

INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM EDUCAÇÃO

FERNANDO GEWANDSZNAJDER

O QUE É O MÉTODO CIENTÍFICO

**Uma reflexão crítica sobre o método científico como subsídio para o
ensino das ciências naturais**

Volume I

FEV
200
2
PRETO

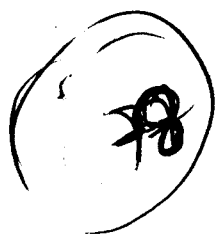
Rio de Janeiro, 1987

T/IESAE
G396g
V.1

O QUE É O MÉTODO CIENTÍFICO

Volume I

Fernando Gewandsznajder



O QUE É O MÉTODO CIENTÍFICO

Uma reflexão crítica sobre o método científico como subsídio para o ensino das ciências naturais.

Fernando Gewandsznajder

Dissertação apresentada co
mo requisito parcial para a
obtenção do grau de Mestre
em Educação.

Rio de Janeiro ✓

Fundação Getúlio Vargas

Instituto de Estudos Avançados em Educação

Departamento de Psicologia da Educação.

- 1987 -

A todos aqueles que ensinam e
fazem ciência neste país.

"... meu sonho era fundar uma escola em que os jovens pudessem estudar sem aborrecer-se; em que fossem estimulados a formular problemas e a discutí-los; uma escola em que ninguém precisaria dar atenção a discussões indesejáveis em torno de questões de sinteressantes; uma escola em que não fosse preciso estudar com o único objetivo de passar nos exames."

Karl Popper

"Existe uma paixão pelo entendimento, tal como existe uma paixão pela música. Essa paixão é comum nas crianças, mas a maioria das pessoas perde-a posteriormente. Sem essa paixão não teria havido matemática nem ciências naturais."

Albert Einstein

"Todo conhecimento humano é incerto, inexato e parcial."

Bertrand Russell

SUMÁRIO

	<u>Página</u>
<u>VOLUME I</u>	
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVII
APRESENTAÇÃO	XIX
CAP. I. UMA VISÃO GERAL DA CIÊNCIA E DO MÉTODO CIENTÍFICO	1
1.1. <u>O que é ciência?</u>	2
1.1.1. Uma tentativa de conhecer o mundo	3
1.1.2. As características gerais do método científico	5
1.1.3. O médico como um cientista	6
1.2. <u>As etapas do método científico</u>	7
1.2.1. A atividade científica desenvolve-se a partir de problemas	7
1.2.2. As hipóteses científicas devem ser passíveis de teste	10
1.2.3. A experiência científica deve ser controlada	16
1.2.4. O método científico utiliza leis para explicar os fatos	19
1.2.5. A busca de explicações amplas e profundas — as teorias científicas	21
1.3. <u>A divisão e a classificação das ciências</u>	25
1.3.1. Por que classificar?	25
1.3.2. A diferença entre verdade e validade	28
1.3.3. Os objetos estudados pela lógica e pela matemática	32

	<u>Página</u>
1.3.4. A importância da lógica e da matemática para as ciências factuais	33
1.3.5. As ciências naturais e as ciências culturais	36
1.3.6. Ciência básica, ciência aplicada e tecnologia	38
1.4. <u>A interação entre a ciência e a sociedade</u>	40
1.4.1. O conceito de ideologia	40
1.4.2. A influência dos fatores sociais nas ciências naturais	42
1.4.3. A objetividade da ciência	45
1.4.4. Ciência e ética	50
1.5. <u>Resumo</u>	52
1.6. <u>Leituras suplementares</u>	54
1.7. <u>Notas e referências bibliográficas</u>	59
CAP. II. A PROCURA DE UM PONTO DE PARTIDA	62
2.1. <u>O mito da observação pura</u>	63
2.1.1. A teoria do balde mental: uma observação passiva	63
2.1.2. A teoria do holofote: uma observação ativa.	67
2.1.3. Em defesa da teoria do holofote: as ilusões de ótica e o componente inato	69
2.1.4. Críticas às sentenças protocolares	72
2.1.5. A necessidade de hipóteses que guiem a observação	75
2.1.6. Para que serve a observação?	79
2.2. <u>Os problemas como ponto de partida para a atividade científica</u>	80

	<u>Página</u>
2.2.1. Como surgem os problemas	81
2.2.2. Como resolver problemas	83
2.2.3. A ciência como uma coleção de problemas....	85
2.3. <u>Resumo</u>	86
2.4. <u>Leituras suplementares</u>	88
2.5. <u>Notas e referências bibliográficas</u>	89
CAP. III. O PROBLEMA DA INDUÇÃO — UM ADEUS À CER- TEZA	93
3.1. <u>O problema da indução e a solução de Hume</u>	95
3.1.1. O "salto" indutivo	95
3.1.2. A observação para confirmar uma hipótese científica	98
3.1.3. As críticas de Hume	101
3.1.4. A solução de Hume e o mal-estar entre os fi- lósofos	103
3.1.5. A solução de Kant — o conhecimento sintēti- co e a priori	
3.2. <u>A justificativa através da probabilidade</u>	108
3.2.1. A idéia geral do projeto indutivista—a pro- babilidade como guia de nossas decisões....	109
3.2.2. Como conseguir evidência total e segura?...	112
3.2.3. Esmeraldas, cisnes e gráficos — como a es- colha das hipóteses vai além da coleta de dados	114
3.2.4. A busca de princípios que legitimem a indu- ção	117
3.2.5. Conclusão: o indutivismo hoje	120

	<u>Página</u>
3.3. <u>A solução de Popper para o problema da indução</u>	121
3.3.1. A solução para o problema lógico da indução: a refutabilidade	121
3.3.2. O problema psicológico da indução — críticas a Hume	126
3.3.3. O papel da repetição na aprendizagem por ensaio e erro	129
3.4. <u>Da ameba a Einstein — o método do ensaio e erro</u>	132
3.4.1. A moderna teoria da evolução — um rápido resumo	132
3.4.2. A evolução da vida como uma forma de resolver problemas	135
3.4.3. O método crítico de resolver problemas e a evolução dos seres vivos	137
3.4.4. A incerteza do conhecimento de base	140
3.4.5. À guisa de conclusão: o ideal da ciência...	143
3.5. <u>Resumo</u>	145
3.6. <u>Leituras suplementares</u>	149
3.7. <u>Notas e referências bibliográficas</u>	151
CAP. IV. HIPÓTESES, LEIS E TEORIAS — O NÚCLEO DAS EXPLICAÇÕES CIENTÍFICAS	157
4.1. <u>Respostas aos porquês — as explicações científicas</u>	158
4.1.1. A estrutura dedutiva das explicações científicas	159

	<u>Página</u>
4.1.2. Explicando o visível pelo invisível.....	163
4.1.3. O universo como um relógio: é possível um de terminismo completo e absoluto?	166
4.1.4. Os fenômenos aleatórios e as explicações es- tatísticas	169
4.1.5. As explicações teleológicas: há finalidade na natureza?	174
4.2. <u>As características de uma hipótese científica.</u>	181
4.2.1. As hipóteses e os dados	182
4.2.2. A formação de hipóteses — um espaço para a criatividade do cientista	185
4.2.3. As qualidades de uma boa hipótese	186
4.3. <u>As características das leis científicas</u>	190
4.3.1. Leis como enunciados gerais.....	191
4.3.2. Leis e generalizações acidentais: existem leis na natureza?	193
4.3.3. Um apoio mais profundo para as leis — a teo- ria	197
4.3.4. Contra a indução e contra o fenomenismo.....	202
4.3.5. As leis estatísticas: o acaso existe ou é produto de nossa ignorância?	204
4.4. <u>O produto final da atividade científica — a teoria</u>	211
4.4.1. A complexidade do mundo real e a necessidade de um modelo	211
4.4.2. Galileu e o nascimento da nova ciência	218
4.4.3. As características de uma boa teoria	221

	<u>Página</u>
4.4.4. A realidade por trás da aparência — teorias representacionais e teorias fenomenológicas.	225
4.4.5. Teorias — tentativas de conhecer a realidade ou simples ferramentas?	230
4.5. <u>Resumo</u>	241
4.6. <u>Leituras suplementares</u>	247
4.7. <u>Notas e referências bibliográficas</u>	251

VOLUME II

CAP. V. TESTANDO E AVALIANDO AS TEORIAS CIENTÍFICAS	260
5.1. <u>Os requisitos iniciais para o teste</u>	262
5.1.1. Deduzindo previsões que possam ser testadas - o método hipotético dedutivo.....	262
5.1.2. Refutabilidade e refutação	265
5.1.3. A refutabilidade e o conteúdo empírico	268
5.1.4. Em direção a teorias mais amplas, profundas, simples e precisas	271
5.2. <u>O confronto com a experiência</u>	277
5.2.1. Aumentando o rigor do teste - a experiência controlada	277
5.2.2. A necessidade de grupos de controle.....	281
5.2.3. Os testes estatísticos	286
5.2.4. Indutivismo vs. não indutivismo nos testes estatísticos	295
5.2.5. Testes rigorosos e observações mais precisas - medida	304

	<u>Página</u>
5.3. <u>Avaliando as teorias científicas</u>	313
5.3.1. Uma teia de hipóteses e teorias	314
5.3.2. Procurando o culpado — os testes indepen- dentes	321
5.3.3. Tentando escapar à refutação — as explica- ções <u>ad hoc</u>	328
5.3.4. Uma sucessão de teorias não <u>ad hoc</u>	334
5.3.5. Por que um teste severo é importante	341
5.3.6. Avaliando o sucesso de uma teoria — o grau de corroboração	346
5.3.7. À procura da verdade	354
5.3.8. Críticas a Popper	362
5.4. <u>Novas tendências em filosofia da ciência</u>	368
5.4.1. Ciência normal, ciência extraordinária e pa- radigmas — as idéias de Thomas Kuhn	369
5.4.2. Lakatos e os programas de investigação cien- tífica	382
5.4.3. O anarquismo epistemológico de Feyerabend..	396
5.4.4. A Sociologia do Conhecimento	403
5.4.5. À guisa de conclusão: a importância da ati- tude racional	410
5.5. <u>Resumo</u>	413
5.6. <u>Leituras suplementares</u>	425
5.7. <u>Notas e referências bibliográficas</u>	436

	<u>Página</u>
CAP. VI. CIÊNCIA, PSEUDOCIÊNCIA E SENSO COMUM	455
6.1. <u>A distinção entre ciência e não ciência</u>	456
6.1.1. A refutabilidade como critério para distin- guir a ciência da não ciência	457
6.1.2. Como avaliar o grau de cientificidade de um campo de conhecimento	465
6.1.3. Ciência e senso comum	472
6.1.4. Homeopatia - ciência ou pseudociência?	478
6.2. <u>Análise de uma pseudociência - a astrologia..</u>	489
6.2.1. Analogias não são justificativas.....	490
6.2.2. Incompatibilidade com a ciência e incoerên- cias	497
6.2.3. A astrologia funciona na prática?	502
6.2.4. Os testes estatísticos	505
6.2.5. Uma experiência controlada para testar a as- trologia	510
6.2.6. Conclusão	518
6.3. <u>Resumo</u>	522
6.4. <u>Leituras suplementares</u>	525
6.5. <u>Notas e referências bibliográficas</u>	529
<u>CONCLUSÃO</u>	535
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	540

LISTA DE FIGURAS

	<u>Página</u>
<u>VOLUME I</u>	
Figura 1 - A teoria do balde mental	64
Figura 2 - A teoria do holofote	68
Figura 3 - Ilusões de ótica que exemplificam a teoria do holofote	70
Figura 4 - Cruzamento entre plantas "maravilha". <u>V</u> é o fator (gene) para cor vermelha e <u>B</u> o fator para cor branca. Nas células somáticas da planta os fatores estão presentes em dose dupla. Nos gametas eles ocorrem em dose simples	100
Figura 5 - Um mesmo conjunto de dados pode ser explicado por várias leis diferentes.....	116
Figura 6 - A semelhança é uma questão de ponto de vista	128
Figura 7 - A difração de raio X (ã esquerda) forneceu uma pista para Watson e Crick elaborarem um modelo para o DNA (ã direita).	184
Figura 8 - Várias curvas satisfazem a generalização de que os metais se dilatam quando aquecidos	193
Figura 9 - A teoria cinética explica por que a pressão aumenta quando o volume do recipiente diminui	200

Figura 10 - Os fatos são percebidos por nosso sistema neurosensorial de forma parcial, inexacta e incerta	235
---	-----

VOLUME II

Figura 11 - Duas hipóteses diferentes para explicar o fato do convês do barco desaparecer antes do mastro	320
Figura 12 - Explicação de Ptolomeu para o movimento do Sol e o movimento de retrogressão dos planetas	330
Figura 13 - Explicação de Ptolomeu para o movimento de Vênus, Marte, Júpiter e Saturno (à esquerda) e para o movimento de Mercúrio (à direita)	331
Figura 14 - Como o modelo atômico de Rutherford explica as grandes deflexões, não explicadas pelo modelo de Thomson, sofridas pelas partículas alfa.....	345

RESUMO

Ensinar ciência é, acima de tudo, ensinar o método científico e desenvolver a atitude crítica do estudante. Isto significa substituir a visão da ciência como uma coleção de fatos e teorias definitivamente estabelecidos, pela visão da ciência como um conhecimento racional — por que crítico —, conjectural, provisório, sempre capaz de ser questionado e corrigido. Significa também opor à visão da ciência como uma representação completa e perfeita de fenômenos diretamente observáveis, a visão da ciência como uma reconstrução idealizada e parcial da realidade, que explica o visível pelo invisível. Nessa linha de raciocínio, devemos opor à idéia de uma observação pura e imparcial dos fatos, a idéia da observação guiada por hipóteses e teorias.

Ensinar o método científico é questionar a idéia de que descobrimos e verificamos hipóteses através de procedimentos indutivos, substituindo-a pela idéia de que inventamos conjecturas ousadas, surgidas de nossa imaginação. Essas conjecturas, contudo, deverão ser testadas o mais severamente possível, através de tentativas de refutação que façam uso de experimentos controlados. No lugar da ilusória busca de teorias verificáveis, verdadeiras — ou pelo menos cada vez mais prováveis —, devemos buscar teorias de maior refutabilidade, cada vez mais amplas, precisas, profundas, de maior grau de corroboração e, talvez, mais próximas da verdade.

Finalmente, ensinar o método científico significa também criticar cada uma das visões alternativas de ciência, propondo novos critérios para avaliar hipóteses e teorias científicas. É desnecessário dizer que estes critérios, por sua vez, devem também ser criticados, visto que a ausência de discussão crítica e a aceitação passiva e dogmática de um conjunto de idéias ou teorias é a não-ciência, a pseudociência, enfim, a negação do espírito crítico e da racionalidade do homem.

ABSTRACT

Teaching science is, above all, teaching the scientific method and developing the student's critical attitude. This means to change the idea of science as a collection of definitely established facts and theories into the view that science is rational (critical), conjectural, provisional, questionable and corrigible knowledge. The concept of science as a perfect and complete representation of directly observed phenomenon must also be corrected so that the student realizes that science is an idealized (partial) reconstruction of reality, a reconstruction that explains the visible by the invisible. In this line of thought, we must oppose to the idea of a pure and impartial observation of facts the idea of observation as guided by hypotheses and theories.

Teaching scientific method is to oppose to the idea of discovering and verifying hypotheses by inductive procedures, the idea of inventing bold conjectures, out of the scientist's imagination, and of trying to test them as severely as possible, and to refute them by controlled experiments. In the place of the false ideal of searching for verifiable, certain, ever more probable theories, we must propose the searching for ever more refutable, more widely applicable, precise, deep, corroborable and, perhaps, truthlike theories. Finally, teaching scientific method is also to criticise both these alternative views of science, proposing new criteria for theory appraisal.

And it goes without saying that these criteria, in their turn, will also be criticised, since the absence of critical discussion or the passive and dogmatic acceptance of a body of ideas, or theories, is non-science, pseudo-science, the negation of the critical spirit and of the rationality of man.

APRESENTAÇÃO

A poluição e os desequilíbrios ecológicos; a discussão em torno dos benefícios e perigos da proliferação de usinas nucleares; a manipulação de genes humanos pela engenharia genética; a necessidade de produzir mais alimentos para uma população que cresce exponencialmente; os danos causados à saúde pelo fumo, álcool e tóxicos; as origens e a evolução da vida e do Universo. Estas são apenas algumas das muitas questões que despertam nossa curiosidade e afetam diretamente nossas vidas e que, para serem adequadamente compreendidas, necessitam de algum conhecimento de ciências naturais — física, química e biologia. Em uma sociedade democrática, todos devem estar bem informados a fim de participar de decisões que afetam toda a coletividade. O ensino dessas ciências ganha assim uma importância cada vez maior na atualidade.

Mas o que é ensinar ciência? É apenas descrever fatos, enunciar leis e definir conceitos? Será que se aprende ciência resolvendo os problemas tradicionais, encontrados na maioria dos livros didáticos, através de procedimentos rotineiros explicados pelo professor? Creio que todos

concordariam que ensinar ciência é, principalmente, ensinar o método científico. Entretanto, ainda se encontra muito difundida uma concepção errônea da ciência e de seu método. A ciência é vista como um conjunto de conhecimentos definitivamente estabelecidos, que descrevem com precisão quantitativa os fatos observados. O método científico seria, segundo esta ótica, um conjunto de regras que nos permitiria ter um conhecimento infalível a respeito da realidade. Esta concepção é um dos fatores que interfere na prática dos professores de ciências naturais, levando-os a concentrar suas atividades na transmissão acrítica de informações científicas, geralmente através de aulas expositivas, ou, às vezes, na realização de algumas experiências para provar uma lei científica admitida sem contestação ou para demonstrar que determinado fenômeno realmente ocorre. Em ambos os casos, o caráter conjectural e crítico do conhecimento científico não é enfatizado.

Em consequência dessa concepção e dessa prática de ensino, o estudante passa a ver a ciência como uma construção acabada, definitiva e dogmática. Com isso, o interesse pela ciência morre. O prazer de aprender e a satisfação de resolver um problema são desencorajados. Tudo que o aluno aprende se limita a uma série de fatos desinteressantes, desconexos, isolados e que serão, bem depressa, completamente esquecidos. Pode-se perguntar também até que ponto esse tipo de ensino não contribui igualmente para uma visão desfavorável da ciência, do cientista e até mesmo da própria atitude racional!

Infelizmente, a maioria dos livros didáticos reforça esta visão, por conter pouca ou nenhuma referência ao método científico, ou então por abordá-lo erroneamente, ou de forma exageradamente sucinta. Até mesmo no nível universitário o ensino do método científico é feito de forma incompleta, concentrando-se na parte prática, em detrimento de uma reflexão crítica e de uma discussão teórica sobre seus fundamentos filosóficos. Ensina-se a construção e a análise de gráficos, técnicas de medidas, testes estatísticos e outros procedimentos rotineiros, mas não se discute convenientemente o que é uma explicação científica, o que são hipóteses, leis e teorias ou qual a diferença entre ciência e outras formas de conhecimento. Afinal, por que procuramos medir os fenômenos? A ciência começa com a observação pura e imparcial, livre de preconceitos? Pode-se comprovar definitivamente a verdade de uma teoria científica? A ciência é racional? Produz um conhecimento certo e seguro? Essas questões são extremamente importantes, uma vez que orientam, mesmo implicitamente, todo o trabalho do cientista e o próprio ensino da ciência. Sem uma idéia clara dessas questões, o ensino do método científico transforma-se em um conjunto de regras ensinadas e assimiladas de forma dogmática — justamente a antítese da atitude racional e crítica necessária para a compreensão e o progresso do conhecimento científico.

Devido à sua profundidade e à linguagem técnica empregada, as obras que tratam de filosofia da ciência ou

do estudo do método científico destinam-se principalmente à graduação em filosofia ou a determinados cursos de pós-graduação.

Este trabalho pretende contribuir para melhorar o ensino das ciências naturais, fornecendo ao professor, em linguagem clara, uma concepção atualizada das características e dos fundamentos do método científico, evitando sempre que possível termos técnicos e linguagem especializada acessível apenas àquelas professoras que já possuem um razoável conhecimento de filosofia da ciência. A preocupação com a clareza é justificada uma vez que se pretende que o professor transmita ao aluno os pontos principais desta reflexão.

Não se pretende aqui oferecer uma visão completa, detalhada e profunda da filosofia da ciência. Aqueles que se interessarem por informações mais pormenorizadas poderão consultar as obras citadas nas notas e referências bibliográficas, ou nas sugestões de leituras suplementares, ao final de cada capítulo. Também não se pretende ensinar a construir tabelas, gráficos, técnicas de mensuração, montagem de experiências e outros procedimentos práticos que normalmente — embora muitas vezes de forma mecânica e pouco crítica — são ensinados na faculdade e em alguns livros de metodologia científica. O que se quer é compreender e discutir a atividade de pesquisa científica através de uma reflexão crítica sobre o método científico, de forma a

aprimorar o ensino das ciências naturais. Minha expectativa, enfim, é que os professores pouco familiarizados com questões de filosofia da ciência possam compreender as idéias aqui expostas e aplicá-las em sala de aula.

Ao longo deste trabalho será enfatizado o caráter conjectural do conhecimento científico, visto aqui como um conhecimento criativo, crítico, provisório, apenas aproximadamente verdadeiro, sempre capaz de ser corrigido. Esta é a visão de vários filósofos contemporâneos, sobretudo de Karl Popper e Mario Bunge, cujas idéias foram de grande valia neste trabalho.

O ensino do método científico não se destina apenas a preparar futuros cientistas ou profissionais competentes. Mais do que isso, auxilia o desenvolvimento intelectual do estudante, facilitando a análise e a resolução de problemas e estimulando seu espírito crítico. Permite também que o aluno valorize a ciência, não apenas por seu rigor crítico, mas também por seu lado criativo, pela capacidade intuitiva e pela riqueza de imaginação utilizadas na elaboração das hipóteses, leis e teorias científicas. A ciência pode e deve ser vista como uma fascinante aventura do homem na busca das leis da natureza.

Quero agradecer aqui ao meu orientador, Prof. Sérgio Luiz de Castilho Fernandes, pelas valiosas sugestões, críticas e discussões estimulantes sobre teoria do conhecimento e filosofia da ciência; aos professores Sérgio La

marão e José Gualda Dantas, pela revisão do texto; a Cláudia Queiroz, pelos desenhos; a Paulo Roberto dos Santos, pela datilografia; e a todos os professores que colaboraram com seus comentários após a leitura do texto ou em conversas informais.

CAPÍTULO I

UMA VISÃO GERAL DA CIÊNCIA E DO MÉTODO CIENTÍFICO

"Não sei como o mundo me vê; mas eu me sinto somente como um garoto brincando na praia, contente em achar aqui e ali uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita do que o comum, tendo sempre diante de mim, ainda por descobrir, o grande oceano da verdade."

Isaac Newton

Quando comecei a ensinar biologia, decidi começar meu curso com o estudo da célula. Logo percebi, porém, que, se quisesse dar um bom curso, teria de interpretar algumas características da célula em termos evolutivos. Consequentemente, teria de ensinar primeiro evolução. Mas como se pode compreender bem evolução sem conhecer pelo menos alguns princípios de genética? E como entender o que é um gene sem estudar seu funcionamento dentro da célula? Após pensar um pouco, escolhi uma estratégia para romper este círculo vicioso: sem me importar com a ordem, expliquei de forma superficial apenas os pontos básicos de cada assunto, valendo-me de comparações sempre que a compreen

são do mecanismo real de um processo exigisse conceitos ainda não vistos. Depois dessa rápida exposição, comecei a ensinar tudo de novo, agora de forma mais profunda. Aos poucos, as partes foram se encaixando e as dúvidas se esclarecendo. Apesar disso, ao final do curso, não apenas algumas velhas questões continuavam sem respostas, como um número ainda maior de novas questões tinha surgido. Talvez esta situação se repita com todos os professores. Talvez se repita agora, neste trabalho. Talvez este fenômeno seja inevitável e inerente à natureza de qualquer conhecimento conjectural sobre a realidade, como é o conhecimento científico.

Neste capítulo são discutidos, de forma superficial, os traços gerais da ciência e do método científico. Ao longo dos capítulos seguintes, será feita uma discussão mais detalhada dos assuntos aqui tratados. Espero que, ao final deste trabalho, a natureza da ciência e de seu método possam ser compreendidos mais profundamente, e que novas dúvidas e novas questões passem a incomodar o leitor.

1.1. O que é ciência?

Esta é uma pergunta que o professor poderia fazer logo no primeiro dia de aula, para alunos que estão ingressando no segundo grau. Mesmo já tendo estudado um pouco de ciências naturais, é provável que a maioria fique em silêncio. Talvez uns poucos arrisquem: "ciência é matemá

tica", "ciência é física", e assim por diante. Mas o professor poderá lhes perguntar de volta, por que eles consideram essas matérias como ciências, ou seja, que características elas possuem em comum.

Talvez ninguém responda, e alguns já comecem a se sentir um pouco irritados com tanta insistência. Desconfio que, no íntimo, muitos estarão pensando que ciência é algo misterioso, feito por cientistas — indivíduos muito inteligentes, embora às vezes meio malucos — que estudam muito e, principalmente, que estudam coisas que não têm nada a ver com o dia-a-dia das pessoas comuns mas que eles, alunos, terão de estudar também para poder passar de ano. Mas o que é, realmente, ciência?

