscular da luz, enquanto Fresnel, no século XIX, desenvolve a teoria ondulatória. Qual teoria é a verdadeira? As duas são incompatíveis entre si e explicam diversos fenômenos ópticos, como a refração, a reflexão e a interferência.

Afinal, o que podemos esperar de uma lei? Leiamos novamente Duhem:

Os termos simbólicos que ligam uma lei da física [...] são abstrações produzidas por um trabalho de análise lento, complicado, consciente, o trabalho secular que elaborou as teorias físicas. [...] Segundo a adoção de uma ou outra teoria, a lei muda de sentido, de sorte que ela pode ser aceita por um físico que admite tal teoria e rejeitada por um outro físico que admite outra teoria. [...] uma lei da física é uma relação simbólica cuja aplicação à realidade concreta exige que se conheça e que se aceite todo um conjunto de teorias.⁷

O sucessivo alternar de teorias que se complementam, se contradizem ou são abandonadas indica que a ciência não é um conhecimento “certo”, “infalível”, nem as teorias são o “reflexo” do real. Por isso, nas discussões entre filósofos da ciência, a teoria científica

⁷ DUHEM, Pierre. “Algumas reflexões acerca da física experimental”, *Ciência e filosofia*. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 1989. n. 4. p. 109-110.

aparece como *construção da mente*, hipótese de trabalho, modelo, função pragmática que torna possível a previsão e a ação, descrição de relações entre elementos, nunca a garantia de certeza definitiva.

5 O desenvolvimento das ciências da natureza

Após a física e a astronomia estabelecerem seus métodos, foi a vez de se constituírem outras ciências, como a química. Depois foi a vez das ciências biológicas e da medicina, que se desenvolveram no século XIX.

► A evolução das espécies

O feito mais notável da biologia no século XIX, no entanto, foi a *teoria da evolução orgânica*. Inicialmente Jean-Baptiste Lamarck levantou uma hipótese sistemática, mas Charles Darwin o superou com um trabalho baseado em exemplares de plantas e animais coletados em suas pesquisas.

A partir do resultado dessas investigações, trazido a público em 1859, na famosa obra *A origem das espécies*, Darwin conclui que a *variação* e a *seleção natural* são os fatores principais na origem de novas espécies. A teoria evolucionista abrange todos os animais, inclusive os seres humanos. Essa última referência, porém, só foi amplamente esclarecida em sua obra seguinte, na qual mostra que descendemos originalmente de algum ancestral simiesco há muito extinto, provavelmente o mesmo antepassado de antropoides ainda existentes. Como ele próprio esperava, sofreu críticas apaixonadas e foi por muitos considerada uma obra herética.



DOWNHOUSE, KENT, REINO UNIDO
- THE BRIDGEMAN ART LIBRARY/KEYSTONE

O navio *Beagle* aportando na Terra do Fogo, sul da América do Sul, em tela do século XIX, de Conrad Martens, pintor que acompanhou Darwin em sua expedição.

⁸ DARWIN, Charles. *Autobiografia*. Citado por: EPSTEIN, Isaac. *Divulgação científica: 96 verbetes*. São Paulo: Pontes, 2002. p. 139.

PARA SABER MAIS

Na tradição greco-medieval prevaleceu a concepção estética do mundo, segundo a qual cada ser busca realizar sua essência (eterna e universal), o que se opõe à visão transformista da natureza. Do mesmo modo, a interpretação bíblica tradicional rejeitava qualquer teoria que contrariasse a tese da criação divina.

As hipóteses evolucionistas tomaram corpo após Darwin ter coletado dados em grande escala, depois de engajar-se em uma viagem, a bordo do navio *Beagle*, de levantamento cartográfico na América do Sul, organizada pelo governo da Inglaterra. Durante cinco anos (1831-1836), observou que determinada espécie sofria mudanças nas diferentes regiões que visitava, mas encontrava dificuldade em explicar como a seleção se configurava, até que se inspirou em uma leitura da obra de Malthus, como diz neste trecho:

Em outubro de 1938, isto é, quinze meses após ter iniciado minha pesquisa sistemática, aconteceu estar lendo, por entretenimento, a obra de Malthus sobre a população. Estando bem preparado para apreciar a luta pela sobrevivência que se trava em todo lugar, surgiu-me a ideia de que sob tais circunstâncias, variações favoráveis seriam preservadas e as não favoráveis, destruídas. O resultado deste mecanismo seria a formação de novas espécies. Daí em diante tinha finalmente uma teoria em que trabalhar.⁸

PARA REFLETIR

Observe, na citação biográfica de Darwin, como se configurou a criação da hipótese da seleção natural. Compare com o que foi visto neste capítulo no tópico sobre hipótese.

PARA SABER MAIS

Thomas Malthus (1766-1834), economista inglês, em *Ensaio sobre o princípio da população*, afirmava que o fato de a população crescer mais que a produção de alimento é a causa da fome, da doença e da guerra.