1.1.1. Uma tentativa de conhecer o mundo

O homem é um animal curioso e inteligente, que tem necessidade de explorar seu ambiente, resolver problemas, explicar fenômenos. Ele tem uma sede de saber, de compreender o universo e a si próprio. Como disse o poeta Walt Whitman, para o homem, "penetrar no âmago das coisas, mesmo uma coisa pequena como uma folha de capim, é experimentar uma espécie de satisfação". A ciência é uma forma de conhecer o mundo, de tentar saber cada vez mais, de desvendar os mistérios da natureza. Não é o único caminho para tentarmos captar a realidade e se, por um lado, podemos estabelecer alguns critérios para distinguir a ciência da filosofia ou do conhecimento prático utilizado em nosso

dia-a-dia — o chamado senso comum —, por outro lado, há também muito em comum entre essas diversas formas de tentar compreender o mundo. Houve épocas, como na Antiguidade clássica, nas quais elas não estavam separadas.

Talvez a maneira mais sucinta de caracterizar o conhecimento científico seja dizer simplesmente que esta forma de conhecimento é obtida através de uma série de procedimentos seguidos pelos cientistas ao investigarem a natureza. Assim, o que melhor caracteriza o conhecimento científico não é o que ele estuda, mas como estuda¹. A ciência poderia, pelo menos em princípio, estudar qualquer coisa: a estrutura do átomo, a origem do universo, a evolução da pata do cavalo, as causas do preconceito racial, a estrutura do nosso cérebro, o processo pelo qual aprendemos uma língua, etc. Assim, não é o objeto de estudo que importa, mas a forma, o método pelo qual estudamos este objeto.

Apesar disso, pode-se discutir se há uma unidade de método nas diversas ciências. A matemática e a lógica, como veremos depois, possuem certas características próprias, diferentes das demais ciências. Também é discutível se as ciências humanas ou sociais, como a sociologia ou a psicologia, valem-se do mesmo método que as ciências naturais, como a física, a química e a biologia. Parece mais ou menos estabelecido, porém, que todas estas últimas adotam o mesmo método, embora possam lançar mão de técnicas diferentes.

1.1.2. As características gerais do método científico

Um método pode ser definido como uma série de regras para tentar resolver um problema. No caso do método científico, estas regras são bem gerais. Não são infalíveis e não suprem o apelo à imaginação e à intuição do cientista. Assim, mesmo que não haja um método lógico para conceber idéias novas, descobrir problemas ou imaginar hipóteses (estas atividades dependem da criatividade do cientista), há um método para testar criticamente e selecionar as melhores hipóteses e teorias e é neste sentido que podemos dizer que há um método científico.

Uma das características básicas do método científico é a tentativa de resolver problemas por meio de suposições, isto é, de hipóteses, que possam ser testadas através de observações ou experiências. Uma hipótese contém previsões sobre o que deverá acontecer em determinadas condições. Se o cientista fizer uma experiência, e obtiver os resultados previstos pela hipótese, esta será aceita, pelo menos provisoriamente. Se os resultados forem contrários aos previstos, ela será considerada falsa, e outra hipótese terá que ser buscada.

Assim, quando alguém arrisca um palpite para explicar um fato ou resolver um problema e, depois, realiza observações ou experiências para testar o palpite, estará utilizando um método parecido com o método científico.

1.1.3. O médico como um cientista

A série de procedimentos usados por um médico para diagnosticar e tratar de uma doença também é muito semelhante ao método científico.

Suponhamos que Cláudia, uma menina de oito anos, seja levada ao médico com dor de garganta, febre e dificuldade de engolir. O médico constata, imediatamente, que há uma doença, mas ainda não sabe sua causa: ele percebe que há um problema a ser resolvido. Provavelmente, devido a seus estudos e sua prática, ele imagina rapidamente uma explicação para a doença. Neste caso, a criança talvez esteja com uma infecção na garganta. Desse modo, ele formula uma hipótese para resolver o problema. Passa então a procurar outros sinais de infecção: observa a garganta da criança, mede sua temperatura, talvez mande examinar em laboratório o material recolhido da garganta da menina, etc.

Se a criança realmente estiver com uma infecção, sua garganta estará inflamada, o termômetro deverá indicar febre e o exame de laboratório acusará a presença de germes causadores da doença. O médico estará então realizando observações e experiências para testar sua hipótese. Finalmente, ele analisa os resultados dos testes para chegar a uma conclusão. Os exames poderão indicar ou não a presença de uma infecção. Caso a hipótese de infecção se confirme, ela será aceita, pelo menos provisoriamente, e o médico receitará os medicamentos adequados para combater

a doença. Se os testes não indicarem infecção, outras hipóteses terão de ser testadas ou talvez alguns testes tenham de ser refeitos. Desse modo, a hipótese poderá ser confirmada ou refutada pela experiência.

É importante compreender que, mesmo que os testes aparentemente confirmem a presença de uma infecção, outras observações ou experiências, como por exemplo a evolução do doente, podem lançar dúvidas sobre o diagnóstico ou sobre os resultados de alguns testes. Mas, e isto é importante na investigação científica, todos estes procedimentos podem ser revistos, iniciando-se então um novo ciclo de investigações. Esta é, na realidade, uma das principais características do conhecimento científico: ele é autocorretivo, capaz de colocar sempre em dúvida antigas "verdades" quando encontra provas mais adequadas, corrigindo-se, progredindo, aperfeiçoando-se.

1.2. As etapas do método científico

Como vimos, do mesmo modo que o cientista, o médico tentou resolver um problema através de uma série de etapas. Estas etapas — que formam, em seu conjunto, aquilo que chamamos de método científico — serão examinadas agora mais de perto.

1.2.1. A atividade científica desenvolve-se a partir de problemas

Ainda é comum a crença de que a atividade cientí-

fica começa com uma coleta de dados ou observações puras, sem idéias preconcebidas por parte do cientista. Bem, se realmente o médico do nosso exemplo levasse esta exigência às últimas consequências, deveria observar a cor da roupa do paciente, contar quantos fios de cabelo ele tem, perguntar o nome de todos os seus parentes e assim por diante. Basta pensarmos um pouco para percebermos que o número de observações possíveis é praticamente infinito e, devido à inexistência de critérios que orientem suas observações, ele jamais terminaria a coleta de dados. Procedimentos como o de observar a cor da roupa do paciente parecem hoje claramente absurdos, porque já temos, de antemão, certas idéias, mesmo vagas, a respeito das causas possíveis ou dos fatores relevantes que influem em certas doenças. No entanto, a história da ciência e das crenças e superstições a respeito da origem e tratamento da doença demonstra que idéias tidas hoje como absurdas foram adotadas em outros tempos.

Na realidade, qualquer observação pressupõe um critério para escolher, entre as observações possíveis, aquelas que supostamente sejam relevantes para o problema em questão. Isto quer dizer que a observação, a coleta de dados e as experiências são feitas de acordo com determinados interesses e segundo certas expectativas ou idéias preconcebidas. Estas idéias e interesses correspondem em ciência às hipóteses e teorias que orientam a observação e os testes a serem realizados. No nosso exemplo, a hipótese de infecção serviu como um guia para a atividade do

médico, sugerindo uma série de observações e exames a serem feitos. Além disso, o médico também utilizou, mesmo sem se dar conta, uma série de teorias a respeito de doenças, causas de infecção, efeitos de germes patogênicos no organismo humano e até mesmo teorias fora da área médica. O termômetro, por exemplo, foi construído segundo as leis da dilatação dos corpos, da física. Portanto, a chamada "observação pura" simplesmente não existe.

A ciência não começa com observações nem se reduz a um mero acúmulo de dados. Por mais conhecimentos que possamos ter a respeito dos fatos, eles não são suficientes para deflagrar a atividade científica. É necessário também que haja um problema que desperte nossa atenção e curiosidade. Como se costuma dizer, "só sentimos o sapato quando ele aperta". Ao observar e escutar um paciente, o médico já está com a expectativa de encontrar um problema. Por isso, tanto na ciência como nas atividades do dia-a-dia, nossa atenção, curiosidade e raciocínio são estimulados quando algo não ocorre de acordo com nossas expectativas, quando não sabemos explicar um fenômeno, ou quando as explicações tradicionais não funcionam, ou seja, quando nos defrontamos com um problema.

Um bom cientista é capaz de detectar problemas em acontecimentos considerados perfeitamente naturais para a maioria das pessoas. Todos nós ficaríamos espantados se uma gata desse à luz uma ninhada de cachorrinhos, e curiosos de ter uma explicação para o fato. Entretanto, consi

deramos natural que gatos dêem sempre à luz gatinhos — e não cães. Mas isso também nos deveria intrigar! Por que sempre gatinhos? Aliás, por que os filhos são parecidos com os pais? As perguntas que um cientista pode fazer não têm fim: Por que os corpos caem? por que um lápis mergulhado parcialmente dentro da água parece quebrado? Por que o ferro enferruja?

Embora a ciência possa ser usada para responder muitas das perguntas que fazemos em nosso dia-a-dia, o conhecimento científico ampliou-se de tal maneira e tornou-se tão especializado, que os problemas que preocupam os cientistas costumam surgir dentro da própria ciência, mais exatamente dentro de sistemas de conceitos, leis e hipóteses, chamados teorias científicas, como veremos adiante.

1.2.2. As hipóteses científicas devem ser passíveis de teste

Hipóteses são conjecturas, palpites, soluções provisórias, que tentam resolver um problema ou explicar um fato. Entretanto, o mesmo fato pode ser explicado por várias hipóteses ou teorias diferentes. Do mesmo modo como há um sem-número de explicações para uma simples dor de cabeça, por exemplo, a história da ciência nos mostra como os fatos foram explicados de formas diferentes ao longo do tempo. A teoria da evolução de Lamarck, a hipótese de que a substância química formadora do gene era uma proteína, a teoria do flogisto para explicar a transmissão do

calor, ou a hipótese geocêntrica de que o sol gira em torno da Terra são apenas algumas de muitas hipóteses e teorias que foram refutadas e substituídas por outras.

Em ciência, temos de admitir, sempre, que podemos estar errados em nossos palpites. Por isso, é fundamental que as hipóteses científicas sejam testadas experimentalmente.

Uma hipótese somente será considerada científica se for possível imaginar em que condições a hipótese ou previsões deduzidas desta hipótese poderiam confrontar-se com observações ou experimentos. Explicações do tipo "há um pequeno anãozinho, que não pode ser percebido nem por nossos órgãos dos sentidos, nem por nossos aparelhos de medida, movendo as moléculas de um gás" não podem ser testadas e, por isso, não são científicas. Isto não quer dizer que elas sejam necessariamente falsas, sem significado ou sem importância. Várias hipóteses de ordem filosófica orientam o trabalho do cientista. Algumas — como o atomismo grego — que afirmam que a matéria seria composta de partículas muito pequenas e indivisíveis, embora não pudessem ser testadas na época, anteciparam e sugeriram teorias científicas importantes; no caso, a teoria atômica.

A partir das hipóteses, o cientista deduz uma série de conclusões ou previsões que serão testadas: se esta criança está com uma infecção, pensa o médico, então ela estará com febre. Além disso, exames de laboratório podem

indicar a presença de bactérias. Eis aí duas previsões, feitas a partir da hipótese inicial, que podem ser testadas. Se os resultados dos testes forem positivos, eles irão fortalecer a hipótese de infecção. Mas será que uma hipótese pode ser provada experimentalmente?

Neste ponto devemos tomar muito cuidado. Embora os fatos possam apoiar uma hipótese, torna-se bastante problemático afirmar de forma conclusiva que ela é verdadeira. A qualquer momento podemos descobrir novos fatos que entrem em conflito com a hipótese. Além disso, mesmo hipóteses falsas podem dar origem a previsões verdadeiras. A hipótese de infecção, por exemplo, prevê febre, que é confirmada pela leitura no termômetro. Mas, outras causas também podem ter provocado a febre. Por isso, as hipóteses confirmadas experimentalmente são aceitas sempre com alguma reserva pelos cientistas: futuramente elas poderão ser refutadas por novas experiências.

Estas conclusões são enfaticamente defendidas pelo filósofo Karl Popper. Para ele, as hipóteses de caráter geral, como as leis científicas, jamais podem ser comprovadas ou verificadas. É fácil compreender esta posição partindo de uma generalização bem simples, como "todos os cisnes são brancos". Por maior que seja o número de cisnes observados, não podemos demonstrar que o próximo cisne a ser observado será branco.

Nossas observações nos autorizam a afirmar apenas que todos os cisnes observados até o momento são brancos.

Mesmo que acreditemos que todos o são, não conseguiremos prová-lo, e podemos perfeitamente estar enganados, como, aliás, é o caso — há cisnes negros na Austrália.

Pode parecer que a sombra do ceticismo — nome da doutrina segundo a qual o conhecimento é impossível — começa a cobrir o conhecimento científico. Entretanto, uma única observação de um cisne negro pode, logicamente, refutar a hipótese de que todos os cisnes são brancos. Assim, embora as generalizações científicas não possam ser comprovadas, elas podem ser refutadas, ou para ser mais exato, elas são "potencialmente falseáveis".

Para Popper, a melhor estratégia que um cientista deve seguir não é a de tentar comprovar uma hipótese. Ao contrário, ele deve pensar sempre em realizar testes severos, visando refutá-la. Quando uma hipótese passar com êxito por estes testes, isto é, quando resistir à refutação, será considerada, pelo menos provisoriamente, como uma explicação adequada dos fatos, e pode até mesmo ser aceita, ou adotada para fins práticos, ganhando inclusive o estatuto de uma lei científica. Entretanto, não podemos esquecer que qualquer hipótese — e mesmo as leis e teorias — pode a qualquer momento ser refutada por novos testes, e substituída por outra hipótese que explique melhor os fatos.

O critério de refutabilidade é utilizado por Popper para separar a ciência de outras formas de conhecimento. Hipóteses para as quais não possamos imaginar al-

guma experiência capaz de refutá-las não fazem parte da ciência. As hipóteses e teorias científicas se arriscam a ser refutadas. Elas não somente afirmam que, dadas certas condições, ocorrerão certos fenômenos, mas também "proíbem" a ocorrência de outros fenômenos. A lei da reflexão da luz afirma que o ângulo de reflexão de um raio luminoso em um espelho plano será igual ao ângulo de incidência. Isso quer dizer que, se esta lei for verdadeira, nenhum raio refletido nessas condições seguirá outro trajeto diferente do previsto pela lei. A teoria da relatividade de Einstein levava à conclusão de que a luz deveria ser atraída por grandes massas gravitacionais. A ausência de desvios luminosos ou então a repulsão em vez de atração da luz refutaria sua previsão.

Popper critica certas tentativas de manipulação de hipóteses que procuram colocá-las a salvo de qualquer refutação, reformulando-as de modo que elas possam sempre resistir a qualquer teste. As hipóteses ficam imunizadas contra a refutação, sendo confirmadas por praticamente qualquer observação ou experiência. Essas hipóteses são desprovidas de interesse científico, porque nada proíbem, ou então proíbem muito pouco. Por isso, elas não nos fornecem nenhuma informação sobre a realidade, uma vez que são compatíveis com qualquer acontecimento.

Um dos modos de tornar uma hipótese irrefutável consiste em formulá-la de modo que dela só se possam extrair previsões vagas. Muitas profecias feitas por viden

tes e astrólogos situam-se neste caso. Alguns afirmam, por exemplo, que um político importante vai morrer no ano seguinte. Um rápido exame revela que todos os anos morre algum político importante. Além disso, o termo "importante" é suficientemente elástico para englobar um número imenso de políticos, o que aumenta mais ainda a chance de a previsão se realizar, diminuindo as chances de refutação. Assim, a hipótese de que o astrólogo ou vidente tem realmente o poder de prever o futuro é sempre "confirmada" pelo acerto de sua previsão. Entretanto, mesmo que esta hipótese fosse falsa a previsão também se confirmaria, simplesmente porque ela é suficientemente vaga para se acomodar a um número muito grande de ocorrências.

A preocupação da ciência com a clareza e a precisão das hipóteses e das previsões, procurando, se possível, formulá-las em termos matemáticos, aumenta sua refutabilidade. Leis do tipo "a velocidade de um corpo em queda livre aumenta proporcionalmente ao tempo de queda" (lei da queda livre de Galileu) poderiam ser facilmente refutadas por certas medições. Afirmações precisas deste tipo arriscam-se muito mais a serem refutadas do que afirmações vagas como a do vidente. Se este realmente quisesse arriscar, deveria fazer previsões do tipo: "o senhor X vai sofrer um acidente de carro na próxima semana". Ou então poderia prever resultados de loteria — e ganhar dinheiro com isso!

1.2.3. A experiência científica deve ser controlada

Às vezes, para que certas hipóteses científicas sejam testadas, temos de esperar que certos fenômenos ocorram e realizar então observações. A previsão de Einstein, mencionada acima, de que um raio de luz é desviado por um campo gravitacional intenso, teve de esperar alguns anos até que um eclipse proporcionasse as condições ideais de observação. Entretanto, embora às vezes não haja outra alternativa, o cientista não espera passivamente que certas condições aconteçam naturalmente para testar uma previsão. Sempre que possível, ele cria as condições para que isto ocorra. Assim, o cientista toma parte ativa na elaboração de uma experiência científica. Ele manipula certas condições de acordo com regras que aumentam o rigor dos testes e conferem maior credibilidade aos resultados. Desse modo, as chances de refutação aumentam, permitindo que as hipóteses sejam corrigidas e aperfeiçoadas ao longo do tempo.

Suponhamos que se quisesse testar a seguinte hipótese: "a falta de determinada vitamina provoca uma doença em ratos". Um cientista procederia da seguinte forma: colocaria vários ratos numa gaiola, alimentando-os com uma dieta completa, que incluísse necessariamente essa vitamina; em outra gaiola colocaria o mesmo número de ratos, os quais receberiam uma dieta que não incluísse a vitamina em estudo. Após algum tempo, ele observaria as alterações que porventura tivessem surgido nos ratos que não receberam a vitamina, confrontando-os com os do outro grupo.

Esse tipo de experiência é chamada experiência controlada, pois os ratos que receberam a dieta completa funcionam como grupo de controle e servem para comparação. Em outras palavras, as doenças que aparecerem no grupo que está sendo testado podem, provavelmente, ser atribuídas exclusivamente à falta de vitamina. Por isso, é importante que sejam ratos da mesma espécie e da mesma idade, colocados nas mesmas condições ambientais, para que a doença não possa ser atribuída a outro fator que não a falta de vitamina na dieta. É importante também analisar uma variável de cada vez (no caso, apenas a falta de uma vitamina) e usar grupos, e não somente indivíduos, para evitar generalizações a partir de fatos isolados.

A falta de experiência controlada leva facilmente a conclusões falsas. Imaginemos que uma pessoa fica gripada e toma um medicamento contra a gripe anunciado no rãdio ou na televisão. Ela se sente melhor e, dias depois, os sintomas da doença desaparecem por completo. A pessoa conclui então que o remédio curou-a da gripe. Esta conclusão, entretanto, pode perfeitamente ser falsa. Como saber se o medicamento foi realmente o responsável pela cura? A doença pode ter regredido devido à ação das defesas naturais do organismo e não por causa do remédio. Esta conclusão teria inclusive o apoio dos mêdicos, para os quais esses produtos apenas diminuem os incômodos causados pela gripe sem agir efetivamente na causa da doença (provocada por um tipo de vírus e uma baixa nas defesas do organismo). Normalmente a gripe desaparece após alguns dias, mes

mo sem qualquer medicamento.

Para testar realmente a eficácia do remédio, ele teria de ser ministrado a um grande número de pessoas gri padas e os resultados seriam comparados com um grupo de pessoas que não o tenha tomado. Este segundo grupo recebe ria um placebo, isto é, uma pílula ou preparado que, embo ra semelhante ao remédio, não conteria o medicamento em questão, nem produziria nenhum efeito importante no orga nismo. Os componentes de ambos os grupos não seriam infor mados se estavam ou não tomando o remédio verdadeiro. Is to impediria uma melhora apenas por sugestão psicológica, uma vez que algumas pessoas podem realmente se sentir melhor se o medicamento for apresentado como uma droga eficaz, mesmo que não o seja. Além disso, como a pessoa que fornece o remédio poderia, inconscientemente, passar algu ma influência a quem o recebe, ela também não deveria dis tinguir o medicamento ativo, do placebo. Neste tipo de ex perimento, chamado duplo cego, os remédios são numerados e somente uma outra equipe de pesquisadores, não envolvida na aplicação do medicamento, pode fazer a identificação.

Se um número significativamente maior de indiví duos do grupo que realmente tomou o remédio ficar curado, haverá motivos para supor que o medicamento seja eficaz. Para saber se este número é significativo, são usados tes tes estatísticos, pois a diferença entre os dois grupos pode ser devida ao acaso.

Como vemos, o cientista não se limita a testar

suas hipóteses por simples observação, mas interfere ativamente na experiência científica, procurando controlar as variáveis ou torná-la mais precisa, medindo seus resultados. Além disso, uma experiência científica deve, em princípio, ser passível de repetição, de modo que outros cientistas possam sempre testar novamente a hipótese.

1.2.4. O método científico utiliza leis para explicar os fatos

O sol nasce todos os dias. Após a primavera, vem o verão. Objetos soltos caem com aceleração constante, se for desprezada a resistência do ar. Gatos dão sempre à luz gatinhos. Como se pode ver, há uma ordem na natureza e cabe ao cientista tentar descobrir e estudar estas regularidades, enunciando-as na forma de leis e utilizando estas leis para explicar e prever novos fatos.

O médico do nosso exemplo valeu-se, igualmente, de leis gerais, para concluir que a criança estava com infecção. Mesmo sem mencioná-las, ele acredita, por exemplo, que, quando nosso organismo é invadido por certos micróbios, há probabilidade de ocorrer uma infecção. Mas ele não utiliza apenas esta e outras leis da biologia: o termômetro empregado para medir a temperatura da criança foi construído segundo uma lei da física que relaciona a dilatação do mercúrio com a temperatura — a lei da dilatação linear dos corpos.

De uma forma simplificada, pode-se dizer que as

leis são hipóteses gerais que foram testadas e receberam apoio experimental e que pretendem descrever relações ou regularidades encontradas em certos grupos de fenômenos. O caráter geral de uma lei pode ser ilustrado por alguns exemplos. A lei da queda livre de Galileu (a velocidade de um corpo em queda livre cresce proporcionalmente ao tempo) vale para qualquer corpo caindo nas proximidades da superfície terrestre e permite prever a velocidade e o espaço percorrido por este corpo após certo tempo. A primeira lei de Mendel explica por que duas plantas de ervilhas amarelas, cruzadas entre si, podem produzir plantas de ervilhas verdes. Mas esta lei não vale apenas para a cor de ervilhas. Ela funciona para diversas outras características e para diversos outros seres vivos, permitindo previsões inclusive para certas características humanas. A lei da conservação da matéria (numa reação química a massa é conservada) indica que em qualquer reação química a massa dos produtos tem de ser igual à massa das substâncias que reagiram. A lei da reflexão afirma que, sempre que um raio de luz (qualquer um) se refletir numa superfície plana (qualquer superfície plana), o ângulo de reflexão será igual ao de incidência.

As explicações e as previsões científicas utilizam leis gerais combinadas a condições iniciais, que são as circunstâncias particulares que acompanham os fatos a serem explicados. Suponhamos que um peso de dez quilos é pendurado em um fio de cobre de um milímetro de espessura: o fio se rompe. A explicação para seu rompimento uti

liza uma lei que permite calcular a resistência de qualquer fio em função do material e da espessura. As condições iniciais são o peso (dez quilos), a espessura do fio (um milímetro) e o material de que ele é formado (cobre). Para outros tipos de fenômenos, como o movimento das moléculas de um gás, as proporções relativas das características hereditárias surgidas nos cruzamentos ou a desintegração radioativa, utilizamos leis probabilísticas. De qualquer modo, há sempre a necessidade de se buscar leis para explicar os fatos. A ciência não consiste em um mero acúmulo de dados, mas sim numa busca da ordem presente na natureza.

1.2.5. A busca de explicações amplas e profundas — as teorias científicas

A ciência não é um conjunto de leis isoladas, mas sim uma reunião de leis, hipóteses, conceitos e definições interligados e coerentes, formando teorias científicas. As teorias têm um caráter explicativo ainda mais geral que as leis. A teoria da evolução, por exemplo, explica a adaptação individual, a formação de novas espécies, a seqüência de fósseis, a semelhança entre espécies aparentadas, e vale para todos os seres vivos do planeta. A mecânica newtoniana explica não apenas o movimento dos planetas em torno do Sol, ou de qualquer outra estrela, mas também a formação das marés, a queda dos corpos na superfície da Terra, as órbitas de satélites e foguetes espaciais, etc.

O grande poder de previsão das teorias científicas pode ser exemplificado pela história da descoberta do planeta Netuno. Observou-se que as irregularidades da órbita de Urano não podiam ser explicadas apenas pela atração exercida pelos outros planetas conhecidos. Levantou-se então a hipótese de que haveria um outro planeta ainda não observado, responsável por essas irregularidades. Utilizando a teoria da gravitação de Newton, o matemático U.J.J. Leverrier calculou a massa, a distância e outras características do suposto planeta. Um mês depois da comunicação de seu trabalho, um planeta com aquelas características — Netuno — foi descoberto pelo telescópio a apenas um grau da posição prevista por Leverrier. Um processo semelhante aconteceu muitos anos depois, com a descoberta do planeta Plutão.

Vemos assim que a ciência não se contenta em formular generalizações como a lei da queda livre de Galileu, que se limita a descrever um fenômeno, mas procura incorporar estas generalizações a teorias de forma que aquelas possam ser deduzidas e explicadas a partir da teoria. Assim, as leis de Galileu podem ser deduzidas da teoria mecânica de Newton, as leis de Charles e de Boyle - Mariotte (que relacionam o volume dos gases com a pressão e a temperatura) podem ser formuladas com base na teoria cinética dos gases. A partir das teorias é possível inclusive deduzir novas leis a serem testadas. Além disso, enquanto as leis muitas vezes apenas descrevem uma regularidade, as teorias científicas procuram explicar estas regularidades,

sugerindo um mecanismo oculto por trás dos fenômenos e apelando inclusive para entidades que não podem ser observadas. É esse o caso da teoria cinética dos gases, que propõe um modelo para a estrutura do gás (partículas muito pequenas, movendo-se ao acaso, etc.).

Apesar de todo o êxito que uma teoria possa ter em explicar a realidade, é importante reconhecer que ela é sempre conjectural, sendo passível de correção e aperfeiçoamento, podendo ser substituída por outra teoria que explique melhor os fatos. Foi isto que ocorreu com a mecânica de Laplace — que procurava explicar os fenômenos físicos através de forças centrais atuando sobre partículas —, com a teoria de Lamarck da evolução, com a teoria do calórico, etc. Mesmo a teoria de Darwin, embora superior à de Lamarck, continha sérias lacunas e somente a moderna teoria da evolução — o neodarwinismo — conseguiu explicar satisfatoriamente (através de mutações) o aparecimento de novidades genéticas. Enfim, a história da ciência contém um grande número de exemplos de teorias abandonadas e substituídas por outras.

As novas teorias devem ser capazes não só de dar conta dos fenômenos explicados pela teoria antiga, como também de explicar fatos novos. Assim, a teoria da relatividade é capaz de explicar todos os fenômenos explicados pela teoria newtoniana, e ainda fenômenos que a teoria newtoniana revelou-se incapaz de explicar, como as irregularidades do planeta Mercúrio e as variações de massa em

partículas que se movem a velocidades próximas à da luz. Entretanto, suas previsões continuam válidas dentro de certos limites. Quando trabalhamos com velocidades pequenas comparadas com a da luz, por exemplo, a diferença entre os cálculos feitos com as duas teorias é muito pequena, difícil de medir, podendo ser desprezada na prática. Como os cálculos na mecânica newtoniana são mais fáceis e rápidos de serem feitos, a teoria continua tendo aplicações na engenharia civil, no lançamento de foguetes e satélites, etc.

Uma teoria científica refere-se a objetos e mecanismos ocultos e desconhecidos. Na realidade, não sabemos como é realmente um elétron, mas construímos, idealizamos, enfim, "modelamos" um elétron, sendo o modelo uma representação simplificada e hipotética de algo que supomos real. Uma das contribuições de Galileu ao método científico foi justamente ter construído modelos idealizados e simplificados da realidade, como é o caso do conceito de pêndulo ideal, no qual as dimensões do corpo, a massa do fio e a resistência do ar são considerados desprezíveis. A construção de modelos simplificados e idealizados torna mais fácil a análise e a aplicação de leis gerais e matemáticas, fundamentais nas ciências naturais. Já que um modelo permite predições e supostamente representa algo real, podemos realizar experimentos para testar sua validade. Deste modo, podemos aos poucos corrigir o modelo e torná-lo mais complexo, de forma a aproximá-lo cada vez mais da realidade. Foi isso que ocorreu, por exemplo, com os

diversos modelos de átomo propostos ao longo da história da ciência.

Assim, a ciência progride, formulando teorias cada vez mais amplas e profundas, capazes de explicar uma maior variedade de fenômenos. Entretanto, mesmo as teorias mais recentes devem ser encaradas como explicações apenas parciais e hipotéticas da realidade.

1.3. A divisão e a classificação das ciências

Embora aqui sejam discutidas apenas as questões referentes ao método científico e à forma como ele é utilizado em ciências naturais, penso ser importante uma rápida exposição das diferenças e das relações entre estas ciências, as ciências formais (lógica e matemática) e as sociais.

1.3.1. Por que classificar?

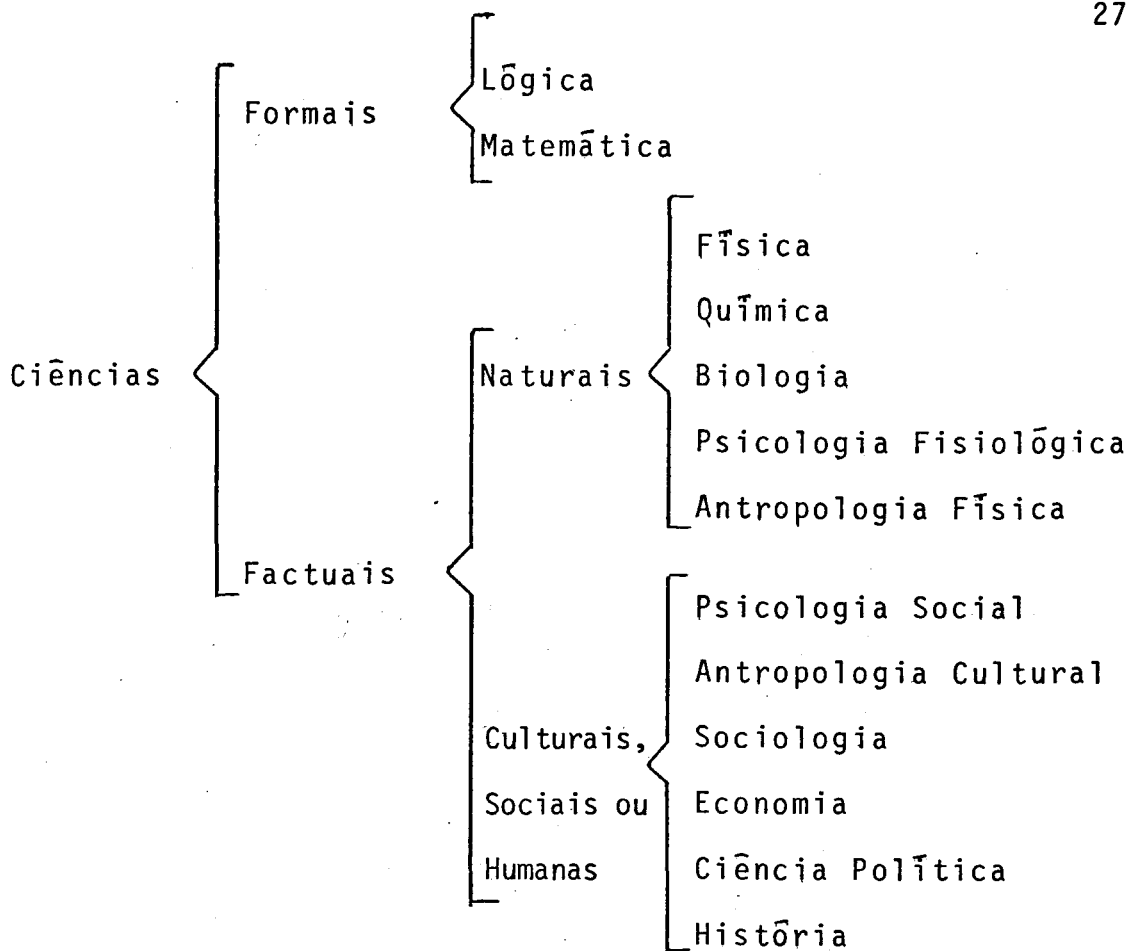
Da origem e estrutura do universo às características das partículas subatômicas; da vida de uma bactéria ao funcionamento do complexo sistema que é o cérebro humano; das relações entre os membros de uma colônia de corais às influências do sistema sócio-político na vida de uma nação, tudo pode ser objeto de estudo da ciência. A ciência estuda desde objetos menores que 10^{-12} cm (o tamanho do núcleo do átomo) a objetos da ordem de 10^{27} cm (o raio do universo conhecido), passando pelos mais variados níveis de organização e complexidade e acumulando um volu

me de conhecimento que vai muito além da capacidade de apreensão de um único indivíduo.

A divisão da ciência em ciências ou disciplinas se, por um lado, permite que um cientista possa se especializar em determinado assunto e contribuir para o crescimento de um determinado ramo da ciência, por outro lado torna difícil uma visão de conjunto, importante para o progresso científico. O resultado é que hoje a ciência é uma atividade de equipe, em que cada pesquisador conhece muito sobre uma área muito pequena. Como se costuma dizer, um especialista é aquele indivíduo que conhece cada vez mais sobre cada vez menos, e suas pesquisas, não raro fruto do trabalho de toda uma vida, acrescentam apenas um pequeno tijolo à vasta e complicada construção do conhecimento científico.

Quando separamos e classificamos uma coleção de selos ou os livros de uma biblioteca, pressupomos que haja diferenças e semelhanças entre os objetos classificados. Do mesmo modo, a classificação das ciências pressupõe diferenças e semelhanças entre elas.

Observemos a classificação seguinte, elaborada a partir de uma classificação feita por Bunge².



A maioria dos filósofos da ciência admite que as disciplinas reunidas sob o nome de ciências naturais valham-se de um mesmo método geral de pesquisa, embora cada uma delas utilize técnicas e instrumentos particulares e tenha diferentes objetos de estudo. Entretanto, ainda é muito discutido se a divisão entre ciências naturais e ciências culturais (também chamadas ciências sociais ou humanas) deve-se apenas às diferenças no objeto de estudo ou se há igualmente diferenças em relação ao método utilizado.

Outra questão que se coloca é saber por que a lógica e a matemática estão colocadas em um grupo à parte, separadas de todas as outras ciências. Para responder a

esta pergunta, vamos analisar de forma bastante sucinta a natureza dos objetos estudados por essas ciências e seus métodos de pesquisa. Antes, porém, devemos estabelecer a diferença entre os conceitos de verdade e validade.

1.3.2. A diferença entre verdade e validade

O que é verdade? Não é necessário que sejamos filósofos para ficarmos perplexos diante de uma questão como essa. Há várias teorias filosóficas que procuram explicar o conceito de verdade, mas ainda hoje a questão provoca muitas discussões. Vou utilizar aqui apenas uma idéia intuitiva de verdade, que pode ser expressa da seguinte maneira: dizer que um enunciado é verdadeiro é dizer que ele corresponde aos fatos. Assim, o enunciado "o fumo causa câncer de pulmão" é verdadeiro se o fumo realmente causar câncer de pulmão³. Para Popper, é este conceito de verdade que usamos na linguagem comum. Combatendo o conceito de verdade como mera coerência entre crenças ou como um conceito pragmático (uma crença é verdadeira quando é útil), Popper diz:

"um juiz que adverte uma testemunha a falar a verdade e nada mais do que a verdade, não adverte a testemunha a falar o que pensa ser útil para si mesma ou para qualquer outra pessoa(...) [Ele] não diz: 'Tudo o que lhe exigimos é que não se envolva em contradições'; coisa que diria se acreditasse na teoria da coerência. Mas não é isto o que o juiz exige da testemunha. Em outras palavras, o sentido comum da 'verdade' como é usado nos tribunais de justiça, é sem dúvida a correspondência"⁴.

Para vários filósofos, não devemos confundir a de

finição de verdade com um critério de verdade. Se perguntarmos como sabemos se realmente o fumo causa câncer de pulmão, estamos pedindo não mais uma definição de verdade, mas sim um critério de verdade, isto é, algum teste que nos permite decidir se essa hipótese é verdadeira ou falsa. Segundo Susan Haack, "enquanto uma definição fornece o significado da palavra 'verdade', um critério nos dá um teste pelo qual pode-se dizer se uma sentença é (...) verdadeira ou falsa"⁵. Mais adiante, voltaremos a nos defrontar com esta questão.

A lógica se preocupa em analisar a validade dos argumentos e não a verdade de enunciados factuais, isto é, de enunciados acerca de fatos ou fenômenos que ocorrem na natureza e que são estudados pelas ciências factuais. Para compreender melhor essa distinção, examinemos o seguinte argumento lógico:

Todos os mamíferos são animais com pêlo.

Alguns mamíferos voam.

Logo, alguns animais de pêlo voam.

Os dois primeiros enunciados do argumento são chamados premissas, enquanto o último é sua conclusão. Através de uma análise lógica, podemos comprovar que este argumento é válido, uma vez que a conclusão deriva necessariamente das premissas. Mas, embora seja tarefa da lógica analisar a validade dos argumentos, ela não nos diz nada quanto à verdade, seja das premissas, seja da conclusão, tomada isoladamente: compete à biologia, e não à lógica,

descobrir se enunciados acerca de fatos como "todos os mamíferos têm pêlos" ou "alguns animais de pêlo voam" são verdadeiros ou falsos. A análise lógica revela apenas que, em um argumento logicamente válido, se as premissas forem verdadeiras a conclusão será necessariamente verdadeira ou, em outras palavras, se as premissas forem verdadeiras será impossível que a conclusão seja falsa.

Examinemos outro argumento do mesmo tipo que o anterior:

Todos os mamíferos fazem fotossíntese.

Alguns mamíferos voam.

Logo, alguns seres que fazem fotossíntese voam.

Este argumento também é válido e possui a mesma forma lógica do primeiro. Isso pode ser facilmente comprovado se substituirmos os termos que se referem às classes de objetos por letras. Veremos, então, que os dois argumentos são do tipo:

Todo A é B.

Alguns A são C.

Logo alguns B são C.

Entretanto, a primeira premissa "todos os mamíferos fazem fotossíntese" e a conclusão "alguns seres que fazem fotossíntese voam" do argumento são falsas. Mas se as premissas fossem todas verdadeiras, a conclusão teria de ser verdadeira. Isso vale para todos os argumentos que têm esta mesma forma lógica: o argumento continuará váli-

do quaisquer que sejam os termos colocados no lugar das letras. Em outras palavras, a validade de um argumento in depende da verdade de seus enunciados, tomados isoladamente. É por esse motivo que a lógica é uma ciência formal: ela discute apenas a forma de seus argumentos e não o con teúdo de suas premissas e conclusões.

Para que a distinção entre validade e verdade fique ainda mais clara, vejamos mais um argumento:

Todos os papagaios são pãssaros.

Todos os papagaios têm bico.

Logo, todos os pãssaros têm bico.

Neste caso, as premissas e a conclusão são verdadeiras mas o argumento não é válido. Isto pode ser facilmente percebido se substituirmos o termo "bico" na segunda premissa e na conclusão por "vegetarianos". O argumento ficaria então:

Todos os papagaios são pãssaros.

Todos os papagaios são vegetarianos.

Logo, todos os pãssaros são vegetarianos.

A forma do argumento é a mesma e as premissas são verdadeiras, mas a conclusão é falsa: há aves que não são vegetarianas, como é o caso, por exemplo, da águia. A substituição nos mostra então que este tipo de argumento admite um contra-exemplo, isto é, um exemplo que indica que de premissas verdadeiras derivamos uma conclusão falsa.

Logo, não se trata de um argumento logicamente válido, para o qual não há qualquer contra-exemplo⁶.

Para Popper os argumentos lógicos são importantes porque "a verdade das premissas (se elas são todas verdadeiras) se transmite invariavelmente à conclusão; e a falsidade da conclusão (caso ela seja falsa) retransmite-se invariavelmente a pelo menos uma das premissas"⁷.

Finalmente, convém acrescentar que a lógica estudada também enunciados do tipo "a neve é branca ou não é branca", cuja verdade pode ser conhecida independentemente dos fatos. Estes enunciados são logicamente verdadeiros, sendo chamados de "enunciados analíticos".

1.3.3. Os objetos estudados pela lógica e pela matemática

Para alguns filósofos da ciência, tanto a lógica quanto a matemática trabalham apenas com construtos ou objetos conceituais, como números, funções, proposições etc., que podem ser interpretados como idéias ou ficções criadas em nossas mentes⁸. Já os objetos ditos concretos, materiais ou reais ocupam lugar no espaço, sofrem transformações, possuem energia etc. Como afirma Bunge: "os conjuntos não se movem, as funções não metabolizam, os espaços não procriam, as estruturas algébricas não passam fome, as derivadas não explodem"⁹.

Se é verdade que a matemática e a lógica tratam de objetos abstratos ou ideais, elas não precisam testar

experimentalmente seus argumentos ou teoremas, utilizando-se em vez disso apenas da dedução e de outros tipos de raciocínio lógico. Assim, "a lógica e a matemática são ciências formais: não se referem a nada que se encontre na realidade e, portanto, não podem utilizar nossos contatos com a realidade para tornar válidas suas fórmulas"¹⁰.

Já as ciências factuais, também chamadas experimentais ou empíricas, tratam de fatos, de objetos concretos, e precisam testar experimentalmente suas hipóteses, que devem, supostamente, corresponder a alguma coisa real. Segundo esta concepção haveria uma diferença de método entre a ciência formal e a ciência factual.

A natureza unicamente conceitual dos objetos estudados pelas ciências formais explicaria o caráter de certeza absoluta que suas conclusões e demonstrações parecem encerrar¹¹. Entretanto o método e a natureza dos objetos destas ciências ainda são temas de muitas discussões na filosofia da lógica e da matemática.

1.3.4. A importância da lógica e da matemática para as ciências factuais

Os exemplos de argumentos lógicos aqui examinados não servem sequer para dar uma pálida idéia do enorme desenvolvimento da lógica moderna. Além de ter larga aplicação em informática, a lógica tornou-se fundamental para todas as ciências e para a filosofia da ciência.

As hipóteses, leis e teorias científicas não são testadas apenas experimentalmente. Em primeiro lugar, usamos a lógica para verificar se uma determinada teoria é internamente coerente, isto é, se não há contradição entre suas hipóteses ou leis, pois a lógica nos ensina que se uma teoria apresentar uma contradição, dela se poderia deduzir qualquer coisa, o que a tornaria inútil para ser testada. É preciso pesquisar também se uma teoria é compatível com o resto do saber científico, isto é, se não há contradições entre os enunciados de diversas teorias. Atualmente, há uma interconexão profunda entre as diversas ciências e, ao testarmos uma hipótese, muitas vezes fazemos uso de teorias de outras ciências. A lógica nos fornece ferramentas para garantir a coerência do corpo de conhecimentos científicos, evitando contradições e absurdos e permitindo que o teste de uma hipótese seja importante também para outras hipóteses ou leis. Deste modo, ela nos ajuda na construção de um sistema de leis e teorias que se reforçam mutuamente.

A verificação de uma lei ou hipótese científica, em geral, não é simples nem direta. O que geralmente ocorre é que deduzimos conseqüências lógicas de uma hipótese. São estas conseqüências que serão testadas e, se falseadas, deverão implicar na falsidade da hipótese, o que pode levar-nos a rejeitá-la. Neste processo é fundamental que utilizemos argumentos logicamente válidos, que garantam que as conseqüências testadas decorram necessariamente das hipóteses ou leis que queremos testar.

A matemática também vem se tornando cada vez mais importante para todas as ciências, funcionando como uma espécie de linguagem que permite ao cientista expressar de forma precisa suas hipóteses, leis ou teorias. Hipóteses mais precisas podem ser testadas com mais rigor, o que é essencial para descobrirmos suas incorreções e aperfeiçoá-las.

Para que as fórmulas e os cálculos matemáticos possam ser aplicados à realidade, precisam ser interpretados por regras de correspondência. Pode ocorrer que uma mesma fórmula matemática seja utilizada para exprimir leis científicas. A fórmula $N = N_0 \cdot e^{-ct}$, por exemplo, pode servir para expressar a lei do decaimento radioativo, da taxa de mortalidade em uma população de microorganismos, ou ainda a absorção da luz em um meio homogêneo. Tudo depende do significado que iremos atribuir aos símbolos desta fórmula¹².

A utilidade da matemática decorre igualmente do fato de que as ciências formais não trabalham diretamente com objetos concretos mas com objetos ou fatos idealizados e interpretados, isto é, sem construtos ou objetos conceituais. Em física, por exemplo, utilizam-se objetos do tamanho de pontos e gases "perfeitos", que não existem na realidade prática. Estes construtos são modelos simplificados, que facilitam o estudo das situações reais, quase sempre muito complexas para serem aprendidas de uma só vez. Com auxílio destes modelos podemos fazer previsões capazes

de serem testadas experimentalmente. Os resultados dos testes irão sugerir correções do modelo original, de modo que este passa a representar os fatos com mais fidelidade. Assim, a partir de um hipotético gás ideal, acrescentamos novos dados, visando com isso complicar o modelo e aproximá-lo cada vez mais dos gases reais¹³.

1.3.5. As ciências naturais e as ciências culturais

Como nos ensina a biologia, o homem é um produto da evolução. Por isso, muitas de suas características podem ser compreendidas quando estudamos suas origens evolutivas. Mas, se por um lado ele é apenas uma entre milhões de espécies animais, por outro lado difere de todas as outras espécies pelo grau de complexidade de sua linguagem, de sua mente, de sua vida social e de sua cultura. A interação destes fatores fez do homem uma espécie única na natureza, uma espécie capaz de ter consciência, de conhecer suas próprias origens, de possuir valores éticos e até de decidir sua própria evolução.

Essas características são responsáveis pela reunião em um grupo à parte de ciências como a sociologia, economia, ciências políticas e história, que estudam os aspectos culturais e sociais do homem. A esse conjunto de nominamos ciências culturais, sociais ou humanas. As ciências naturais estudariam então a natureza e o próprio homem, sem se preocupar com estes aspectos. A psicologia e a antropologia poderiam fazer parte dos dois grupos: a psi

ciologia fisiológica e a antropologia física pertenceriam ao primeiro grupo enquanto a psicologia social e a antropologia cultural ficariam no segundo. Algumas ciências estariam na fronteira desta divisão, como é o caso da sociobiologia. Há ainda ciências recentes como a lingüística, a semiótica e a informática que poderiam formar um terceiro grupo à parte¹⁴. Essa classificação, que leva em conta o objeto de estudo das diversas ciências, tem uma importância prática apenas relativa, e poderá ser alterada à medida que nossos conhecimentos avancem.

Uma questão mais complicada é saber se as ciências naturais e as culturais se valem do mesmo método de estudo. Para alguns filósofos da ciência, como Popper, Bunge, Nagel e Carnap, há um único método comum a ambos os grupos de ciências — o método científico — que é, essencialmente, aquele que descrevemos para as ciências naturais¹⁵. Haveria, neste caso, apenas uma diversidade de instrumentos e técnicas, como o uso de microscópio ou telescópio, entrevistas para coletar dados, tratamento estatístico ou não destes dados, observação em ambiente natural e outras técnicas peculiares a cada disciplina. No entanto, para outros autores, o método científico, tal como é usado nas ciências naturais, não serviria para as ciências sociais. Entre outros motivos porque, nestas ciências, os fatos estudados apresentam uma maior complexidade e singularidade que tornariam difícil uma experiência controlada. Estes autores propõem que as ciências sociais sejam estudadas com auxílio de métodos próprios, como o método fenomenolô

gico, dialético, estruturalista, funcionalista etc.¹⁶.

1.3.6. Ciência básica, ciência aplicada e tecnologia

Além de aumentar nosso conhecimento, a ciência tam
bém pode ser utilizada como fonte de poder sobre a natureza,
modificando-a segundo nossos desejos e necessidades. A
partir deste fato pode se estabelecer uma diferença entre
ciência básica, ciência aplicada e técnica ou tecnologia.
A ciência básica se preocupa em aumentar nossos conhecimen
tos sobre as leis da natureza, mesmo que esses conhecimen
tos sejam — pelo menos aparentemente — desprovidos
de uma utilidade prática imediata. As tentativas de unificar
os diversos tipos de forças físicas, das teorias que
tentam explicar a origem do universo ou da vida, o estudo
do comportamento animal ou as geometrias não euclidianas
encontram-se neste caso. Já a ciência aplicada procura
compreender fenômenos mais específicos, que possam ter uma
utilidade prática imediata ou um maior interesse social,
como é o caso da patologia médica, que estuda as doenças
do homem, a eletrônica, a química dos compostos cancerígenos,
o estudo de plantas de interesse medicinal ou industrial
etc. A técnica ou tecnologia (do grego téchne, que
significa arte ou habilidade) pode utilizar tanto o conheci
mento comum quanto os conhecimentos obtidos na pesquisa
básica ou na ciência aplicada, para criar novos artefatos
ou produtos (aparelhos elétricos, computadores, medicamentos,
corantes etc.), assim como processos para melhorar a
produção, modificar o ambiente ou organizar as atividades

humanas¹⁷.