Simiesco. Relativo a símio, macaco.

O criacionismo

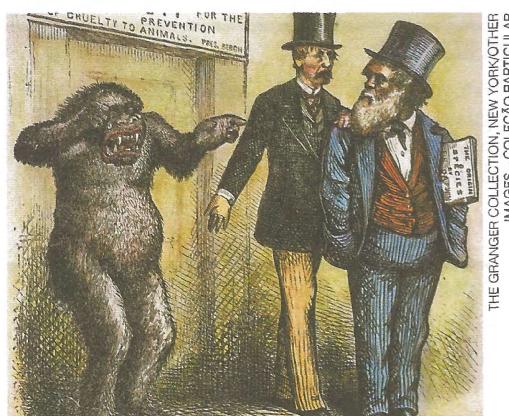
Ainda hoje grupos de inspiração religiosa opõem o criacionismo à teoria darwiniana, sobretudo entre os que não querem descartar a fé na criação divina. Trata-se de um movimento que nasceu nos Estados Unidos, tendo recrudescido a partir de 1999, quando o estado do Kansas determinou por lei que não era obrigatório o ensino da evolução biológica em suas escolas.⁹

Existem diversas linhas de adesão ao criacionismo. Os mais radicais são antievolucionistas, pois creem na versão bíblica, rejeitando que os seres humanos tenham derivado de um ancestral simiesco. No entanto, há os criacionistas moderados, que reconhecem as evidências científicas da evolução de plantas e animais, mas atribuem a Deus uma ação contínua nessa evolução.

A polêmica: evolucionismo ou criacionismo?

As críticas que os cientistas fazem ao criacionismo é que desde a Idade Moderna a ciência se tornou laica, isto é, a fé não deve ser tomada como critério de avaliação de uma teoria. Apenas o que pode ser testado de maneira objetiva e a partir de ampla discussão na comunidade científica deve ser levado em consideração — ainda que as teorias possam ser modificadas ao longo do tempo.

Isso não significa desrespeitar ou negar crenças pessoais, mas apenas não aceitá-las como critério de fundamento para teorias científicas, porque a fé não se coaduna com a exigência de evidência empírica e de rigor do método científico.



Charge satirizando a teoria da evolução de Charles Darwin. Nela um gorila pede proteção de Henry Bergh, fundador da Sociedade Americana para a Prevenção da Crueldade com Animais. Thomas Nast, 1871. O impacto da teoria evolucionista inspirou a criação de inúmeras caricaturas, geralmente para ironizar o cientista.

Quanto ao ensino nas escolas, se considerarmos o pluralismo que caracteriza os alunos, vindos de famílias de diferentes religiões ou mesmo ateias, pergunta-se o que seria mais conveniente ensinar. Em entrevista, a secretaria da Educação Básica do Ministério da Educação afirmou que o criacionismo pode ser discutido nas aulas de religião, como visão teológica, mas não nas aulas de ciências, nas quais deve prevalecer o enfoque laico.¹⁰

Além disso, as verdades da fé são irrefutáveis, porque derivam de revelação divina e trazem consigo valores éticos que deverão ser seguidos, o que contraria a possibilidade de revisão de toda conclusão científica e vincula-lhes automaticamente normas de conduta moral.

Os criacionistas rebatem alegando que, devido à complexidade do Universo, não é possível explicá-lo apenas pela evolução e pelo acaso, sendo necessário admitir uma primeira Inteligência criadora. Mais ainda, aceitar o evolucionismo seria colocar em questão a criação divina. Com relação ao ensino nas escolas, eles consideram mais justo apresentar ambas as orientações, mostrando os pontos fortes e fracos de cada uma.

PARA REFLETIR

Diante da polêmica sobre o que ensinar nas escolas — a teoria da evolução ou o criacionismo — como você se posiciona? Justifique sua resposta.

► A genética

Apenas seis anos após a publicação de *A origem das espécies*, um monge austríaco chamado Gregor Mendel apresentou os resultados de uma experiência com ervilhas. Procedendo ao cruzamento de sucessivas sementes a partir da combinação de sete caracteres, como cor, forma, altura etc., chegou a resultados estatísticos importantes para elucidar fatores da hereditariedade. Note-se que, pela primeira vez, um biólogo usava a matemática em um campo que aparentemente a dispensava.

Curiosamente, seu trabalho permaneceu quase desconhecido, até que em 1900, De Vries baseou-se nele para explicar a evolução como resultante de saltos repentinos, por mutações. Pouco depois, em 1909, Morgan incorporou o termo “gene” para referir-se aos “fatores hereditários” mendelianos.

⁹ Citado em: Revista *Nature*, 10 ago. 1999, p. 697.

¹⁰ Citado em: Folhaonline. Disponível em: www.folha.uol.com.br. Acesso em: 12 dez. 2008.