Essa classificação não deve ocultar o fato de que há uma constante interação entre a ciência pura, a ciência aplicada e a tecnologia. A construção de instrumentos se vale de descobertas na ciência aplicada que, por sua vez, utiliza conhecimentos obtidos na ciência básica. Pesquisas em ciência básica podem acabar tendo aplicações insuspeitadas pelos próprios cientistas que as criaram, como é o caso da mecânica newtoniana, utilizada muito tempo depois na construção de foguetes ou das equações matemáticas de Maxwell que, um século mais tarde, permitiram o aparecimento do rádio, da televisão e do telefone. Ao mesmo tempo, a criação de novos instrumentos permite testar hipóteses e teorias científicas. Basta lembrarmos a importância do microscópio ou do telescópio para a biologia e astronomia, respectivamente.

Como vemos, ciência e técnica interagem e se complementam e, por isso, é um erro pensar que os países subdesenvolvidos devem se preocupar apenas com o desenvolvimento da ciência aplicada para atender as suas necessidades. Se não houver também um estímulo à pesquisa básica, estaremos inibindo a ciência aplicada e dificultando o domínio do "know-how" científico e tecnológico, levando assim esses países a dependerem exclusivamente da pesquisa realizada nas nações mais desenvolvidas¹⁸.

1.4. A interação entre a ciência e a sociedade

Ao descobrir o fogo, ao inventar a roda e ao desenvolver novas técnicas agrícolas, nossos ancestrais alteraram profundamente o curso da história. A conquista de novos conhecimentos, além de proporcionar satisfação intelectual, também conferiu ao homem o poder de prever acontecimentos e de viver melhor. Através da ciência, o homem conseguiu, inegavelmente, um progressivo domínio sobre a natureza, sendo capaz de alterar o clima de uma região e até mesmo de mudar a programação genética de um ser vivo ou de viajar para outros planetas.

A ciência não é apenas uma forma de conhecer o mundo, mas também uma atividade que influencia, e é influenciada, por fatores políticos, econômicos, culturais etc., e, como qualquer outra atividade, pode ser bem ou mal utilizada.

Neste trabalho vou analisar apenas a relação desses fatores com o método científico e a forma como este é utilizado em ciências naturais. Para tal, discutirei a influência, ou não, desses fatores na avaliação das hipóteses e teorias científicas, bem como a existência, ou não, de critérios objetivos para esta avaliação.

1.4.1. O conceito de ideologia

Desde que nascemos somos influenciados pelos hábitos e costumes da época. Deste modo, assimilamos crenças

e comportamentos os mais variados, desde pequenas coisas, como se comportar à mesa, até nossas convicções políticas e nossos objetivos na vida. Portanto, parte significativa de nossas crenças e valores é influenciada pela época e pelo tipo de sociedade em que vivemos — mesmo que não nos demos conta disso. Alguns autores usam o termo *ideologia* para definir o conjunto de crenças que atuam sobre a vida do indivíduo e as relações que estabelece no interior de determinada sociedade. Segundo Bunge:

"Uma ideologia é um conjunto de idéias mais ou menos coerentes, mas não necessariamente verdadeiras, sobre a realidade ou uma parte dela(...) Uma ideologia sócio-política [como o liberalismo, fascismo e socialismo] é uma visão do mundo social: um conjunto de crenças referentes à sociedade, ao lugar que o indivíduo ocupa nela, ao ordenamento da comunidade e ao seu controle político"¹⁹.

O filósofo Maurice Cornforth acentua o fato de que a ideologia tem uma função social, que é a "... de dar aos indivíduos numa sociedade uma consciência social de sua condição coletiva e de seus interesses e objetivos, que passa então a determinar sua ação individual e coletiva"²⁰. Assim a ideologia não se limita a dizer como as coisas são, mas também como devem ser e como se deve proceder para a solução dos problemas sociais. Ela contém, portanto, além de crenças em certos fatos, opiniões sobre valores e atitudes.

No entanto, algumas dessas idéias podem não corresponder à realidade social, servindo unicamente para con-

trolar e manipular o comportamento de um grupo de indivíduos, de acordo com os interesses de outro grupo, dominante. Alguns autores utilizam então o termo "ideologia" em sentido exclusivamente depreciativo, para significar o conjunto de crenças falsas, responsáveis por uma espécie de "falsa consciência" das relações sociais. Uma espécie de ilusão coletiva, sem validade objetiva, compartilhada por indivíduos de uma classe social e que serve apenas para defender os interesses de outras classes²¹.

Enfim, há muitas maneiras de se definir ideologia, e sua interação com a ciência é bastante complexa, provocando muitas discussões principalmente na área das ciências sociais. Aqui interessa apenas discutir, em linhas gerais, a interação entre a ciência e os fatores sociais e ideológicos e em que sentido poderíamos dizer que a avaliação de uma teoria científica, pelo menos em ciência natural, independe desses fatores.

1.4.2. A influência dos fatores sociais nas ciências naturais

A interação entre a ciência e a sociedade permite compreender por que certas descobertas científicas só se tornaram possíveis a partir do desenvolvimento de certas técnicas e só puderam surgir em certos tipos de sociedade. A influência dos fatores sócio-econômicos não pode ser negada. É óbvio, por exemplo, que toda pesquisa depende de recursos econômicos e é influenciada pelas condições so-

ciais e políticas de um país. Há vários estudos em história da ciência que procuram determinar como esses fatores influíram no aparecimento de teorias como as de Darwin e Newton, por exemplo²².

Como vimos, as hipóteses e teorias científicas nascem da imaginação do cientista e nada impede que ele se inspire em analogias. Darwin inspirou-se em Malthus para formular seu princípio de seleção natural e podemos supor que ele tenha sido influenciado pela ideologia da época, que apoiava os princípios econômicos de Malthus e Adam Smith, conferindo certa autoridade a essas idéias²³. No entanto, é muito difícil explicar o aparecimento da teoria da relatividade em função das condições sociais da época.

Desse modo, uma hipótese ou teoria pode, realmente, ter surgido na cabeça de um cientista, devido a influências políticas, psicológicas, filosóficas, econômicas etc. É importante compreender, porém, que, qualquer que seja sua origem, esta não é motivo suficiente para sua aceitação pela comunidade científica. É necessário que a hipótese seja criticada e passe por uma série de testes para ser aceita. A objetividade da ciência não reside na existência de cientistas com mentes livres de qualquer preconceito ou influência, capazes de formular hipóteses verdadeiras, mas sim no modo pelo qual estas hipóteses serão discutidas e criticadas.

Suponhamos que um grande laboratório esteja inte-

ressado em aumentar suas vendas de vitamina C. Além de investir em propaganda, ele poderá também fornecer verbas para a realização de pesquisas com o intuito de demonstrar que essa vitamina, tomada em doses elevadas, previne diversas doenças. Serã que o interesse comercial do laboratório e toda uma imensa verba disponível são suficientes para determinar qual serã o resultado da pesquisa?

Embora muitos estudos demonstrem a influência de fatores sociais na aceitação das teorias científicas, outros procuram levar em conta também os méritos próprios da teoria, como, por exemplo, sua maior capacidade de explicar os fatos em relação a outras teorias concorrentes e de resistir a testes experimentais. Além disso, nem sempre as teorias científicas provocam mudanças sociais, têm importância prática imediata ou são compatíveis com a ideologia da época. Às vezes é muito difícil encontrar relações entre elas e a ideologia dominante. As leis de Mendel e a mecânica quântica são exemplos de teorias importantes para a ciência que não determinaram mudanças sociais. Portanto, embora a ciência seja influenciada por muitos fatores sociais, não parece absurdo procurar critérios objetivos que permitam avaliar as hipóteses e teorias científicas. Não deve ser por acaso que em países de ideologia tão diferentes como os Estados Unidos e a União Soviética as principais teorias da física, química e biologia sejam idênticas.

1.4.3. A objetividade da ciência

O famoso cientista Linus Pauling acredita que altas doses diárias de vitamina C protegem contra várias doenças, inclusive o resfriado comum. Entretanto, outros cientistas acham que essa afirmação é falsa. Há, portanto, uma diferença entre a crença de Pauling e a verdade do enunciado "altas doses diárias de vitamina C protegem contra várias doenças". Este último exprime um conhecimento objetivo, que independe da crença do cientista e que pode ser discutido, criticado e refutado por descobertas feitas por outros cientistas. Há uma diferença fundamental entre crença e conhecimento objetivo. Um enunciado pode ser verdadeiro sem que as pessoas acreditem nele e vice-versa. Houve uma época em que todos acreditavam que a Terra era plana, mas isso não quer dizer que ela fosse realmente plana! Como vemos, a crença em um enunciado não constitui uma prova de sua verdade²⁴. Como diz Popper:

"Nenhum enunciado é verdadeiro e nenhuma inferência é legítima porque sentimos (não importa com que convicção) que assim seja(...) A possibilidade de explicar eventualmente os sentimentos subjetivos ou a intuição com base no fato de haveremos deparado com a verdade e a legitimidade ou de termos efetuado alguns exames críticos, não permite inverter a situação e dizer: este enunciado é verdadeiro ou esta inferência é legítima porque eu acredito nisso, ou porque me sinto compelido a acreditar nisso, ou porque isso é evidente por si mesmo"²⁵.

Quando uma pessoa afirma que o que é "verdade" para ela pode não ser para outra pessoa, o que está querendo dizer é que ela pode acreditar em coisas que outros não acreditam. Ela está se referindo à sua crença ou ao

conhecimento subjetivo. Mas quando afirmamos que um enunciado não pode ser verdadeiro e falso ao mesmo tempo, estamos utilizando os conceitos de verdade e de conhecimento objetivo.

Em ciência, procuramos analisar a verdade ou a falsidade de enunciados como "os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do sol", " $E = mc^2$ ", "cada caráter é condicionado por um par de genes" etc., independentemente de uma pessoa ou um grupo acreditar ou não neles. Assim, no momento em que uma nova teoria científica aparece, isto é, no momento em que é publicada em revistas ou livros e torna-se acessível aos interessados, os cientistas começam a discuti-la criticamente, procurando verificar se ela é melhor que outra teoria concorrente, independentemente da crença do cientista que a publicou. Não importa que seja um cientista famoso — ele pode ter-se enganado. Não importa que um grupo enorme de pessoas acredite em uma teoria — elas podem todas estar erradas, como ocorreu em relação à forma de nosso planeta. Assim, embora a crença de um indivíduo possa, pelo menos em certa medida, ser determinada ou influenciada pela ideologia, é o conhecimento objetivo presente nas hipóteses e teorias que será avaliado, e não essas crenças.

Afirmar que a ciência é objetiva não significa dizer que suas teorias são verdadeiras. A objetividade da ciência não repousa na imparcialidade de cada indivíduo, uma vez que, como diz Popper,

"(...) todos somos vítimas de nosso próprio sistema de preconceitos (...), todos consideramos muitas coisas como evidentes por si mesmas (...), as aceitamos sem espírito crítico e, inclusive, com a convicção ingênua e arrogante de que a crítica é completamente supérflua; e, infelizmente, os homens de ciência não são exceção à regra (...)"²⁶.

A objetividade da ciência reside na disposição de formular e publicar hipóteses para serem submetidas a críticas por parte de outros cientistas; na disposição de formulá-las de forma que possam ser testadas experimentalmente; na exigência de que a experiência seja controlada e de que outros cientistas possam repetir os testes, se isto for necessário.

Como veremos, as teorias científicas são construções muito mais complicadas do que simples hipótese. Por isso, para podermos avaliar as teorias, procuramos critérios não apenas experimentais mas também lógicos e metodológicos. Por exemplo: novas teorias não só devem ser logicamente coerentes e capazes de explicar todos os fatos explicados pelas teorias antigas, como também devem poder gerar algumas previsões novas, às vezes incompatíveis com a teoria anterior, que possam ser testadas. No entanto, será que, em um nível mais profundo, esses critérios também não passam de uma espécie de ilusão, refletindo pressões sociais de certos grupos? Será que elas também não passam de uma ideologia, no sentido de falsa consciência?

Questões deste tipo só podem ser formuladas se admitirmos que as teorias podem ser falsas, se admitirmos

uma idéia de verdade, independente de pressões sociais e econômicas. Sô assim poderemos falar em erro, em manipulação, em falsa consciência. Sô assim poderemos distinguir entre ciência e ideologia.

A idéia de verdade, assim como as idéias de validade e uniformidade da natureza, entre outras, funcionam como normas para guiar a prática científica e a busca de critérios metodológicos por parte do filósofo da ciência. O cientista deve agir como se houvesse ordem suficiente na natureza para que a ciência seja possível: deve procurar a verdade mesmo que ela não possa ser alcançada. Embora o conhecimento científico possa ser sempre hipotético, conjectural, sua busca faz surgir novos problemas, novas soluções, novas hipóteses, e, talvez, desse modo, consigamos caminhar em direção a um conhecimento mais profundo da estrutura da realidade.

Mesmo que os critérios utilizados para avaliar as teorias possam ser questionados e substituídos por outros, e mesmo que os cientistas em sua prática sejam igualmente influenciados por pressões econômicas e ideológicas, a busca e a utilização desses critérios são essenciais para a objetividade e o progresso da ciência. Princípios como esses permitirão aos cientistas estabelecer critérios que possibilitem concluir que, apesar das pressões econômicas, doses altas de vitamina C não protegem contra a gripe ou que a teoria de Einstein é melhor que a de Newton e esta melhor que a de Kepler — mesmo que nenhuma delas se en-

quadre dentro da ideologia dominante na época. São esses critérios que permitem que certas teorias resistam às pressões de grupos que tentam combater e eliminar todas as descobertas que afetam seu poder. Podemos negar as noções de verdade, objetividade, crítica e distinção entre ciência e ideologia, adotando o ponto de vista de que tudo não passa de um jogo de forças, no qual os argumentos não importam e as justificativas são menos importantes do que a manipulação e a propaganda. Por outro lado, se aceitarmos estes princípios, estaremos lutando para ser críticos e racionais, pois, como diz Popper, "não conheço nada mais racional do que uma bem conduzida discussão crítica"²⁷. Mas por que ser crítico? Por que ser racional? Podemos justificar essa escolha?

A tentativa de justificar lógica ou racionalmente todos os enunciados é impossível, pois todos os argumentos devem partir de suposições e não se pode exigir que todas as suposições se baseiem em argumentos. Teremos de terminar este processo em algum ponto. Como diz Popper:

"(...) A atitude racionalista é caracterizada pela importância que dá ao argumento e à experiência. Mas nem o argumento lógico nem a experiência podem estabelecer a atitude racionalista, pois são aqueles que estão dispostos a considerar o argumento e a experiência, e que portanto já adotaram essa atitude, serão impressionados por eles. Isto é, uma atitude racionalista deve ser adotada primeiramente, se algum argumento ou experiência tiverem de ser efetivos, e não pode, em consequência, ser baseada em argumento ou experiência..."²⁸

Em última análise, talvez caiba a nós decidir se

aceitamos ou não a busca da verdade como um de nossos valores. Como diz o cientista Jacques Monod:

"A pedra angular do método científico é o postulado da objetividade da Natureza. Isto é, a recusa sistemática em considerar como capaz de conduzir a um conhecimento 'verdadeiro' toda interpretação dos fenômenos dada em termos de causas finais, ou melhor, de 'projeto'. Podemos datar exatamente a descoberta desse princípio. A formulação, por Galileu e Descartes, do princípio de inércia não fundava somente a mecânica mas a epistemologia da ciência moderna abolindo a física e a cosmologia de Aristóteles... Postulado puro, para sempre indemonstrável, pois é evidentemente impossível imaginar uma experiência que pudesse provar a não-existência de um projeto, de uma finalidade perseguida onde quer que seja na natureza (...)"²⁹.

Monod conclui então que:

"(...) É evidente que colocar o postulado da objetividade como condição do conhecimento verdadeiro constitui uma escolha ética e não um juízo de conhecimento, uma vez que, segundo o próprio postulado, não poderia haver conhecimento 'verdadeiro' anterior a essa escolha arbitral. O postulado de objetividade, para estabelecer a norma do conhecimento, define um valor que é o próprio conhecimento objetivo (...)"³⁰.

Portanto, cabe a nós decidir se desejamos buscar um método racional e objetivo, que permita escolher, entre duas ou mais teorias, qual a que explica melhor os fatos.

1.4.5. Ciência e ética

O progresso científico nos deu um domínio cada vez maior sobre a natureza. Somos capazes de mudar a programação genética de seres vivos, de viajar a outros planetas, de construir inteligências artificiais e muitas outras

coisas que pareciam impossíveis há poucos anos atrás. Entretanto, como todos sabemos, nem sempre este progresso é exercido a favor do homem. Ele também serviu para aumentar a poluição e os desequilíbrios ecológicos e para criar armas e artefatos nucleares capazes de destruir toda a humanidade. A ciência realmente funciona e nos dá poderes para o bem e para o mal. Não há dúvida também que suas aplicações são dependentes de fatores de ordem econômica, social, política e ideológica. Mas, o que fazer? Renunciar aos benefícios da ciência e da tecnologia e voltar à Idade da Pedra quando a média de vida era de pouco mais de trinta anos? A tecnologia realmente cria problemas e, às vezes, como no caso da energia nuclear, torna-se altamente discutível se devemos continuar a utilizá-la como fonte de energia. Não podemos esquecer, porém, que muitos problemas só poderão ser resolvidos pela própria tecnologia. Interromper uma pesquisa científica significa também anular os possíveis benefícios que dela poderão surgir. Portanto, a única solução parece ser a de manter sob controle suas aplicações, de forma a minimizar os possíveis riscos ao homem e à natureza.

Penso que a única forma de garantir que a ciência e a tecnologia sejam usadas em benefício de toda a população é criar condições para que todos participem das decisões de suas aplicações, erradicando a miséria e dando condições materiais para todos se educarem; aprimorando as instituições democráticas, de forma que todos possam discutir os principais problemas nacionais e participar de

suas soluções.

Para que a ciência seja aplicada de forma a satisfazer as necessidades reais do ser humano é necessário que os cientistas, assim como todos os cidadãos, não sejam apenas técnicos competentes. As soluções para nossos proble-
mas dependem, não somente da parte técnica, mas também, e principalmente, de um desenvolvimento da consciência moral e da responsabilidade social. É tarefa do professor favorecer o desenvolvimento harmonioso da personalidade do aluno, de modo a integrar a racionalidade e o espírito crítico da ciência com um desenvolvimento completo das áreas afetivas e morais do ser humano.

1.5. Resumo

A ciência é uma tentativa de conhecer o mundo através do método científico. Através deste método, tentamos resolver problemas inventando hipóteses capazes de serem testadas experimentalmente. Se os resultados dos testes forem positivos, a hipótese é provisoriamente aceita, pois, a qualquer momento, podemos descobrir novos fatos que entrem em conflito com ela, levando-nos a rejeitá-la. Assim, as hipóteses científicas — e também as leis e teorias — arriscam-se a serem refutadas. A experiência controlada aumenta mais ainda o rigor dos testes científicos, dando maior credibilidade a seus resultados. Já certas profecias feitas por astrólogos e videntes acomodam-se a qualquer acontecimento, sem correr o risco da refutação, mas, por ou

tro lado, fornecem pouca ou nenhuma informação a respeito dos fatos.

As leis científicas são hipóteses gerais que recebem algum apoio experimental, o que não quer dizer que sejam verdadeiras. As explicações científicas valem-se de leis gerais e de condições iniciais para explicar os fenômenos. A reunião dessas leis forma as teorias científicas, que têm um caráter explicativo e um poder de previsão maiores que os das leis isoladas e procuram explicar as regularidades através de um mecanismo oculto por trás dos fenômenos. Entretanto, mesmo as leis e teorias mais recentes têm um caráter conjectural e podem ser sempre substituídas por novas teorias que expliquem melhor os fatos. A ciência, portanto, nos oferece um conhecimento hipotético da realidade, sempre capaz de ser corrigido e aperfeiçoado.

Para alguns filósofos, como Bunge, as ciências formais (lógica e matemática) trabalham apenas com objetivos conceituais, e por isso não precisam ser testadas experimentalmente. Intuitivamente, podemos dizer que um enunciado é verdadeiro quando corresponde aos fatos. Entretanto, a lógica preocupa-se apenas com a validade dos argumentos. Um argumento logicamente válido garante que, se as premissas forem verdadeiras, a conclusão será necessariamente verdadeira e, por isso, esses argumentos são importantes para as ciências factuais. A matemática também ganha importância para estas ciências, uma vez que as fórmu

las matemáticas podem receber uma interpretação, tornando-se então uma lei científica e passando assim a referir-se a fatos concretos. Uma lei matemática arrisca-se bastante a ser refutada e tem, por isso, um alto conteúdo informativo.

Ainda se discute se as ciências naturais e as ciências sociais utilizam ambas o mesmo método. Em relação às ciências naturais (física, química e biologia), no entanto, há um certo consenso de que, embora as técnicas sejam diferentes, o método é o mesmo.

É inegável que a ciência é uma forma de conhecer o mundo, que pode ser aplicada de forma a alterar profundamente a natureza e o nosso modo de vida. Embora a ciência seja influenciada por fatores sociais, políticos, econômicos e ideológicos, é possível, pelo menos em ciências naturais, estabelecer critérios objetivos e racionais para avaliar as teorias científicas. São esses critérios que nos possibilitam escolher entre duas teorias aquela que melhor explica os fatos.

1.6. Leituras suplementares

O conceito de verdade como correspondência com os fatos é defendido por Popper em Conhecimento objetivo; uma abordagem evolucionária. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975, pp. 294-312. Popper utiliza aqui a importante contribuição do lógico Alfred Tarski para a idéia de verdade, desenvolvida em

TARSKI, Alfred. Logic, semantics and metamathematics. Oxford, Clarendon Press, 1956, pp. 152-278. Para uma exposição resumida em português desta contribuição, ver: HEGENBERG, Leônidas. Significado e conhecimento. São Paulo, Editora Pedagógica e Universitária; Ed. da Universidade de São Paulo, 1975, pp. 53-66. O conceito de verdade é discutido também por Bunge em Racionalidad y realismo. Madrid, Alianza, 1985, pp. 27-39 e Tratado de filosofia básica. São Paulo, Ed. Pedagógica Universitária; Ed. da Universidade de São Paulo, 1974, v.2, pp. 93-152. Ver também HAACK, Susan. Philosophy of logics. London, Cambridge University Press, 1978, pp.86-134.

Sobre filosofia da matemática, ver: SNAPPER, Ernst. "As três crises da matemática: o logicismo, o intuicionismo e o formalismo". Humanidades; Brasília, 2(8): 85 - 93, jul./set.1984; KÖRNER, Stephan. Uma introdução à filosofia da matemática. Rio de Janeiro, Zahar, 1985. BARKER, Stephen F. Filosofia da matemática. 2. ed. Rio de Janeiro, Zahar, 1976.

Para um primeiro contato com a lógica, ver: COPI, Irving M. Introdução à lógica. 3. ed. São Paulo, Mestre Jou, 1981; SALMON, W.C. Lógica. Rio de Janeiro, Zahar, 1973; HEGENBERG, Leônidas. Lógica: o cálculo sentencial. 2 ed. São Paulo, EPU, 1977; —, Lógica: o cálculo de predicados. São Paulo, Herder, 1973. Nestes dois últimos livros há uma vasta bibliografia sobre lógica.

Sobre filosofia da lógica, ver: HAACK, Susan. Op. cit. London, Cambridge University Press, 1978; QUINE, Willard V.O. Filosofia da lógica. Rio de Janeiro, Zahar, 1972; STRAWSON, Peter R. Introduccion to logical theory. London, Methuen, 1952.

A identidade ou não de método entre ciências naturais e ciências culturais é discutida em BUNGE, Mario. Epistemologia; curso de atualização. São Paulo, T.A. Queiroz; Ed. da Universidade de São Paulo; 1980, pp.26-35 e pp.139-65; DEBRUYNE, P. et alii. Dinâmica da pesquisa em ciências sociais; os pólos da prática metodológica. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1977; DEMO, Pedro. Metodologia científica em ciências sociais. São Paulo, Atlas, 1981, pp.127-41; DOS SANTOS, W.G. (org.). Dialética e ciências sociais. Rio de Janeiro, Zahar, 1967; HEGENBERG, Leônidas. Explicações científicas; introdução à filosofia da ciência. 2.ed. São Paulo, Ed. Pedagógica Universitária; Herder, 1973, pp.217-63; NAGEL, Ernest. The structure of science; problems in the logic of scientific explanation. London, Routledge & Kegan, 1982, pp.447-546; POPPER, Karl. A miséria do historicismo. São Paulo, Cultrix; Ed. da Universidade de São Paulo, 1980; CARDOSO, Ciro F.S. Introducción al trabajo de la investigación histórica; conocimiento, método e historia. Barcelona, Crítica, 1981.

Estudos a respeito da filosofia da tecnologia e de suas relações com a ciência pura e aplicada encontram-se em: BUNGE, Mario. Ciência e desenvolvimento. Belo Ho

rizonte, Itatiaia; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1980, pp.25-34; Seudociencia e ideologia. Madrid, Alianza, 1985, pp.32-41 e 190-5 e 215-26; KNELLER, George F. A ciência como atividade humana. Rio de Janeiro, Zahar; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1980, pp.245-70; RAPP, Friedrich (org.). Contributions to a philosophy of technology. Dordrecht, Reidel, 1974; SUSKIND, Charles. Understanding technology. Baltimore, The John Hopkins University, 1973; VARGAS, Milton. Metodologia da pesquisa tecnológica. Rio de Janeiro, Globo, 1985.

A interação entre ciência e sociedade é discutida em: BUNGE, Mario. Ciência e desenvolvimento. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1980; Seudociencia e ideologia, pp.196-211; BRONOWSKI, Jacob. A escalada do homem. 2.ed. São Paulo, Martins Fontes; Brasília, Ed. da Universidade de Brasília, 1983; KNELLER, George F. Op. cit., pp.205-44; RAVETS, Jeromer. Scientific knowledge and its social problems. New York, Oxford University Press, 1971; ZIMAN, John. A força do conhecimento; a dimensão científica da sociedade. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1981.

Sobre o conceito de ideologia ver: ALTHUSSER, Louis. Ideologia e aparelhos ideológicos do Estado. Lisboa, Presença/Martins Fontes, 1974; BUNGE, Mario. Ciência e desenvolvimento. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1980, pp.83-94; —. Seudociencia

e ideologia. Madrid, Alianza, 1985, pp.125-52; CENTER FOR CONTEMPORARY CULTURAL STUDIES (Org.) Da Ideologia. Rio de Janeiro, Zahar, 1980; CHAUI, Marilena. O que é ideologia? São Paulo, Brasiliense, 1984; CORNFORTH, Maurice. Comunismo e filosofia; dogmas e revisões do marxismo hoje. Rio de Janeiro, Zahar, 1980, pp. 195-229; CYRINO, Hêlio (Coord.) Ideologia hoje. Campinas, Papirus, 1986; GOLDMANN, Lucien. Ciências humanas e filosofia; que é sociologia? Rio de Janeiro, Difel, 1980; Cap. II; MANNHEIM, Karl. Ideologia e utopia. Rio de Janeiro, Zahar, 1976; MARCURSE, Herbert. A ideologia da sociedade industrial, Rio de Janeiro, Zahar, 1979; MARX, Karl & ENGELS, Friederich. Ideologia alemã. 5. ed. São Paulo, Hucitec, 1986; POPPER, Karl. A sociedade aberta e seus inimigos. Belo Horizonte. Itatiaia. São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1974, v.2, Cap. 23; RICOEUR, Paul. "Ciência e Tecnologia". Cadernos de História e Filosofia da Ciência; 1, 21-43, São Paulo, UNICAMP, 1980. Sobre ciência e ética, ver: KNELLER, George F. Op. Cit., pp. 271-95; BRONOWSKI, Jacob. Ciência e valores humanos. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1979; LOPES, J. Leite. Ciência e libertação. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1969.

Finalmente, entre as várias revistas que publicam artigos sobre os assuntos aqui tratados e filosofia da ciência, em geral, merecem destaque: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Manuscrito, Campinas, UNICAMP. Philosophical Studies. Dordrecht, D. Reidel; Philosophy of Science. Michigan, Philosophy of Science Association; Revista Brasi-

leira de Filosofia. São Paulo, Instituto Brasileiro de Filosofia. Synthese. Dordrecht, D. Reidel; The British Journal for the Philosophy of Science. Aberdeen University Press.

1.7. Notas e referências bibliográficas

¹ Cf. BUNGE, Mario. La investigación científica; su estrategia e su filosofía. Barcelona, Ariel, 1973, p. 22.

² Cf. Ibid., p. 41.

³ Cf. GIERE, Ronald N. Understanding scientific reasoning. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1979, pp. 12-4.

⁴ POPPER, Karl. Conhecimento objetivo; uma abordagem evolucionária. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975, p. 291.

⁵ HAACK, Susan. Philosophy of logics. London, Cambridge University Press, 1978, p. 88.

⁶ POPPER, Karl. Conjecturas e refutações, pp. 227-40.

⁷ Id. Autobiografia intelectual. São Paulo, Cultrix / Ed. Universidade de São Paulo, 1977, p. 151.

⁸ Cf. BUNGE, Mario. Epistemologia; curso de atualização. São Paulo, T.A. Queiroz; Ed. da Universidade de São Paulo, 1980, p. 40.

⁹ Ibid., p. 45.

- ¹⁰ Id. La investigación científica, p. 38.
- ¹¹ Esta visão das ciências formais é contestada em LAKATOS, Imre. A lógica do desenvolvimento matemático; provas e refutações. Rio de Janeiro, Zahar, 1978.
- ¹² Cf. BUNGE, Mario. Causality and modern science. 3. ed. New York, Dover, 1979, p. 80.
- ¹³ Cf. Id. Teoria e realidade. São Paulo, Perspectiva, 1974, pp.13-7.
- ¹⁴ Cf. VARGAS, Milton. Metodologia da pesquisa tecnológica. Rio de Janeiro, Globo, 1985, pp. 29-32.
- ¹⁵ Cf. NAGEL, Ernest. The structure of science; problems in the logic of scientific explanation. London, Routledge & Kegan, 1982, pp. 447-546.
- ¹⁶ Cf. DEMO, Pedro. Metodologia científica em ciências sociais. São Paulo, Atlas, 1981, pp. 142-255.
- ¹⁷ Cf. VARGAS, Nilton. Op. cit.,. 61-70.
- ¹⁸ Cf. BUNGE, Mario. Ciência e desenvolvimento. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo; Ed. da Universidade de São Paulo, 1980, pp.57-75.
- ¹⁹ Ibid., pp. 84-5.
- ²⁰ CORNFORTH, Maurice. Comunismo e filosofia; dogmas e revisões do marxismo hoje. Rio de Janeiro. Zahar, 1980, p. 33.

- ²¹ Cf. Ibid., p. 195.
- ²² Para este tipo de análise ver BERNAL, John Desmond. Ciência na história. Lisboa, Livros Horizonte, 1975.
- ²³ Cf. KNELLER, George F. A ciência como atividade humana. Rio de Janeiro, Zahar; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1980, pp. 206-8.
- ²⁴ Cf. GIERE, Ronald N. Op cit., p. 18 e POPPER, Karl. Conhecimento objetivo, pp. 108-51.
- ²⁵ POPPER, Karl. Autobiografia intelectual, p. 53.
- ²⁶ Id. A sociedade aberta e seus inimigos, v.2, p.224.
- ²⁷ Id. "Replies to my critics". In: SCHILPP, Paul A.(ed) The philosophy of Karl Popper. La Salle, Open Court, 1974, v.2, p. 1025.
- ²⁸ Id. A sociedade aberta e seus inimigos, v. 2, p. 238.
- ²⁹ MONOD, Jacques. O acaso e a necessidade; ensaio sobre a filosofia natural da biologia moderna. 3.ed. Petrópolis, Vozes, 1976, p. 32.
- ³⁰ Ibid, p. 194.

CAPÍTULO II

A PROCURA DE UM PONTO DE PARTIDA

"As idéias preconcebidas são como faróis que iluminam o caminho do experimentador, servindo como guias para interrogar a natureza. Somente passam a ser perigosas quando se transformam em idéias fixas (...); a maior perturbação da mente consiste em crer em algo porque desejamos que seja assim" (Louis Pasteur).

"Toda observação deve ser pró ou contra alguma opinião — se for para ter alguma utilidade" (Charles Darwin).

O cientista começa seu trabalho com uma observação imparcial e meticulosa dos fatos. Ele deve "deixar a natureza falar" e não impor suas idéias a ela. A partir dessas observações, tira conclusões e elabora hipóteses que, se forem experimentalmente confirmadas, transformam-se em leis e teorias. Procedendo desse modo, estará construindo um conhecimento exato, certo, objetivo.

Esta concepção a respeito da ciência e do método

científico é ainda bastante comum. Entretanto, ela é hoje insustentável. E isso ocorre porque, dentre outras razões, a ciência não começa com observações "puras". Assim como projetamos nas observações que fazemos no nosso dia-a-dia muitas de nossas expectativas e idéias preconcebidas, também em ciência a observação, a coleta de dados e a classificação desses dados são guiadas por hipóteses e teorias. Essas hipóteses e teorias surgem, por sua vez, como respostas provisórias a determinados problemas, como veremos neste capítulo.

2.1. O mito da observação pura

A observação não é um fenômeno passivo mas um processo ativo e seletivo, como tentarei mostrar com auxílio das idéias de Popper e de algumas teorias científicas sobre a percepção.

2.1.1. A teoria do balde mental: uma observação passiva

Qual a origem do nosso conhecimento? Como os pensamentos e conceitos surgem em nossas mentes? Para os filósofos Francis Bacon (1561-1626), John Locke (1632-1704) e David Hume (1711-1776), nascemos com um cérebro "vazio", que recolhe passivamente as informações recebidas pelos órgãos dos sentidos. Segundo essa teoria filosófica, conhecida como empirismo, todo ou quase todo nosso conhecimento provém da experiência, e ela é o único meio do qual dispomos para decidir a verdade acerca dos fatos¹.

Novos conhecimentos podem surgir a partir da observação, através de um processo de associação de idéias, pelo qual nossa mente liga os dados entre si, produzindo um conhecimento mais complexo. Entretanto, este novo conhecimento é menos seguro, uma vez que nesta etapa podemos fazer associações erradas, não interpretando corretamente as relações entre os dados. Para corrigir isto, basta "abrir de novo os olhos e observar com um olhar franco, excluindo todos os preconceitos"². Para Popper, o senso comum parece acompanhar esta teoria quando afirma que nossos sentidos são fontes de conhecimento capazes de nos dar informações seguras a respeito dos fatos³.

A idéia de um conhecimento passivo do mundo através de uma observação "pura" é chamada por Popper de "teoria do balde mental": nossa mente seria representada por um balde, inicialmente vazio, onde as informações entrariam pelos órgãos dos sentidos, como se pode ver na figura 1. Nela, as figuras geométricas representam fatos do mundo real e também o conhecimento destes fatos por nossa mente⁴.

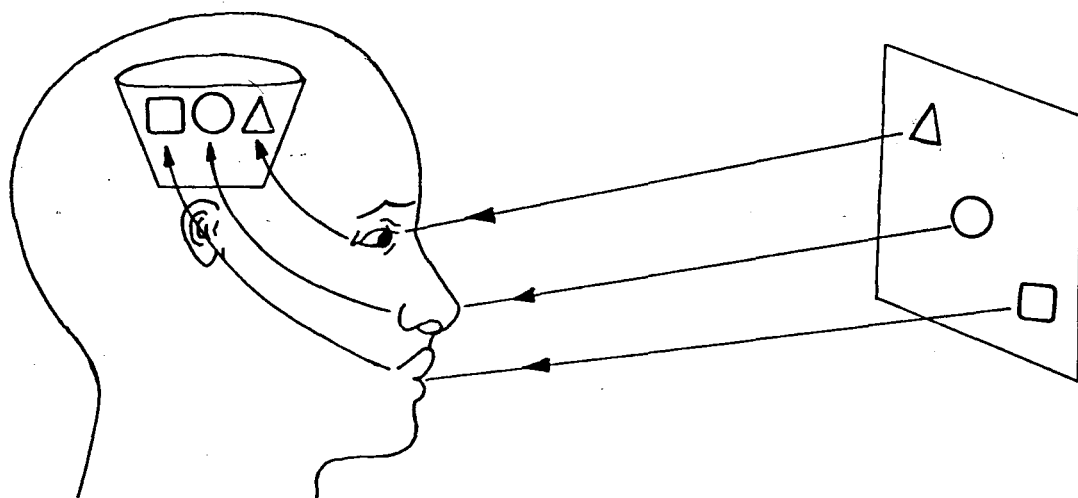


Figura 1 - A teoria do balde mental.

Em fins do século XIX, uma teoria do balde mental — em uma versão mais sofisticada — foi defendida por filósofos como Ernst Mach (1836-1916) e Pierre Duhem (1861-1916). Eles adotaram a tese, conhecida como fenomenalismo, de que a ciência não deveria ir além dos fenômenos: sensações como cores, sons, etc. seriam as únicas realidades. As leis da física seriam apenas construções matemáticas que servem para descrever, de forma sucinta, relações entre fenômenos. Assim, conceitos como o de átomo seriam apenas descrições úteis de certos fenômenos, mas isto não quer dizer que eles realmente existam na natureza⁵.

Posteriormente, o filósofo Bertrand Russell (1872-1970) sugeriu que a partir de nossas sensações ou experiências mais elementares — os chamados dados sensoriais (sons, cores, formas, etc.) — poderíamos, com auxílio da lógica, construir o conhecimento científico⁶.

Essas idéias foram retomadas por um grupo de filósofos que se reuniram, na Viena dos anos 20, para seminários dados por Moritz Schlick (1882-1936). Este grupo — o chamado círculo de Viena — deu origem ao movimento conhecido como empirismo lógico, positivismo lógico ou ainda neopositivismo, que contava com a participação, além de Schlick, de vários cientistas e filósofos como Hans Hahn (1880-1934), Otto Neurath (1882-1945), Rudolf Carnap (1891-1970), Hans Reichenbach (1891-1953), Carl Hempel e A. J. Ayer.

Estes filósofos procuraram dar continuidade às

idéias de Mach, Duhem, Russell e a filosofia empirista de Hume. Admitiam, como Hume, que o único método para adquirir conhecimento sobre questões de fato é aquele que a ciência empírica utiliza, estabelecendo leis a partir da observação. As sentenças que não puderem ser verificadas empiricamente estão fora da fronteira do conhecimento, são sentenças sem sentido e, portanto, não devem ser discutidas pela filosofia⁷. Neste caso estariam questões metafísicas como a existência de Deus, a natureza dos conceitos universais, a essência das coisas, os valores etc. A tarefa da filosofia seria apenas conferir precisão a conceitos intuitivos, substituindo-os por conceitos bem definidos, e esclarecer, criticar e corrigir os conceitos científicos, usando para isso a análise lógica⁸.

A verificação empírica se daria com auxílio das chamadas sentenças observacionais ou protocolares, que, descrevendo o que uma pessoa estaria experimentando diretamente em determinado momento, poderiam ser verificadas com certeza através da observação. Seriam sentenças do tipo "João vê agora um círculo vermelho", ou então "um cubo vermelho está sobre a mesa" etc.⁹.

Desse modo poderíamos eliminar a metafísica do discurso científico, uma vez que ela continha enunciados que não podiam ser verificados experimentalmente. Posteriormente considerou-se que as entidades da física, como as partículas elementares, poderiam substituir as experiências sensoriais no papel de entidades fundamentais, a partir

das quais o conhecimento científico seria construído. A física passou a ser considerada uma espécie de linguagem universal para todo o conhecimento¹⁰.

Entretanto, como veremos a seguir, até mesmo nossas experiências mais elementares estão impregnadas de uma série de conceitos, generalizações, hipóteses, expectativas, etc. Do mesmo modo, a ciência se vale de leis gerais que se aplicam a um número potencialmente infinito de casos, o que impediria uma verificação.

2.1.2. A teoria do holofote: uma observação ativa

Para Popper, a teoria do balde é ingênua e errônea, tanto em relação ao conhecimento comum como em relação ao conhecimento científico. A observação é, ao mesmo tempo, ativa e seletiva, porque é precedida e guiada por problemas, hipóteses, expectativas, interesses, etc. A partir de certas expectativas iniciais (ou algo equivalente), selecionamos — dentre um número praticamente infinito de observações possíveis — aqueles que consideramos relevantes para nossos interesses e objetivos. Assim, segundo Popper:

"(...) Quando crianças aprendemos a decifrar as mensagens caóticas que nos chegam de nosso ambiente. Aprendemos a peneirá-las, a ignorar a maioria delas, a selecionar aquelas que são de importância biológica para nós, quer desde já, quer num futuro para o qual estamos sendo preparados por um processo de amadurecimento"¹¹.

Basta pensarmos em duas pessoas namorando no meio

de uma festa, para compreendermos como percebemos apenas uma pequena fração de um número imenso de acontecimentos, segundo nossas expectativas, desejos, interesses ou objetivos. Mesmo em situações menos importantes, somos constantemente seletivos em relação aos estímulos que nos atingem. Para dar conta deste papel ativo da observação, Popper propõe substituir a teoria do balde vazio pela teoria do holofote, ilustrada na figura 2.

Segundo esta teoria, nossas expectativas — no caso do cientista, as hipóteses e teorias científicas — funcionaríamos como um holofote, tornando visíveis apenas determinados objetos e nos dizendo para onde dirigir nossa atenção. Como diz Popper:

"(...) sō com as nossas hipóteses aprendemos que tipo de observações devemos fazer: para onde devemos dirigir nossa atenção; onde ter um interesse. É a hipótese, assim, que se torna nosso guia e que nos conduz a novos resultados observacionais (...)"¹².

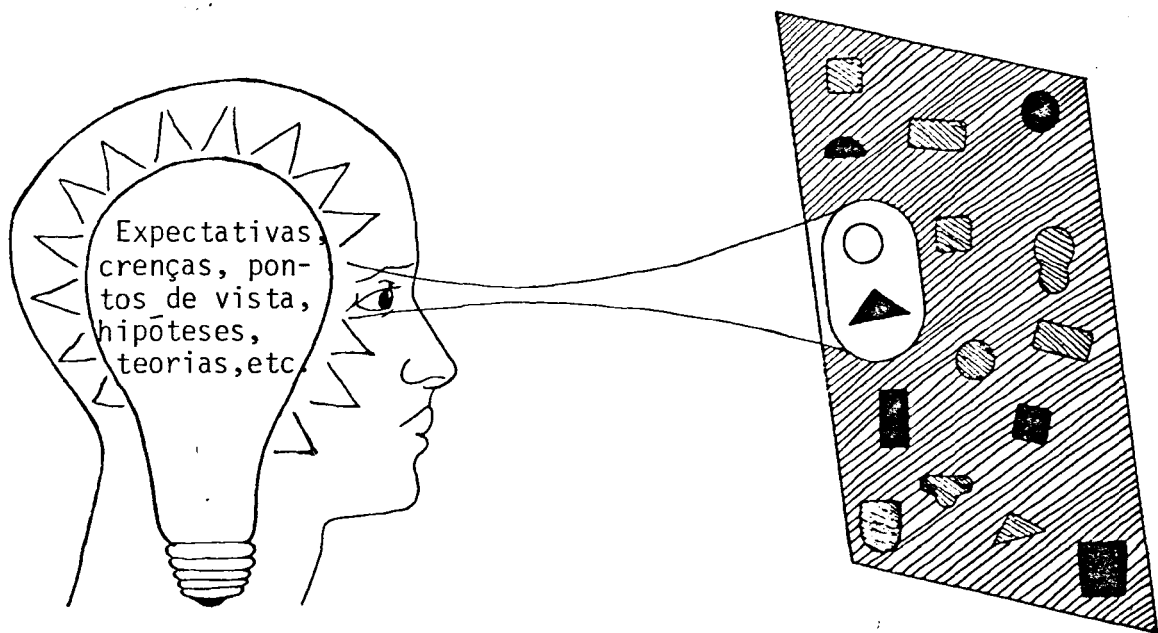


Figura 2 - A teoria do holofote.

O que Popper está querendo dizer é que, tanto o conhecimento comum como o conhecimento científico, progredem a partir de expectativas que colidem com observações, ou de hipóteses que são refutadas por testes experimentais. Quando isto acontece, surgem novas expectativas ou novas hipóteses. Se regredirmos neste processo, teremos, no caso de um indivíduo, uma série de expectativas mais antigas, até chegarmos às expectativas inatas. No caso do conhecimento científico, encontraremos uma série de teorias e hipóteses, até terminarmos em mitos pré-científicos, ou em expectativas ainda mais antigas¹³.

2.1.3. Em defesa da teoria do holofote: as ilusões de ótica e o componente inato

Algumas figuras de caráter ambíguo servem para mostrar como nossa percepção visual varia de acordo com o ponto de vista adotado. Se observarmos o cubo da figura 3 (o chamado cubo de Necker), por um certo tempo, veremos que, subitamente, ocorre uma mudança em sua forma: a face anterior vai para trás e vice-versa. No desenho ao lado do cubo, pode-se ver um vaso branco contra um fundo negro, ou duas faces contra um fundo branco. A terceira figura pode ser vista como uma moça com o rosto meio de lado. Ou então, como uma velha de perfil, olhando para baixo.

Se olharmos fixamente para o X da figura 3, com a folha a mais ou menos 30 cm de distância, mantendo o olho esquerdo fechado, e a seguir aproximarmos vagarosamente a

folha para mais perto do rosto, em certo momento a imagem do ponto desaparecerá. Isto ocorre porque, neste momento, a imagem do ponto cai em um local da retina chamado ponto cego, onde não há receptores visuais. O interessante é que no lugar do ponto não se forma nada parecido com ele, como uma mancha escura, ou um furo, mas uma região com o mesmo aspecto do resto do papel (se o papel for verde, por exemplo, aparecerá uma região verde). Assim, embora o ponto cego esteja constantemente presente em nosso campo visual, o sistema nervoso se encarrega de preenchê-lo com as características da região à sua volta. Mas esta interpretação é falsa: o que há realmente naquele lugar é um ponto escuro.

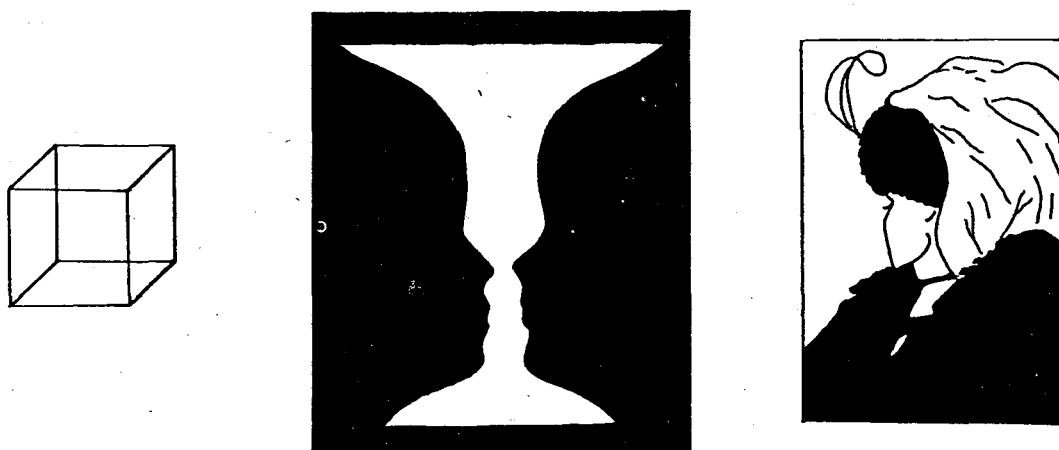
**X**

Figura 3 - Ilusões de ótica que exemplificam a teoria do holofote.

Esses exemplos ilustram a teoria, aceita por psicólogos e fisiólogos em geral, de que mesmo em percepções visuais simples nossa mente é bastante ativa, apresentando categorias interpretativas que influem na percepção¹⁴. Tudo se passa como se estivéssemos constantemente testando nossas interpretações (ou hipóteses) contra as informações sensoriais recebidas. Para o psicólogo Richard Gregory, essas figuras permitem concluir que nós não percebemos o mundo apenas a partir de informações sensoriais, pois as figuras são sempre as mesmas; as informações sensoriais que nos chegam não mudam e são usadas para testar diferentes hipóteses, produzidas em nosso cérebro, sobre o que a figura representa (vaso ou figuras de perfil?). Como nenhuma das hipóteses concorrentes "explica melhor" as informações, elas se alternam, produzindo interpretações diferentes. Nenhuma subsiste por muito tempo¹⁵.

Com a evolução dos conhecimentos da psicologia, da neurofisiologia e de outras ciências afins, tornou-se difícil, atualmente, defender um empirismo tão radical quanto o da teoria do balde mental. Diversos estudos evidenciam que há um componente inato em nossa capacidade de aprender, interpretar e reagir ao ambiente. Não se questiona mais a influência dos genes no comportamento animal e humano. Aliás, não são herdados apenas comportamentos automáticos, como o de chupar o dedo e outros reflexos, mas também disposições para percepção, cognição e outros fenômenos mentais. Segundo E.O.Wilson,

"A síndrome de Turner, que ocorre quando somente um dos dois cromossomos X é transmitido, determina não apenas a diminuição do nível geral de inteligência, como um enfraquecimento particularmente profundo da habilidade de relembrar formas e da orientação entre esquerda e direita em mapas e diagramas"¹⁶.

Além disso, estudos comparativos de gêmeos evidenciam a influência genética em traços da personalidade, e estudos psicolinguísticos, como os de Chomski, parecem indicar que há uma base inata para o aprendizado de certas regras de linguagem. Portanto, a afirmação de Popper de que nascemos com disposições inatas não parece gratuita. Finalmente, o estudo do comportamento animal demonstra como as reações e a percepção do ambiente são seletivas: é sabido que sapos podem morrer de fome em meio a um grande número de moscas mortas à sua volta, uma vez que sua visão somente detecta objetos móveis. Portanto, do mesmo modo que o sapo, teríamos disposições inatas para perceber certos aspectos da realidade em detrimento de outros.

2.1.4. Críticas às sentenças protocolares

Vimos que os enunciados ou sentenças protocolares já foram encarados como um ponto de partida seguro para o conhecimento científico. Assim, o enunciado "aqui está um cisne branco" serviria de apoio para confirmar a hipótese de que todos os cisnes são brancos. Contudo, as mesmas críticas feitas à ideia de observação pura se aplicam a esses enunciados: eles, na realidade, deixam subentendido muito mais do que se pensa. Quando vemos um cisne branco

temos uma "experiência sensorial" que poderia ser descrita, de forma imprecisa, como "uma mancha branca com certa forma e tamanho". Afirmar que esta experiência sensorial é um cisne branco é atribuir àquela mancha uma série de propriedades que esperamos que ela possua. Estamos dizendo que aquela mancha é capaz de voar, tem penas, é um ser vivo, move-se; enfim, estamos reconhecendo e classificando aquela mancha como um tipo de animal com certas características comuns a todo um conjunto, no caso, a espécie dos cisnes. Conceitos como cisne e branco são idéias gerais, que, em linguagem filosófica, chamam-se universais. Assim, o conceito de cisne é algo diferente de um cisne em particular e, ao reconhecermos algo como um cisne, lançamos mão de uma série de experiências anteriores e de conhecimentos práticos, teóricos e até filosóficos sobre o que é um cisne e o que é branco. Eles não são "fornecidos" diretamente pela nossa observação naquele momento.

É isto que Popper quer dizer quando afirma que:

"(...) Efetivamente, não há como emitir um enunciado científico sem ultrapassar, de muito, aquilo que pode ser conhecido, de maneira inconteste, com base na experiência imediata. (...) Toda descrição usa nomes (ou símbolos, ou idéias) universais, todo enunciado tem o caráter de uma teoria, de uma hipótese. O enunciado 'aqui está um copo com água' não admite verificação por qualquer experiência observacional. A razão está no fato de os universais que nele ocorrem não poderem ser correlacionados com qualquer experiência sensorial específica. (Uma 'experiência imediata' é 'imediatamente dada' apenas uma vez; ela é única). Usando a palavra 'copo', indicamos corpos físicos, que exibem certo comportamento legalóide, e o mesmo cabe dizer com respeito à palavra 'água' (...) "¹⁷.

Portanto, ao afirmarmos que algo é um copo de água estamos, implicitamente, fazendo uma série de previsões e generalizações e, de certa forma, enunciando leis. Assim, se dissermos para uma pessoa com sede "aqui está um copo de água", provavelmente ela o beberá, esperando matar sua sede. Para ela, e para nós também, a expressão "copo de água" subentende, entre outras, generalizações de que a água mata a sede¹⁸. Um enunciado aparentemente simples ganha assim um caráter de lei geral, ou até de um conjunto de leis, sendo que algumas delas talvez não sejam verdadeiras. A chamada "água pesada" formada por um isótopo do átomo de hidrogênio — o deutério — não mata a sede, apesar de ser visualmente indistinguível da água comum.

Os enunciados protocolares não oferecem portanto segurança nem mesmo para generalizações simples, do tipo "todos os cisnes são brancos". Além disso, como veremos adiante, as leis científicas alcançam, em geral, um nível de profundidade muito maior do que simples generalizações. Sugeriu-se então que percepções sensoriais do tipo "vejo agora uma mancha de certa cor, forma e tamanho" poderiam ser usadas como ponto de partida para o conhecimento científico, uma vez que estas experiências são inquestionavelmente verdadeiras para o sujeito que as experimenta¹⁹. Entretanto, como mostra Watkins, mesmo as experiências deste tipo não são puras e envolvem expectativas, hipóteses e previsões como a de que a mancha persista no tempo e de que não seja ilusão de minha mente²⁰.

Finalmente, como veremos nos próximos capítulos, as leis científicas referem-se a construtos hipotéticos que vão muito além daquilo que podemos observar. Como diz Watkins, "as leis de Kepler, por exemplo, não podem receber apoio de enunciados autobiográficos do tipo "em meu campo visual, um ponto brilhante coincide agora com a interseção de uma linha horizontal e vertical". São necessários enunciados muito mais complexos que estes, a respeito de telescópios, ângulos de elevação etc.²¹. Do mesmo modo, para Bunge,

"(...) a ciência explica a aparência sobre a base de fatos objetivos (hipotéticos), e não o contrário. Enquanto o fenomenista e o empirista radical têm que aceitar a proposição 'vejo esta noite mais estrelas que a noite passada' como uma afirmação última, uma vez que ela expressa uma experiência, o cientista tentará explicar essa experiência, baseando-se, por exemplo, nas condições atmosféricas e irá supor que, vendo-as ou não, as estrelas continuam ali(...)"²².

2.1.5. A necessidade de hipóteses que guiem a observação

Apesar de tudo, a crença de que a ciência e o conhecimento comum começam com observações e caminham destas para hipóteses e teorias ainda é bastante difundida. Popper relata que uma vez começou uma conferência pedindo aos estudantes para observarem cuidadosamente, anotando o que pudessem observar. Os estudantes quiseram saber, então, o que deveriam observar. A instrução era, portanto, claramente absurda²³. Conforme comenta Popper,

"(...) se me disserem: 'Registre o que está experimentando agora', dificilmente saberei como obedecer a essa ordem ambígua. Devo registrar que estou escrevendo; que estou ouvindo um sino tocar; um menino gritar; um alto-falante zumbir; ou devo, talvez, registrar que esses ruídos me irritam? E, ainda que a ordem pudesse ser cumprida: por mais rica que seja a coleção de enunciados reunidos dessa maneira, ela nunca poderia equivaler a uma ciência. Uma ciência requer pontos de vista e problemas teóricos(...)"²⁴

Portanto, quando um professor pede ao aluno para realizar alguma observação, ele deve definir um critério, um problema, uma finalidade ou criar uma expectativa, de modo a estimular observação seletiva do aluno. É esse o processo pelo qual o cientista recolhe os dados de sua pesquisa. É deste modo que procuramos resolver problemas em uma série de atividades diferentes.

É fácil visualizar a enorme quantidade de fatores à disposição de um pesquisador, se pensarmos na atividade de um historiador. É impossível, obviamente, recolher todos os elementos que constituem determinado acontecimento histórico. O que o historiador faz, na realidade, é selecionar alguns elementos considerados relevantes para a compreensão do acontecimento em questão, tomando por base certas teorias que irão privilegiar a situação econômica da época, os sistemas sociais, o comportamento humano etc. Na realidade, o historiador reconstrói os acontecimentos de acordo com estas hipóteses e teorias²⁵.

Como vimos no primeiro capítulo, o médico também é guiado por determinadas teorias e hipóteses acerca da

causa da doença. Estas teorias e hipóteses não são usualmente formuladas porque já se tornaram parte de um "conhecimento de fundo", tacitamente admitido como verdadeiro. Este conhecimento constitui a base de diversos procedimentos, que já se tornaram automáticos pelo hábito.

É ele que impede que o médico se perca em meio a um número potencialmente ilimitado de observações possíveis, sem se preocupar, por exemplo, com a cor do sapato do paciente ou o nome de seu tio.

Estas observações sô nos parecem ridículas e absurdas porque admitimos como certas as teorias médicas a respeito das doenças. A história da ciência, porém, registra procedimentos — como atirar com canhões para debelar epidemias — que atualmente nos parecem absurdos. Mas naquela época, não devemos esquecer, as teorias aceitas eram outras.

Um outro exemplo pode ser usado para demonstrar como esse absurdo é relativo. Para um psicólogo que procura descobrir certos traços da personalidade de um indivíduo, a idade pode ser um dado importante. Mas, segundo as teorias aceitas pelo psicólogo, a hora exata, o dia e o mês do nascimento não precisam ser levados em conta. Esses dados, porém, são importantíssimos para um astrólogo, uma vez que entre seus pressupostos está a crença de que a posição dos astros no momento do nascimento influencia as características de uma pessoa. Assim, observações que podem parecer absurdas para o psicólogo, não o são para o

astrólogo. Cada um deles tem uma teoria própria, que os leva a observar certos fatos e a ignorar outros.

Finalmente, analisemos o trabalho de um cientista — um ornitólogo — que deseja descobrir como as aves conseguem se orientar durante suas migrações. Por onde começar? Pela observação? Mas observar o quê? A beleza dos pássaros, os lugares por onde eles passam, a formação durante o voo? Há um número infinito de observações que podem ser feitas. Suponhamos que ele tenha uma hipótese inicial para dirigir sua observação: as aves se orientam pela posição do sol. Ele poderá então programar observações ou experimentos para testar sua hipótese. Assim, se elas se orientam pelo sol devem se perder de noite ou em dias nublados. Novas observações demonstram que isso não ocorre. Bem, podemos supor que elas não usem o sol ou que, mesmo que o façam, disponham de outras "pistas". Talvez sigam certos acidentes geográficos. A partir desta outra hipótese podemos tentar descobrir se há sempre acidentes geográficos notáveis nos trajetos de todas as migrações. Novamente há um choque entre a observação e a hipótese: a andorinha-do-mar ártica voa pelo menos 3.000 km sobre o oceano Antártico, sem nenhuma terra para orientá-la²⁶.

Alguns cientistas imaginaram então que as aves poderiam se guiar pelo campo magnético terrestre. Realmente, um material magnético colocado em algumas aves atrapalhou sua migração. O resultado indica que pelo menos algumas espécies podem ter esta propriedade. Entretanto, as pes-

quisas continuam e o problema ainda não foi resolvido satisfatoriamente.

2.1.6. Para que serve a observação?

Como vemos, hipóteses orientam a observação e a experimentação no longo das várias etapas da investigação científica. Porém, embora não haja observações puras ou neutras, não é absurdo dizer que o cientista deve observar sem preconceitos. Essa recomendação pode ser entendida como uma advertência para que ele não aja dogmaticamente, isto é, para que ele não procure tornar suas hipóteses imunes às críticas.

Ele deve encarar a observação como uma possibilidade de refutação de suas hipóteses. Segundo Popper, embora a observação neutra seja impossível, algo parecido pode ser atingido se o cientista tiver uma atitude crítica em relação às hipóteses que guiam suas observações. Essa recomendação é importante porque nós temos, em geral, a tendência oposta de procurar confirmações para nossas hipóteses ou, em outras palavras, de observar justamente aquilo em que acreditamos (algo como "crer para ver"). Popper propõe, ao contrário, que procuremos refutar, através de observações, aquilo em que acreditamos²⁷. Uma vez que as observações podem se chocar com um conhecimento aceito provisoriamente como verdadeiro, levando-nos talvez a reformulá-lo. O choque entre observação e hipótese indica que algo está errado e que teremos de descobrir o respon

sável — a hipótese é falsa, a experiência não foi bem conduzida, etc. Como a observação empregada no teste está impregnada de pressupostos, hipóteses e teorias, este processo é, às vezes, muito difícil. Além disso, como a observação não constitui um porto seguro para o conhecimento, qualquer que seja nossa decisão, ela será sempre conjectural e aceita provisoriamente. Mas, em compensação, poderá ser criticada e testada de outras formas sempre que o cientista achar necessário.

Finalmente, poderíamos perguntar por que o cientista se preocupa em elaborar hipóteses. Suponhamos que ele esteja passeando no campo e veja um bando de pássaros cruzando os céus. Ele poderá simplesmente apreciar a beleza da cena. Mas, talvez, sua curiosidade o leve a perguntar por que eles conseguem voar, para onde estão indo, ou como conseguem se orientar. Neste caso, ele começa a perceber problemas. É justamente para resolver problemas que ele irá formular e testar hipóteses, dando início à atividade científica.

2.2. Os problemas como ponto de partida para a atividade científica

Os problemas não só desencadeiam a atividade científica, mas estão presentes ao longo de toda a investigação. Ao recolher dados, fabricar instrumentos de medidas, planejar experiências, construir e analisar teorias e escolher técnicas adequadas para a avaliação dos resulta-

dos, o pesquisador se vê às voltas com inúmeros problemas teóricos e práticos. A capacidade de resolver problemas e de perceber que eles existem é essencial para o trabalho do cientista.

2.2.1. Como surgem os problemas

Como você se sente quando não consegue lembrar o nome de uma pessoa, mas percebe que ele está "na ponta da língua"? Ou quando não consegue achar alguma coisa que está procurando? O que você faz se o seu carro para de funcionar no meio de uma viagem? Os problemas surgem quando algo não ocorre conforme esperávamos, quando algo não está em ordem, quando nossas teorias ou expectativas não são confirmadas²⁸. Como diz o ditado popular, "sô sentimos o sapato quando ele aperta". A percepção de um problema deflagra, então, o raciocínio e a investigação científica, levando-nos a formular hipóteses e realizar observações.

Em relação ao conhecimento científico, os problemas podem surgir do conflito entre fatos e teorias tidas como verdadeiras, ou de incompatibilidade entre teorias. Einstein percebeu que havia uma incompatibilidade entre a mecânica de Newton e a eletrodinâmica de Maxwell; a observação de várias espécies de aves muito parecidas, no arquipélago de Galápagos, abalou a confiança de Darwin na teoria fixista, que dizia que as espécies eram imutáveis²⁹.

Como estamos vendo, os problemas nascem a partir

de algum conhecimento prévio. Sendo assim, quando perguntamos por onde a ciência começa, a resposta poderá ser: por um conhecimento inicial que é posto em dúvida; que é problematizado. Não importa se este conhecimento é inato ou adquirido; qualquer que seja sua origem, ele não deve ser considerado como absolutamente verdadeiro e, portanto, não estará a salvo de críticas. É justamente por isso que poderá ser criticado, iniciando-se então um novo ciclo de investigação que revelará novos problemas e novas soluções. Como veremos no próximo capítulo, é assim que Popper explica como nosso conhecimento se amplia.

Um bom cientista não se limita a resolver problemas, mas também formula perguntas originais e descobre problemas onde outros viam apenas fatos banais, como ocorreu com a descoberta da penicilina. Antes de Fleming, os pesquisadores simplesmente jogavam fora meios de cultura de bactérias, quando estas tinham sido invadidas por mofo, fato que acontece com certa frequência em laboratório. Fleming, entretanto, observou que em volta do mofo havia uma região onde não cresciam bactérias. Ele supôs então que alguma substância estava sendo produzida pelo mofo e que esta substância poderia inibir o crescimento de bactérias. Posteriormente foi iniciada uma série de pesquisas que culminaram com o aparecimento do primeiro antibiótico, a penicilina, extraída do fungo do gênero *Penicillium*.

A descoberta de Fleming não foi totalmente casual,

nem sua observação passiva. Ele vinha pesquisando substâncias antibacterianas há algum tempo, tendo descoberto inclusive a lisozima — uma enzima presente nas lágrimas — com atividade contra algumas bactérias. Entretanto, esta substância era inútil contra a maioria das bactérias causadoras de doenças. Fleming, portanto, já procurava algo para matar bactérias³⁰. Com efeito, os ventos só ajudam aos navegadores que têm um objetivo definido.

Caso semelhante ocorreu também com Pasteur, ao perceber que as bactérias presentes em uma gota de um líquido deixaram de se mover quando se aproximavam de suas bordas. Supôs, então, que isto acontecia por causa da maior quantidade de oxigênio do ar nas bordas da gota, e que essas bactérias não eram capazes de viver em presença de oxigênio: uma hipótese ousada para a época, quando todos acreditavam ser impossível viver sem oxigênio³¹.

2.2.2. Como resolver problemas

Um problema é resolvido quando se descobre uma hipótese que, após ter passado por testes, é aceita, pelo menos provisoriamente, como a solução para o problema. Mas, como veremos adiante, não há regras para se descobrir hipóteses. Elas surgem da imaginação e da criatividade do cientista. Nesse sentido não há método científico, isto é, não há um processo seguro, que, se for seguido religiosamente, leve ao sucesso. O que pode haver é uma maior ou menor capacidade de perceber problemas e de imaginar solu

ções para ele. Entretanto, após ter sido formulada, a hipótese será criticada, testada experimentalmente, comparada com outras hipóteses. Esta segunda etapa obedece a um conjunto de normas que poderíamos chamar de método científico e, neste sentido, podemos dizer que este método existe³².

É comum se afirmar que para resolver um problema devemos formulá-lo o mais claramente possível, o que facilitará a descoberta de hipóteses definidas que possam ser testadas. Entretanto, nem sempre é fácil perceber ou formular um problema claramente. Popper sugere que mesmo sem compreender totalmente o problema o cientista deve tentar resolvê-lo e criticar a solução obtida. À medida que descobre soluções que não funcionam, ele poderá compreender melhor a natureza do problema e formular questões mais precisas. Desse modo, "aprendemos a compreender um problema tentando resolvê-lo e fracassando"³³. Portanto, mesmo soluções inadequadas, quando criticadas, ajudam a perceber melhor o problema, pois:

"(...) compreender um problema significa compreender suas dificuldades; e compreender suas dificuldades significa compreender porque ele não é solucionável facilmente — por que as soluções mais óbvias não funcionam(...)"³⁴

Através deste processo de formulação de hipóteses seguido de crítica, podemos ir aprimorando nossas soluções. Desse modo, ocorre um progresso em nosso conhecimento e novos problemas aparecem para substituir os problemas antigos³⁵.

2.2.3. A ciência como uma coleção de problemas

Muitos problemas científicos surgiram a partir de problemas práticos, idéias filosóficas ou mitos. O atomismo grego, por exemplo, que supunha que a matéria consistia em partículas sólidas muito pequenas e indivisíveis, foi uma idéia filosófica geradora de muitas pesquisas na física e química³⁶. Mas a maioria dos problemas estudados atualmente pelos cientistas surgiu a partir de um conjunto de teorias científicas que funciona como um conhecimento de base. Por isso, a formulação e a resolução de problemas científicos só podem ser feitas por quem tem um bom conhecimento das teorias científicas de sua área.

Há sempre problemas novos em qualquer campo da ciência. Mesmo fenômenos bastante estudados — como o funcionamento da membrana da célula, o mecanismo da evolução, a origem da vida e a evolução do homem ou a estrutura das partículas que formam o núcleo do átomo — possuem ainda muitos pontos ignorados.

Em outros casos, o que se busca é uma nova teoria capaz de fornecer uma nova visão dos fenômenos, como é o caso da tentativa de unificação, em uma única teoria, das quatro forças fundamentais da natureza (força eletromagnética, gravidade e forças nucleares forte e fraca).

Em certas áreas nosso conhecimento ainda é bastante pobre, e nenhuma das teorias atuais fornece uma explicação satisfatória. É o caso da extinção dos dinossauros,

das bases neurofisiológicas da memória, do papel da hereditariedade e do ambiente na inteligência, etc.

Hã problemas que têm uma inegãvel importância prãtica, como a descoberta do mecanismo e tratamento do cãncer, ou o uso da engenharia genãtica para produzir novas variedades de culturas agrĩcolas. Outros poderãõ modificar nossa visãõ de mundo e nossas concepções filosõficas, exigindo discussões de ordem ètica. Assim, serã que podemos construir computadores capazes de raciocinar tãõ bem ou melhor do que nãõs? Serã possĩvel deter o envelhecimento? Hã vida em outros planetas? Pode-se fazer uma "cõpia" ou "clone" de um indivĩduo? Como surgiu o universo? Ele terã um fim?

Para quem deseja se dedicar ã pesquisa cientĩfica e participar desta aventura do conhecimento humano, sempre haverã muitos problemas a serem resolvidos.

2.3. Resumo

Tanto o conhecimento comum como o conhecimento cientĩfico nãõ começam com observaões "puras". Mesmo nas experiências mais elementares sãõ ativas e seletivas, jã que sãõ guiadas por expectativas, interesses, problemas, hipõteses — enfim, por todo um conhecimento prẽvio. Um simples enunciado descrevendo uma experiência bastante simples, como "eis aqui um copo de ãgua", contẽm, impliciamente, muitos conceitos e idẽias gerais que antecedem a experiência em questãõ. Portanto, qualquer pesquisador tem

diante de si uma enorme massa de fatos que podem ser observados e descritos de muitas formas diferentes, de acordo com as hipóteses e teorias adotadas, que funcionam como uma espécie de farol ou holofote, dirigindo seletivamente a atenção e o interesse do pesquisador.

As hipóteses guiam as observações do cientista. No entanto, determinadas observações podem vir a se chocar com uma hipótese ou um conjunto de conhecimentos prévios, levando o cientista a reformular e corrigir conhecimentos aceitos, pelo menos provisoriamente, como verdadeiros. Há assim um constante vaivém entre observação e teoria durante a pesquisa científica.

A busca do conhecimento científico é deflagrada quando constatamos uma incompatibilidade entre duas teorias, entre fatos e teorias ou ainda quando alguma expectativa, hipótese ou conhecimento prévio são questionados — em outras palavras: quando constatamos um problema. A capacidade de perceber problemas e de descobrir hipóteses que os solucionem depende da criatividade do cientista. Para Popper, a melhor maneira de compreender mais profundamente um problema é tentar resolvê-lo, procurando sempre criticar as soluções obtidas.

O conhecimento científico não deve ser visto apenas como um conjunto de fatos, leis e teorias, mas também como um conjunto de problemas. Em qualquer campo da ciência encontraremos sempre questões sem respostas e problemas que estão sendo completamente resolvidos. Mesmo teo-

rias aparentemente confirmadas e firmemente estabelecidas podem ser substituídas por novas teorias, mais amplas e profundas, que explicam melhor os fatos.

2.4. Leituras suplementares

Uma exposição resumida sobre o empirismo é encontrada em RUSSELL, Bertrand. História da filosofia ocidental. 4. ed. Brasília, Ed. da Universidade de Brasília; São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1982, v.3, pp.133-242; SCRUTTON, Roger. Introdução à filosofia moderna; de Descartes a Wittgenstein. Rio de Janeiro, Zahar, 1982, pp. 83-133. Para uma exposição mais detalhada, ver: WEDBERG, Anders. A history of philosophy. London, Oxford University Press, 1982, v.2, pp. 74-119.

Para a história, discussão e crítica do positivismo lógico, ver: AYER, A.J. Philosophy in the twentieth century. London, Unwin Paperbacks, 1982, pp.108-141; CUPANI, Alberto. A crítica do positivismo e o futuro da filosofia. Florianópolis, Ed. da UFSC, 1985; HEGENBERG, Leonidas. Etapas da investigação científica. São Paulo, EPU; Ed. da Universidade de São Paulo, 1976, v.2, pp.1-36; POPPER, Karl. Autobiografia intelectual. São Paulo, Cultrix; Ed. da Universidade de São Paulo, 1977, pp.95-7; STEGMÜLLER, Wolfgang. A filosofia contemporânea. São Paulo, EPU; Ed. da Universidade de São Paulo, 1977, pp.275-329; URMSON, J.O. Philosophical analysis. Oxford, Clarendon, 1956; WEDBERG, Anders. Op. cit., v.3. pp.33-49 e pp.198-250.

Sobre observação, hipóteses e problemas, ver: ALVES, Rubem. Filosofia da ciência; introdução ao jogo e suas regras. 4. ed. São Paulo, 1983, pp. 10-67; BEVERIDGE, W.I.B. Sementes da descoberta científica. São Paulo, T.A. Queiroz; Ed. da Universidade de São Paulo, 1981; BUNGE, Mario. La investigación científica: su estrategia y su filosofía. 8. ed. Barcelona, Ariel, 1973, pp.189-333 e 717-759; DAVIES, J.T. The scientific approach. London, Academic Press, 1965, pp. 1-17; HANSON, N. Russell. "Observação e Interpretação". In: MORGENBESSER, Sidney (org.). Filosofia da ciência. São Paulo, Cultrix, 1979, pp.127-140 e Patterns of discovery; an inquiry into the conceptual foundation of science. Cambridge, Cambridge University Press, 1958; HEGENBERG, Leônidas. Op. cit. v. 1, pp. 11-39; HEMPEL, Carl G. Filosofia da ciência natural. 3. ed., Rio de Janeiro, Zahar, 1981, pp. 13-31; POPPER, Karl. Conhecimento objetivo; uma abordagem evolucionária. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, pp. 313-32 e A lógica da pesquisa científica, São Paulo, Cultrix, 1972, pp. 99-120; WATKINS, John. Science and scepticism. Princeton. Princeton University, 1984, pp. 247-78.

2.5. Notas e referências bibliográficas

¹ Cf. WEDBERG, Anders. A history of Philosophy: London, Oxford University, 1982, v. 2, pp. 89-90.

² POPPER, Karl. Conhecimento objetivo, pp. 67-8.

- ³ Cf. Ibid., pp. 66-7.
- ⁴ Cf. Ibid., p. 66.
- ⁵ Cf. WATKINS, John. Science and scepticism. Princeton, Princeton University, 1984, pp. 136-41 e LOSEE, John. Introdução histórica à filosofia da ciência. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1979, pp. 175-87.
- ⁶ Cf. RUSSELL, Bertrand. Nosso conhecimento do mundo exterior. São Paulo, Companhia Editora Nacional; Ed. da Universidade de São Paulo, 1986, pp. 46-98.
- ⁷ Cf. WEDBERG, Anders. Op. cit., v. 2, p. 208.
- ⁸ Cf. Ibid., pp. 208-10.
- ⁹ Cf. Ibid., pp. 212-3.
- ¹⁰ Cf. Ibid., pp. 221-2.
- ¹¹ Cf. POPPER, Karl. Conhecimento objetivo, Op. Cit., p. 69.
- ¹² Ibid., p. 318.
- ¹³ Cf. Ibid., pp. 318-9.
- ¹⁴ Cf. WATKINS, John. Op. Cit., p. 257.
- ¹⁵ Cf. GREGORY, Richard L. Eye and brain: the psychology of seeing. 2. ed. London, Weidenfeld and Nicholson, 1972, p. 222.

- ¹⁶ WILSON, E.O. Da natureza humana. São Paulo, T.A. Queiroz; Ed. da Universidade de São Paulo, 1981, p. 44.
- ¹⁷ POPPER, Karl. A lógica da pesquisa científica. 2. ed. São Paulo, Cultrix, 1975, p. 101.
- ¹⁸ WATKINS, John. Op. cit., p. 82.
- ¹⁹ Cf. CARNAP, Rudolf. The logical structure of the world and pseudoproblems in philosophy. London, Routledge & Kegan Paul, 1967.
- ²⁰ WATKINS, John. Op. cit., p. 33.
- ²¹ Cf. Ibid., p. 91.
- ²² BUNGE, Mario. La investigación científica, pp. 325-6.
- ²³ POPPER, Karl. Conjecturas e refutações, p. 76.
- ²⁴ Id., A lógica da pesquisa científica, pp. 113-4.
- ²⁵ Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., p. 251.
- ²⁶ Cf. ATTENBOROUGH, David. A vida na terra. São Paulo, Martins Fontes; Brasília, Ed. da Universidade de Brasília, 1981, p. 202.
- ²⁷ Cf. POPPER, Karl. "Replies to my critics", p. 1032.
- ²⁸ Id., Conhecimento objetivo, p. 235.
- ²⁹ Cf. KNELLER, George F. A ciência como atividade humana, p. 100.

³⁰ Cf. BEVERIDGE, W.I.B. Sementes da descoberta científica. São Paulo, T.A. Queiroz; Ed. da Universidade de São Paulo, 1986, pp. 19-34.

³¹ Id., The art of scientific investigation. 3. ed. London, Heinemann, 1957, p. 97.

³² Cf. POPPER, Karl. "Replies to my critics", p. 1031.

³³ Cf. Id., Conhecimento objetivo, p. 173.

³⁴ Cf. Ibid., p. 237.

³⁵ Cf. Ibid., p. 238.

³⁶ Cf. WEDBERG, Anders. Op. cit., vol. 1, p. 24.

CAPÍTULO III

O PROBLEMA DA INDUÇÃO — UM ADEUS À CERTEZA

"Se acreditamos que o fogo aquece ou que a água refresca, isto só acontece porque nos custa muito trabalho pensar de outra maneira."

David Hume

"O que esses argumentos [os argumentos de Hume] provam (...) é que a indução é um princípio lógico independente, incapaz de ser inferido da experiência ou de outros princípios lógicos, e que, sem este princípio, é impossível a ciência."

Bertrand Russell

"A indução, por conseguinte, é um mito (...) Não se deve lamentar a inexistência da indução: podemos perfeitamente dispensá-la, admitindo que as teorias são conjecturas ousadas, que as criticamos e as submetemos a provas da maneira mais severa possível e com toda a engenhosidade que possuímos."

Karl Popper

No capítulo anterior vimos que a investigação científica se inicia quando percebemos a existência de um problema e tem continuidade com a tentativa de descobrir hipóteses que o solucionem. Para alguns filósofos, há um processo que a partir de um conjunto de dados permite descobrir e confirmar certas hipóteses e leis de caráter geral: o método indutivo ou indução. Entretanto, Hume questionou seriamente a validade deste método, ao procurar demonstrar que a indução não pode ser justificada racionalmente. Desde então, responder às dúvidas de Hume tem sido uma das tarefas preferidas de muitos filósofos.

Há duas estratégias principais para responder às críticas de Hume: os filósofos indutivistas afirmam que a indução é importante tanto para o conhecimento comum quanto para o conhecimento científico e tentam justificar essa afirmação desenvolvendo uma lógica indutiva ou probabilística. Para os não indutivistas, a indução não só não pode ser justificada, como também não desempenha nenhum papel em relação ao método científico ou ao conhecimento comum. Popper encontra-se neste último grupo. Para ele, a indução simplesmente não existe: é um mito.

Não deixa de ser curioso que, embora não se tenha chegado a um consenso a respeito da importância e da legitimidade da indução, e embora este impasse ainda incomode muitos filósofos, isso não impeça que os cientistas continuem com suas pesquisas e realizem novas descobertas.

Neste capítulo será discutido inicialmente o pro-

blema da indução e a solução dada por Hume. A seguir, será feita uma breve exposição crítica da solução indutivista através de cálculo de probabilidade. Finalmente, será apresentada, em linhas gerais, a solução de Popper e sua visão a respeito do desenvolvimento do conhecimento comum e do conhecimento científico.

A ênfase em Popper deve-se à posição não indutivista assumida neste trabalho. Concordo com vários filósofos da ciência da atualidade, para os quais esse ponto de vista é o mais adequado para explicar o avanço do nosso conhecimento. Além disso, acredito que as idéias básicas de Popper possam ser apreendidas por estudantes de ciências do segundo grau e utilizadas com sucesso no desenvolvimento do espírito científico.

3.1. O problema da indução e a solução de Hume

Uma das ocupações preferidas dos filósofos é levantar dúvidas sobre verdades tidas como inquestionáveis. Foi exatamente isso que Hume fez, há dois séculos atrás, ao questionar a validade de uma forma de raciocínio que até hoje parece perfeitamente evidente e verdadeira.

3.1.1. O "salto" indutivo

O sol vai nascer amanhã? Parece óbvio que sim. Mas por que temos tanta certeza disso? Ora, porque ele vem nascendo todos os dias, muitos responderiam, ou, em outras palavras, porque este acontecimento se repetiu mui

tas vezes no passado. É esta repetição, diriam ainda, que nos dá certeza que ele vai nascer amanhã e que nascerá para sempre. Entretanto, o que nossas observações mostraram foi que o sol nasceu no passado, mas estamos fazendo uma pergunta sobre o futuro. Não "vimos" o **S**ol nascer amanhã! Houve aqui um "salto" em nosso raciocínio: a partir de exemplos repetidos — ocorridos no passado — fazemos uma previsão, ou seja, inferimos algo que ainda não ocorreu, algo que ainda não observamos. Vale a pena insistir nesse ponto. O que precisa ficar claro é que nossas observações nos permitem concluir apenas que determinado acontecimento se repetiu no passado. Por que elas nos autorizariam a afirmar que a mesma coisa ocorrerá no futuro?

Vejamos um outro exemplo: um ornitólogo amador decide viajar e observar cisnes em várias partes do mundo. Logo encontra um cisne branco. Mais adiante, encontra outros cisnes brancos. Após alguns meses tendo observado quase uma centena de cisnes brancos, nosso ornitólogo afirma, confiantemente, que todos os cisnes são brancos. Aqui também há um "salto" em seu raciocínio: a partir de algumas observações ele concluiu que todos os cisnes — inclusive os que ele ainda não observou — são brancos.

Com base nos exemplos acima, podemos definir a indução como o processo pelo qual — a partir de um certo número de observações, recolhidas de um conjunto de objetos, fatos ou acontecimentos (alguns cisnes brancos, o sol nasceu todos os dias até hoje) — concluímos algo aplicá-

cável a um conjunto mais amplo (todos os cisnes, todos os dias) ou a casos dos quais não tivemos experiência (o próximo cisne será branco; o sol nascerá amanhã)¹.

Provavelmente há os que consideram essa discussão totalmente absurda e desinteressante. Afinal de contas, parece evidente que todos acreditam na indução e que suas conclusões são verdadeiras. No entanto, como vimos no primeiro capítulo, a crença de que um enunciado é verdadeiro não significa que ele seja realmente verdadeiro. Embora muitos não saibam, há cisnes negros na Austrália. Quantos não juraram que a Terra é chata e que o sol gira em torno dela? Além disso, será que o enunciado "o sol nasce todos os dias" é verdadeiro?

Pelo menos no planeta Mercúrio esse enunciado é falso. Lá o sol não nasce nunca: como a duração de um dia é a mesma que a de um ano, é sempre a mesma face do planeta que fica voltada para o sol². Mas, insistirá um teimoso interlocutor fictício, houve, nesse caso, uma mudança nas condições de observação. A conclusão é verdadeira aqui em nosso planeta, onde foram realizadas as observações. Mesmo assim, nosso hipotético interlocutor errou de novo: nos pólos o sol não nasce todos os dias.

Talvez ele ainda possa argumentar que, se todas as condições forem as mesmas, a indução deverá funcionar. Entretanto, não vivemos em um universo estático, as mudanças ocorrem a cada instante. Também não adianta substituímos "todas as condições" por "condições relevantes". Co

mo saber o que é relevante? Não se pensava antigamente que a posição do observador era relevante para a generalização sobre o nascer do Sol. Além disso, tanto na ciência como no dia-a-dia, precisamos de leis gerais que nos permitam fazer previsões sobre situações semelhantes, uma vez que é muito pouco provável que duas situações sejam iguais.

3.1.2. A observação pode confirmar uma hipótese científica?

Generalizações são importantes também em ciência. Por isso, estamos novamente às voltas com o problema da indução. Como podemos descobrir, a partir de um número limitado de observações, que os metais se dilatam quando aquecidos? Ou que todos os raios que incidirem em um espelho plano voltam com o mesmo ângulo? Digamos que o cientista teve apenas um palpite de que essas leis possam ser verdadeiras. Mesmo assim, como poderíamos prová-las experimentalmente? Será que teríamos de examinar cada fração de grau para testar a lei da reflexão? E mesmo que tentássemos todos os metais da terra, que garantia teríamos de que as leis da dilatação continuarão válidas no futuro?

Hipóteses falsas podem gerar previsões verdadeiras. Como vimos no primeiro capítulo, a hipótese de que o sol gira em torno da Terra permite algumas previsões que se confirmam, como a de que ele nascerá amanhã. As leis de Lamarck explicam a evolução dos seres vivos e são confirmadas por certas observações. No entanto, hoje sabemos

que elas não são verdadeiras. Por conseguinte, não podemos dizer que uma experiência com resultado positivo prove que uma hipótese é verdadeira. Um exemplo prático de biologia pode ajudar a esclarecer melhor este ponto.

A hipótese da "herança misturada" afirmava que os filhos têm características intermediárias em relação aos pais. Realmente, se cruzarmos duas variedades da planta "maravilha", uma de flor vermelha e outra de flor branca, todos os filhos terão flores rosas, como podemos ver na figura 4 (primeiro cruzamento)³. Poderíamos pensar então que a hipótese foi confirmada experimentalmente. Contudo, a partir dessa hipótese, podemos extrair mais uma previsão: se cruzarmos uma flor vermelha com uma flor rosa, devemos obter apenas flores de cor rosa-escura. Mas não é isto que acontece! Se fizermos o cruzamento teremos metade dos filhos com cor vermelha e metade com cor rosa — nenhum dos filhos terá cor rosa-escura (segundo cruzamento na figura 4). Portanto, a hipótese foi refutada. A explicação para este resultado é dada pelas leis de Mendel, que afirmam que os fatores responsáveis pela hereditariedade ocorrem em dose dupla e não se misturam, como podemos ver na figura 4.

Talvez pudéssemos dizer que a hipótese continua válida para um cruzamento específico — o da flor maravilha vermelha com a flor maravilha branca. Contudo, como veremos no capítulo IV, restrições deste tipo diminuem muito a amplitude de uma lei, seu conteúdo informativo e sua apli

cação prática. Por outro lado, impedem novas previsões, prejudicando a descoberta de novos fatos e dificultando o crescimento científico. Em ciência procuramos sempre leis cada vez mais abrangentes e profundas, que expliquem o "mecanismo interno" dos fenômenos e englobem um grande número de casos. Assim, é um erro pensarmos que as leis e teorias científicas são hipóteses que foram confirmadas, deixando portanto de ser meras suposições. Como diz Popper:

" (...) nunca houve uma teoria tão bem 'firmada' quanto a de Newton (...) mas, seja o que for que alguém possa pensar a respeito da situação da teoria de Einstein, ela certamente nos ensinou a olhar a de Newton como 'mera' hipótese ou conjectura" ⁴.

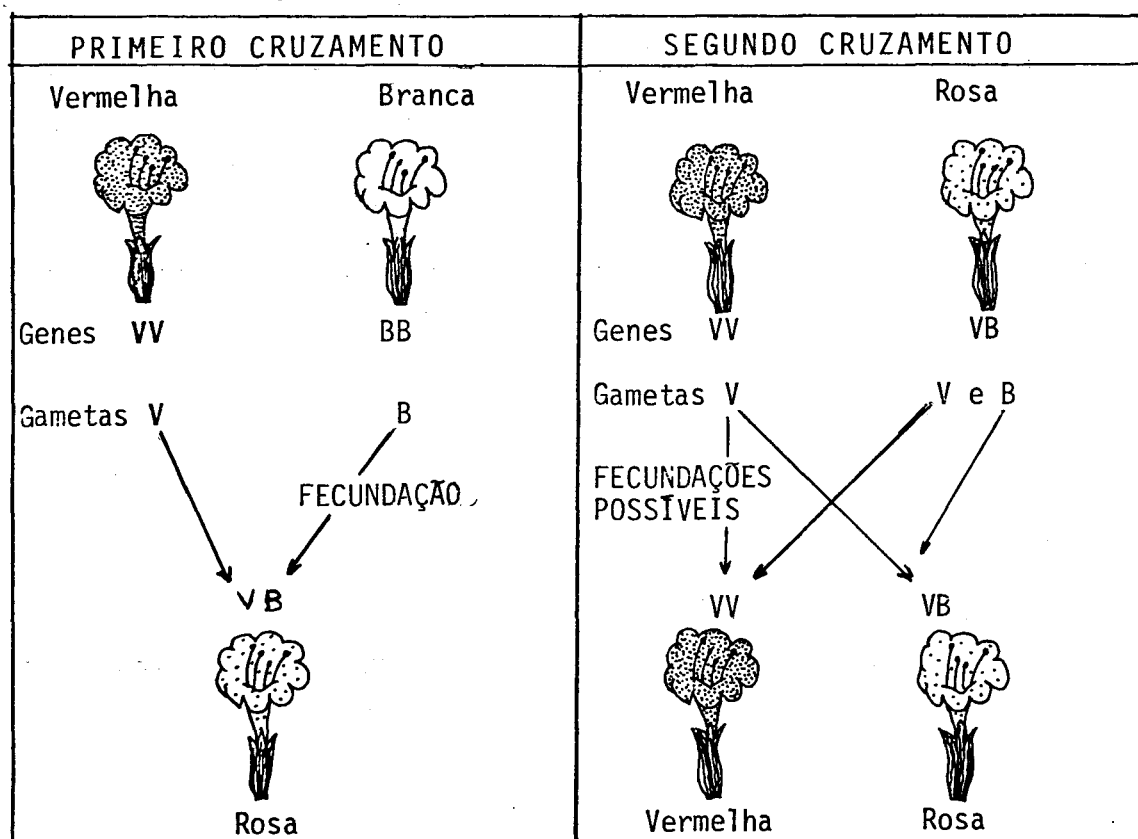


Figura 4 - Cruzamento entre plantas "maravilha". V é o fator (gene) para cor vermelha e B o fator para cor branca. Nas células somáticas da planta os fatores estão presentes em dose dupla. Nos gametas eles ocorrem em dose simples.

3.1.3. As críticas de Hume

Uma pessoa de bom senso provavelmente dirá ao filósofo que ele pare de se incomodar — e de incomodar os outros — com esse tipo de dúvida, apelando para uma justificativa prática: se este tipo de raciocínio foi bem sucedido no passado, trata-se então de um raciocínio útil que funcionará no futuro. Mas este argumento não é válido: mesmo que a indução tenha funcionado no passado, nada garante que funcionará no futuro. Este tipo de argumento, como Hume demonstrou, é circular: admite-se como verdadeiro justamente aquilo que supostamente se pretende demonstrar. Esse ponto de vista é compartilhado por Max Black: "se dissermos que a indução funcionará porque funcionou, estaremos raciocinando (...) indutivamente"⁵. Além disso, a indução não funciona sempre.

Será que poderíamos justificar logicamente a indução? Obviamente, ela não é um argumento dedutivo, como são os argumentos lógicos. A lógica nos mostra que a partir do enunciado "todos os cisnes são brancos" podemos deduzir que alguns cisnes são brancos. Esta dedução é logicamente válida. Mas a indução faz o raciocínio oposto, inferindo do enunciado "alguns A (cisnes) são B (brancos)" o enunciado "todos os A são B". Este raciocínio não pode ser justificado pela lógica. Aliás, em termos lógicos, ele não é válido. Assim, enquanto a lógica apenas nos faz ver uma conclusão que já estava "embutida" nas premissas, a indução vai além das premissas, não sendo, portanto, um argu-

mento dedutivo. Em outras palavras, as conclusões dos argumentos indutivos trazem mais informações do que as contidas nas premissas.

Poderíamos afirmar que certas regularidades observadas na natureza não ocorrem por acaso, que há "mecanismos internos" ou causas que justificariam, em certos casos, a repetição de fenômenos. O conceito de causa garantiria uma conexão necessária entre esses fenômenos, implicando assim uma sequência invariável e uma repetição no tempo. Hume também atacou este conceito. Para ele, quando declaramos que A causa B — por exemplo, o fogo (A) queima (B) — queremos dizer apenas que A e B estão constantemente associados. A observação mostra apenas isto; ela não nos mostra nenhuma conexão necessária, isto é, não mostra que A tem de ser seguido por B. Como não se trata igualmente de uma necessidade lógica, esta formulação de causa não pode ser justificada nem pela observação nem pela lógica. A idéia de necessidade causal é, para Hume, apenas um fenômeno psicológico, fruto do hábito e da repetição de acontecimentos. Não há nenhuma "conexão necessária" no mundo real⁶. Os empiristas modernos aceitam esta tese de Hume, rejeitando a idéia de causa como conexão necessária, mas se vêem às voltas com o problema da indução. Afinal, como justificar que certas conjunções continuarão ocorrendo no futuro?⁷ Se as leis científicas forem realmente indutivas, sua validade também pode ser questionada, como vimos acima. Logo, não podemos invocar nossos conhecimentos científicos para provar que o sol vai nascer ama-

nhã, que todos os cisnes são brancos e outras inferências do senso comum.

As críticas de Hume baseiam-se em três premissas: a) somente a inferência dedutiva é válida; b) todo o conhecimento do mundo exterior vem da observação; c) a verdade sobre este conhecimento só pode ser decidida pela experiência⁸. Se aceitarmos estas teses, fica difícil negar que Hume tenha razão: nenhum número de casos observados, por maior que seja este número, pode implicar um enunciado geral. Segundo as próprias palavras de Hume, não há argumentos logicamente válidos para justificar que "aqueles casos dos quais não tivemos experiência alguma assemelham-se àqueles que já experimentamos anteriormente", ou ainda, que "mesmo após observar uma associação constante ou freqüente de objetos, não temos motivos para inferir algo que não se refira a um objeto que já experimentamos"⁹.

Hume não afirma que devemos rejeitar conclusões baseadas na indução. Ele não duvida que todos nós acreditemos que o sol nascerá amanhã, nem está pedindo que deixemos de acreditar nisso. Hume "apenas" procura nos fazer ver que estas conclusões não podem ser justificadas através da lógica ou da experiência e, sendo assim, é impossível justificar racionalmente nossas crenças.

3.1.4. A solução de Hume e o mal-estar entre os filósofos

Apesar de concluir negativamente a respeito da validade lógica da indução, Hume admitia que esse tipo de

inferência, embora irracional, fosse utilizado como forma de conhecimento mesmo por pessoas sensatas. Isto aconteceria porque, através da associação de idéias, as repetições geram expectativas, crenças e hábitos importantes para a sobrevivência. Para Hume, estas crenças geradas pelo hábito são irracionais, mas isto é apenas um problema filosófico, que não interfere em nossa vida prática, pois "a natureza destrói os argumentos céticos a tempo, e os impede de exercer qualquer considerável influência sobre o entendimento"¹⁰. Assim, pelo menos quando não estamos filosofando, estas dúvidas não têm o menor efeito em nossas vidas.

Hume adota uma solução "naturalista" contra o ceticismo: considera a indução como um processo natural, algo imposto pela natureza, uma forma de pensar a que inevitavelmente aderimos. E essa adesão se daria da mesma forma como respiramos ou sentimos, sendo, pois, fundamental para nossa sobrevivência¹¹.

Entretanto, pode-se questionar, como faz Popper, que a indução realmente forneça uma versão adequada do processo pelo qual aprendemos com a experiência. Watkins fornece exemplos de muitos comportamentos não indutivos, como o pensamento mágico, que predominam em culturas diferentes da ocidental, o que mostra que a indução não é um processo tão "natural" quanto Hume pensa¹². Além disso, como já vimos, ela nem sempre funciona, não sendo portanto um conhecimento naturalmente infalível.

Se aceitarmos as críticas e a solução de Hume pa-

ra o problema da indução, teremos de aceitar também que o conhecimento comum e o conhecimento científico não podem ser justificados racionalmente: efetivamente, para alguns filósofos a crença na ciência ou na magia é apenas uma questão de fé ou desejo¹³. Entretanto, para os que acham que há um modo racional de distinguir entre os dois procedimentos, é necessário buscar uma solução diferente da de Hume. Como disse Bertrand Russell:

"(...) é importante, por conseguinte, descobrir se há alguma resposta a Hume dentro da estrutura de uma filosofia que é toda ou principalmente empírica. Se não, não há diferença intelectual alguma entre a sanidade e a loucura. O lunático que se julga um ovo escaldado será condenado unicamente por estar em minoria, ou antes — já que não devemos dar como suposta a democracia — por não estar o governo de acordo com ele. Este é um ponto de vista desesperado, e devemos esperar que haja algum meio de livrar-nos dele"¹⁴.

Assim, a falta de uma resposta racional a Hume traz como consequência um encorajamento de atitudes irracionais dogmáticas e de decisões impostas arbitrariamente pela força. Não é de estranhar, portanto, o desespero de Russell.

3.1.5. A solução de Kant — o conhecimento sintético e a priori

Uma das tentativas mais importantes (e, para alguns, bem sucedida) de responder a Hume foi formulada pelo filósofo Immanuel Kant (1724-1804). Não pretendo expor a filosofia de Kant — nem me julgo competente para fazê-lo. Quero apenas indicar, em linhas gerais, a direção se

guida por ele e os motivos pelos quais ela não foi adotada pela maioria dos filósofos de ciência. Portanto, este rápido resumo das idéias de Kant está longe de fazer justiça à importância de sua obra.

Para Kant, nossa percepção e nossa compreensão do mundo devem-se, não somente às coisas que existem independentemente de nós, mas ao que Russel chamou — de forma simplificada, e não de todo correta — de nosso "aparelho perceptivo"¹⁵. Assim, conceitos como o de espaço e de tempo não surgem a partir da experiência, mas são "formas da sensibilidade", constituindo o aspecto passivo da percepção dos fenômenos, tornando-nos potencialmente capazes de perceber o mundo: sem eles nada conseguiríamos ver. Do mesmo modo, princípios como o da causalidade não são estabelecidos pela experiência, como pensam os empiristas, mas são condições para que possamos compreender os fenômenos: são "formas do entendimento", constituindo o aspecto ativo da percepção. Assim, para Kant, há dois tipos de conhecimento a priori, isto é, que são verdadeiros, independentemente da experiência: a) as verdades analíticas, como "todo animal racional é um animal" e os diversos argumentos lógicos, que estabelecem conclusões já contidas nas premissas; b) verdades sintéticas, como os teoremas da aritmética e geometria; e o princípio da causalidade e outras idéias regulativas, que permitem ampliar nossos conhecimentos¹⁶.

O equívoco da filosofia empirista consiste em pen

sar que inferimos as leis da natureza apenas através da experiência: de algum modo nós impomos certas leis à natureza¹⁷.

Sob alguns aspectos, Popper se aproxima do ponto de vista de Kant quando afirma que hipóteses, leis e teorias científicas não são obtidas apenas com base na observação, ou que não registramos passivamente os fenômenos. Segundo Popper, Kant demonstrou que

"Devemos rejeitar a noção de que somos meros observadores passivos, à espera de que a natureza nos exiba sua regularidade. Precisamos adotar a concepção de que ao assimilar os dados sensoriais de fato impomos a eles a ordem e as leis do intelecto. O cosmos traz a marca de nossa mente"¹⁸.

Popper, porém, não aceita a tese kantiana da existência de princípios verdadeiros, independentemente da experiência: embora nossa intelecto imponha leis à natureza, como afirmou Kant, nem sempre ele obtém êxito pois "(...) a razão é capaz de mais de uma interpretação, e não pode impor uma interpretação em caráter definitivo"¹⁹.

Kant teria errado ao considerar a teoria de Newton como necessariamente verdadeira. Com o aparecimento da teoria da relatividade de Einstein, ficou claro que a teoria de Newton tem caráter apenas conjectural.

No entanto, para outros filósofos, a concepção que Popper tem de Kant não é correta. É possível interpretar a obra de Kant de forma a mostrar que suas idéias são compatíveis com as principais teses de Popper e, além disso,

são fundamentais para garantir a objetividade do conhecimento conjectural proposto por ele²⁰.

De qualquer modo, Popper, Watkins e outros filósofos da ciência não aceitam a idéia de que existem proposições sintéticas e a priori — qualquer que seja o sentido que Kant tenha dado a essa expressão. Consideram também muito discutível o método — o chamado argumento transcendental — através do qual Kant procura justificar suas teses. Sendo assim, para esses filósofos é necessário buscar um outro caminho para rebater os argumentos de Hume²¹.

3.2. A justificativa através da probabilidade

Se não conseguimos certeza, pelo menos podemos ter probabilidade. A tentativa de justificar a indução através da construção de uma lógica indutiva, com auxílio da teoria da probabilidade, contou com a colaboração de vários cientistas e filósofos da ciência, como Carnap, Reichenbach, John Maynard Keynes (1883-1946) e, mais recentemente, Harold Jeffreys e Jaakko Hintikka. Alguns sistemas foram construídos, mas todos apresentam problemas não resolvidos e têm sido alvo de muitas críticas. Como o mesmo pode ser dito a respeito da solução de Popper, a guerra — no bom sentido, já que são as teorias que perecem e não seus defensores — ainda não terminou.

Sem entrar em detalhes técnicos, que exigem um conhecimento razoável de lógica e da teoria da probabilidade, apresentarei aqui apenas uma visão geral e simplificada

da das idéias gerais do projeto indutivista, acompanhada de algumas críticas, de modo a dar uma idéia dos problemas enfrentados por esta linha de trabalho.

3.2.1. A idéia geral do projeto indutivista — a probabilidade como guia de nossas decisões

Mesmo aqueles que acreditam na indução têm que admitir que em um ponto as críticas de Hume foram bem sucedidas: as hipóteses e leis gerais não fornecem certeza. Visto que os argumentos indutivos levam a conclusões que não estavam contidas nas premissas, acrescentando a elas novas informações, há sempre a possibilidade de erro, isto é, a possibilidade de gerar conclusões falsas. Como vimos, argumentos indutivos não transmitem a verdade das premissas para as conclusões, como ocorre com os argumentos dedutivos. O filósofo Ronald Giere tem a mesma opinião:

"É somente abdicando da certeza da transmissão da verdade que os argumentos indutivos podem servir para a expansão do nosso conhecimento. Portanto, o sonho dos filósofos em conseguir uma forma de argumento que permitiria tanto garantir a verdade das conclusões como expandir o conhecimento é um sonho impossível. Devemos escolher uma coisa ou outra. Não podemos ter ambas"²².

Entretanto, se os argumentos indutivos não garantem a verdade das conclusões, eles podem ser usados, segundo os indutivistas, para garantir uma probabilidade, às vezes elevada, para suas conclusões. Portanto, da observação que alguns cisnes são brancos e de que o sol nasce todo dia, podemos inferir que é provável que todos os cis-

nes sejam brancos e que o sol nascerá amanhã. Mesmo assim, continua existindo aqui o "salto indutivo" apontado por Hume, só que, em vez de inferirmos de enunciados com "alguns" ou "todo dia" enunciados com "todos" ou "sempre" — que equivalem a probabilidade de 100% ou 1—inferimos conclusões com probabilidade intermediária entre zero e 1. Em ambos os casos, por^{em}, a inferência foi além das evidências disponíveis e precisa ser justificada.

A justificativa se dá através da construção de uma lógica indutiva de caráter probabilístico. Esta lógica procura estabelecer o grau de confirmação de uma hipótese em função da evidência disponível ou, em outras palavras, do total de dados recolhidos em favor da hipótese. A hipótese "todos os cisnes são brancos", por exemplo, é confirmada, com maior ou menor probabilidade, em função do n^umero de cisnes brancos observados (a evidência). Quanto maior o número de casos observados, maior a probabilidade desta generalização ser verdadeira. A lógica indutiva não seria incompatível com a lógica dedutiva clássica e sim uma extensão ou generalização dela. A probabilidade atribuída à hipótese varia entre dois valores extremos: zero e um. O primeiro caso ocorre quando a evidência refuta a hipótese (o caso de um cisne negro, por exemplo). No segundo caso, a hipótese decorre necessariamente da evidência, como na lógica dedutiva. Na maioria dos casos, os valores seriam intermediários entre zero e um: nesses casos incluem-se as hipóteses apoiadas apenas parcialmente pelas evidências. Aí se situaria a quase totalidade das hipóte-

ses e leis científicas²³.

Os defensores da lógica indutiva admitem, portanto, que hipóteses e generalizações a respeito de futuro, ou de casos que ainda não foram observados, sejam incertas, mas julgam possível atribuir probabilidades às hipóteses, em função das confirmações que obtivemos até o momento. Com base nesta probabilidade, escolheríamos — entre várias hipóteses de diferentes graus de confirmação — a mais provável, resolvendo assim o problema de Hume. Esta probabilidade, chamada probabilidade lógica, serviria então para orientar nossas crenças e escolhas de forma racional.

Os jogos de azar nos oferecem um exemplo prático de como a probabilidade pode servir de guia para nossas decisões. Não é por acaso que as roletas de cassino pagam mais quando um apostador coloca suas fichas em um só número do que, por exemplo, quando ele aposta nos números pares, ou que um four de ases vale mais que uma "dupla" no jogo de pôquer. Se em uma aposta de dados pudéssemos escolher entre um número par ou o número um — a quantia paga sendo a mesma — deveríamos, certamente, escolher a primeira hipótese. Portanto, não há nada absurdo nesta proposta indutivista, pelo menos aparentemente. Entretanto, as dificuldades em se construir um sistema que dê conta da atividade científica (servindo, por exemplo, para atribuir probabilidade às teorias científicas), somadas aos diversos problemas ainda em aberto, não permitem afirmar que a proposta tenha tido êxito. Mas, como os estudos con

tinuam, ainda é cedo para emitir um juízo definitivo.

3.2.2. Como conseguir evidência total e segura?

Segundo alguns autores, como Carnap, para determinar o grau de confirmação de uma hipótese, é necessário levar em conta toda a evidência disponível naquele momento em seu favor. Nenhuma evidência conhecida deve ficar fora, pois, se ela for incompatível com outras evidências, pode-se demonstrar que a probabilidade final será muito baixa ou mesmo zero, e assim a lógica indutiva não poderá ser aplicada²⁴. Mas como podemos saber se levamos em conta todas as evidências relevantes conhecidas?

Estamos diante de um problema semelhante ao do detetive que recolheu uma série de dados sobre o crime: a hora, o local, as testemunhas, os alibis dos suspeitos etc. Digamos que ele tenha selecionado aqueles que considerou relevantes e, após anotá-los em uma lista, examinou-os e percebeu que todos apontam para um único suspeito. Entretanto, ele pode não ter se dado conta de que, entre os dados recolhidos, havia um que inocentava o suspeito ou apontava para outra pessoa. Como diz Watkins:

"Como qualquer leitor de histórias de detetives sabe, é muito provável que algumas evidências que se isoladas são aparentemente irrelevantes para uma hipótese, revelam-se de importância decisiva quando organizadas em conjunto"²⁵.

Suponhamos que seja possível recolher todas as evidências relevantes para uma hipótese. Há ainda um ou

tro requisito que, segundo muitos indutivistas, deve ser preenchido: para que uma evidência possa conferir apoio indutivo a uma hipótese, ela deve ser certa. Se for apenas provável, ela deverá ser apoiada por outra evidência reconhecida como certa. Assim, mesmo que haja uma longa cadeia de evidências, a última não poderá ser apenas provável²⁶. Mas onde encontrar algo tão inquestionavelmente verdadeiro?

Como vimos no capítulo anterior, enunciados aparentemente simples, do tipo "aqui está um cisne branco", envolvem uma série de conceitos gerais que não são imediatamente fornecidos pela experiência nem, tampouco, inquestionáveis. Mesmo nossas percepções elementares são acompanhadas de uma série de expectativas que podem não se verificar. Neste caso, ainda há o problema adicional de construir um sistema que permite que essas percepções sirvam de apoio para leis gerais da ciência.

Foram feitas algumas tentativas para construir um sistema que funcione com evidências apenas prováveis. Nestes casos, uma hipótese poderia ser apoiada por uma evidência incerta, que contaria com apoio de outra evidência, também incerta, e assim por diante. Porém, como a probabilidade composta de todas as evidências é obtida multiplicando-se as probabilidades de cada uma delas, o resultado se aproxima de zero, tornando-se incapaz de dar um apoio sensível à hipótese²⁷.

Da mesma forma, uma lei geral científica que se

refira a entidades não diretamente observáveis — como campo, elêtron etc. — teria de ser justificada por leis mais simples e estas por outros enunciados, o que aumentaria consideravelmente a incerteza da confirmação.

3.2.3. Esmeraldas, cisnes e gráficos — como a escolha das hipóteses vai além da coleta de dados

O filósofo Nelson Goodman demonstrou, através de um paradoxo que leva seu nome, que nem todas as regularidades são suscetíveis de ser projetadas para o futuro e que a linguagem que utilizamos influi em nossa percepção de regularidades. Vamos analisar aqui apenas uma outra conclusão do paradoxo de Goodman: a de que, a partir de um mesmo conjunto de dados, podemos projetar muitas regularidades diferentes e até incompatíveis. Para nossos objetivos basta examinar uma variante deste paradoxo²⁸.

Suponhamos que todas as esmeraldas conhecidas até agora tenham a cor verde. A partir desta evidência, podemos estabelecer a seguinte hipótese: todas as esmeraldas são e serão sempre verdes. Mas podemos afirmar também que todas as esmeraldas são verdes até o ano 2000, a partir do qual serão azuis²⁹. As duas hipóteses, apesar de incompatíveis, receberam o mesmo apoio indutivo. Embora este exemplo pareça artificial, ele pode ser generalizado para situações mais plausíveis.

Popper mostra que a partir da evidência de que todos os cisnes da Áustria são brancos, podemos formular

duas hipóteses:

h_1 = todos os cisnes situados além da fronteira da Áustria são brancos;

h_2 = todos os cisnes do mundo são não-brancos, exceto os da Áustria, que são brancos³⁰. Pode-se demonstrar en tão que a razão entre as probabilidades iniciais das duas hipóteses não é afetada pela evidência disponível ou, em outras palavras, esta evidência confere igual apoio às duas hipóteses e não pode ser usada para aumentar a probabilidade relativa de nenhuma de las³¹.

Este problema não é tão teórico quanto parece. Em ciência temos freqüentemente de projetar regularidades a partir de certos dados. Suponhamos que queremos estudar a influência da temperatura na dilatação dos metais. Podemos medir a variação do comprimento de uma barra de ferro, por exemplo, em diferentes temperaturas. Construimos a seguir um gráfico e extraímos uma equação matemática que representará a lei geral da dilatação dos metais. Um processo semelhante pode ser utilizado para descobrirmos a velocidade de crescimento de uma população. Neste último caso, construimos uma curva com os dados obtidos em suces sivos recenseamentos, ao longo de vários anos.

Digamos que foi realizada uma série de quatro observações, como mostra a figura 5A.

hipóteses ou leis gerais diferentes. Mesmo que realizemos mais medidas, eliminando algumas curvas, poderemos sempre traçar mais de uma curva ou equação que correspondam aos dados (Figura 5D). Na realidade há um número infinito de curvas diferentes que passam pelos pontos fixados³².

A figura 5B revela que cada curva faz previsões ou projeções diferentes para valores intermediários entre os observados ou acima de 4°C. Estamos assim diante de uma série de hipóteses diferentes, com previsões incompatíveis, que "explicam" todos os dados obtidos até o momento. Bunge sintetiza essa idéia:

"(...) é possível conceber muitas hipóteses diferentes para cobrir qualquer conjunto de dados (...) os dados não determinam univocamente uma hipótese"³³.

Sendo assim, qual a generalização ou hipótese mais adequada? O registro de dados e a indução feita a partir deles não fornecem nenhum critério para essa escolha. Por conseguinte, a indução por si só não é suficiente para passarmos do nível da observação ao nível das leis gerais da ciência.

3.2.4. A busca de princípios que legitimem a indução

Pode-se argumentar que, na prática, escolhemos as hipóteses mais simples, no exemplo acima representada pela reta, ou pela equação $Y = 2x + 1$. Mas como justificar essa escolha? Poderíamos dizer que a realidade é simples, mas não é isto que a história das teorias científi-

cas revela: cada vez descobrimos uma complexidade maior por detrás de fenômenos aparentemente simples³⁴.

Argumenta-se que a lei mais simples deve ser escolhida por ter uma probabilidade inicial maior que as leis mais complexas, mas, como procura demonstrar Watkins, esta afirmação entra em choque com outros princípios da lógica indutiva³⁵. Além disso, como veremos no Capítulo VI, para Popper ocorre justamente o oposto: uma hipótese mais simples é menos provável que uma hipótese mais complexa. Entretanto, a primeira deve ser escolhida (desde que não tenha sido refutada) porque é mais facilmente testável ou falsificável experimentalmente.

Alguns filósofos tentam justificar a indução através de princípios gerais, como o da uniformidade da natureza, que equivale a um enunciado de tipo "o futuro será igual ao passado".

É evidente porém que o futuro não tem sido sempre igual ao passado: qualquer um pode observar na cozinha que a temperatura da água aumenta à medida que fornecemos calor. Mas aos 100°C a temperatura não aumenta mais, permanecendo constante enquanto a água se transforma em vapor. Houve portanto uma mudança notável em relação ao passado. Talvez possamos reformular o enunciado para "o futuro será semelhante ao passado". Porém, dizer que uma coisa é semelhante a outra é dizer que elas não são idênticas, que sob alguns aspectos são semelhantes e sob outros não.

O correto então seria dizer, como sugere Popper, que "o futuro será em parte semelhante ao passado e em parte não semelhante"³⁶. Estamos agora diante de um princípio vago demais para ter qualquer utilidade em casos específicos, que exijam a aplicação de inferências indutivas. Quando afirmamos que todos os cisnes são brancos, por exemplo, estamos ou não diante de um caso em que o futuro será igual ao passado?

Há ainda um outro problema: mesmo que descobríssemos algum princípio satisfatório, como poderíamos justificá-lo? Uma justificativa indutiva seria circular, isto é, daríamos por justificado justamente aquilo que se quer provar. Seria talvez um princípio puramente lógico? Ou capaz de ser demonstrado experimentalmente? Ou ainda uma verdade sintética a priori, como os princípios de Kant? Watkins argumenta que somente um postulado não justificado seria suficientemente poderoso para, por sua vez, apoiar ou legitimar a indução³⁷. No entanto, postular algo como verdadeiro não o torna automaticamente verdadeiro. Esta solução é sem dúvida bastante fácil e, se por um lado pode "resolver" qualquer problema, por outro lado põe um fim a qualquer discussão crítica e racional. Enfim, várias sugestões foram propostas sobre a natureza deste princípio, sem se chegar contudo a um consenso.

Uma última consideração: descobrir uma regularidade por indução é descobri-la apenas através da repetição de certos acontecimentos. Se algum princípio geral for ab

solutamente necessário para esta descoberta, a indução deixa de existir, pelo menos neste sentido. Não é de estranhar que, atualmente, vários indutivistas, como Carl Hempel, concordem que não descobrimos novas hipóteses por indução e sim que elas surgem da criatividade do cientista, embora ainda pensem que, uma vez descobertas, elas pos sam ser justificadas indutivamente³⁸.

3.2.5. Conclusão: o indutivismo hoje

O que podemos aproveitar de toda esta discussão? Penso que algumas idéias mantiveram-se firmes ao longo de toda essa controvérsia: o conhecimento científico contém conjecturas e conceitos muito distantes de observações elementares; a indução confere apenas probabilidade e não certeza; as hipóteses científicas nascem da imaginação e da criatividade do cientista e não, ou, pelo menos, não so mente, de procedimentos indutivos; e, finalmente, a tentati va de construir uma lógica indutiva ainda enfrenta sérios problemas.

A conclusão é que encontramos, entre os filósofos de ciência, aqueles que confiam na possibilidade de construção de uma lógica indutiva suficientemente forte para atribuir probabilidades relativas às hipóteses científicas. Encontramos outros, como Bunge, que, embora admitam que a indução possa ter validade, conferem a ela um papel muito reduzido na pesquisa científica. Para Bunge:

"(...) embora algumas conjecturas sejam efetivamente o resultado de experiências acumuladas em uma direção (...) essas conjecturas carecem de interesse científico precisamente porque não ultrapassam em muito a experiência. As conjecturas mais importantes são obtidas a partir de pouca ou nenhuma experiência, de tipo pré-conceitual. Elas não solucionam problemas empíricos correntes e recorrentes, mas sim novos problemas de natureza conceitual. O indutivismo, que é suficiente para justificar certos procedimentos rotineiros, deixa de explicar a colocação de problemas originais e sua resolução mediante a invenção de hipóteses inteiramente novas, mais precisamente de hipóteses que se referem a fatos objetivos ou a modelos idealizados dos mesmos, e não à experiência imediata"³⁹.

Finalmente, para Popper e outros filósofos, embora não possamos justificar a indução, não precisamos nos "apavorar": é um equívoco interpretar a aprendizagem e o conhecimento científico como processos indutivos. A indução simplesmente não existe, como veremos a seguir.

3.3. A solução de Popper para o problema da indução

Embora admita ser impossível justificar a indução, Popper recusa a solução irracionalista de Hume, propondo uma outra maneira de interpretarmos as atividades do cientista e o processo pelo qual aprendemos com a experiência. Em ambos os casos, o conhecimento se amplia através do processo de ensaio e erro: inventando hipóteses e, a seguir, procurando refutá-las.

3.3.1. A solução para o problema lógico da indução: a refutabilidade

Popper divide o problema da indução em duas partes: o problema lógico e o problema psicológico. No pri-

meiro caso, perguntamos se a indução é um processo logicamente válido; no segundo caso, perguntamos por que acreditamos na indução.

Popper concorda com as críticas de Hume: por maior que seja o número de repetições de certos eventos, não temos justificativa para acreditar que eles ocorrerão no futuro, acrescentando que não faz nenhuma diferença para o problema em questão se pedirmos justificativa para crenças prováveis, em vez de crenças certas⁴⁰.

Podemos formular a resposta de Hume em termos lógicos: enunciados do tipo "este cisne é branco", "este outro também" etc. não implicam logicamente que o enunciado "todos os cisnes são brancos" seja verdadeiro. Popper porém observa que, do ponto de vista lógico, basta um enunciado do tipo "este cisne é negro" para refutar conclusivamente a generalização de que todo cisne é branco. Há uma assimetria, em termos de lógica, entre os seguintes argumentos:

Este cisne é branco.	Todos os cisnes são brancos.
Este outro cisne é branco.	Este cisne é negro.
<hr/>	
Logo, todos os cisnes são brancos.	Logo, é falso que todos os cisnes sejam brancos.

O primeiro argumento não é logicamente válido, mas o segundo sim.

A partir deste raciocínio podemos concluir que, embora nossas generalizações e, do mesmo modo, as leis e

teorias científicas não possam ser confirmadas, elas podem ser refutadas pela observação ou pela experiência ⁴¹. Assim, uma vez obtida uma hipótese ou lei geral (não importa como), há um modo lógico de testá-la. Basta submeter a hipótese a testes que tentem refutá-la. Não queremos dizer com isso — este ponto merece especial atenção — que na prática devemos rejeitar automaticamente uma hipótese se ela se chocar com uma experiência. Popper admite que, em termos práticos, uma experiência ou uma observação podem ser questionadas. Podemos dizer que a experiência não foi bem feita, que a ave vista não era um cisne negro e sim outro tipo de pássaro etc.⁴². Enfim, quando uma experiência contraria uma hipótese ou uma lei, pode ser difícil "descobrir o culpado". Mas, como de um ponto de vista lógico, uma lei geral ou uma hipótese são refutáveis, vale a pena investir em testes ou observações que procurem refutá-las, aprimorando a experiência de forma a aumentar a precisão das medidas, cuidando para que haja um grupo de controle adequado, realizando observações cuidadosas etc. Desse modo, se a experiência foi bem realizada, podemos, em princípio, considerar que a hipótese é falsa. Por outro lado, uma série de resultados positivos não podem provar logicamente que a hipótese seja verdadeira, por mais confiável que a experiência tenha sido.

Duas conclusões importantes podem ser extraídas dessas discussões. A primeira é que, como a indução não tem validade lógica, as leis universais e as teorias científicas têm um caráter conjectural, hipotético. Para aque

les que buscam na ciência um conhecimento seguro, esta é, sem dúvida, uma conclusão desanimadora. Mas, alguma coisa se salva: o critério de refutabilidade torna possível justificar, através de argumentos lógicos e racionais, nossa preferência por uma teoria em vez de outra⁴³. Não podemos saber se a teoria de Einstein é verdadeira, porém — após termos realizado testes e discutido criticamente as teorias de Newton e Einstein e aceitado as observações que refutam a teoria de Newton mas não refutam a de Einstein — podemos dizer que a primeira é falsa, optando então pela segunda, pelo menos enquanto não surgirem outras teorias melhores.

Desse modo, mesmo rejeitando a indução, Popper apresenta uma alternativa para a solução irracionalista de Hume e para conclusões céticas como a de Russell, vistas anteriormente neste capítulo. Para ele, "pelo menos algumas das alucinações dos lunáticos podem ser encaradas como refutadas pela experiência (...)"⁴⁴. Entretanto, embora para muitos possa parecer estranho, as teorias do cientista e do lunático têm algo em comum:

"(...) ambas são formas de conhecimento conjectural. Algumas conjecturas, porém, são melhores que outras, e isto é uma resposta suficiente a Russell e suficiente para evitar um ceticismo radical. Pois, sendo possível que algumas conjecturas sejam preferíveis a outras, é também possível ao nosso conhecimento científico aprimorar-se e crescer (...)"⁴⁵.

Um cético radical e insistente poderia perguntar por que, frente a duas teorias, devemos escolher a que

não foi refutada. Esta questão admite uma longa discussão que será vista no capítulo V, envolvendo os objetivos da ciência. Um dos motivos para esta escolha envolve a idéia de verdade. Uma das metas da ciência seria a procura de teorias cada vez mais amplas, profundas e próximas à verdade. Assim, a partir do momento em que procuramos uma teoria verdadeira, é lógico que devemos preferir aquela cuja falsidade ainda não foi estabelecida. Pode parecer um paradoxo que nossa preferência seja orientada pela idéia de verdade, ao mesmo tempo que afirmamos que não podemos comprovar uma teoria científica. Contudo, como foi visto no primeiro capítulo há uma diferença entre compreender o significado do conceito de verdade e ter um critério para decidir se determinado enunciado é verdadeiro. Neste caso, a idéia de verdade poderia funcionar como um princípio-guia da nossa busca de conhecimento, mesmo que nunca possamos atingi-la.

Essa situação é análoga à do cientista que procura explicar todos os fenômenos que ocorrem em um ser vivo através de processos físicos e químicos. Ainda que nunca consiga reduzir completamente a biologia à física, esta idéia orienta sua pesquisa, permitindo que ele realize novas descobertas. Efetivamente, como sabemos, houve um progresso espetacular quando se conseguiu explicar o funcionamento do gene através da estrutura química da molécula de DNA.

Como veremos ao longo dos próximos capítulos, a

idêia de refutabilidade é central na obra de Popper. A partir deste conceito ele desenvolve uma série de critérios para avaliar as teorias científicas, para explicar como aprendemos com nossos erros e como é possível o crescimento comum e científico. É também com base no critério de refutabilidade que poderemos traçar uma distinção entre a ciência e outras formas de conhecimento.

3.3.2. O problema psicológico da indução — críticas a Hume

Para Popper, embora Hume tenha resolvido adequadamente o problema lógico da indução — através de uma solução negativa —, sua concepção a respeito de como aprendemos com a experiência o levou a uma falsa solução do problema psicológico da indução. Popper coloca o problema da seguinte maneira:

"Por que, não obstante (...) [a não validade lógica da indução], todas as pessoas sensatas esperam e creem que exemplos de que não tiverem experiências serão idênticos àqueles de que tiveram experiência?" ⁴⁶

Como vimos, para Hume isto ocorre por causa do "costume ou hábito", isto é, porque somos condicionados pelas repetições e pelo mecanismo da associação de idéias e sem este mecanismo dificilmente poderíamos sobreviver.

Estamos, portanto, diante de uma solução irracionalista, uma vez que o hábito e a repetição não têm qualquer força como argumento mas, mesmo assim, dominam nossa vida cognitiva.

Como vimos, um conjunto de dados não determina uma única lei geral: a partir de um certo número de pontos em um gráfico podemos traçar um número infinito de curvas. Para escolher entre essas curvas precisamos de um critério, como o da simplicidade, que não é obtido por indução. No capítulo anterior, vimos que, quando aprendemos alguma coisa através da experiência, não começamos com a observação pura, mas com hipóteses, expectativas, pontos de vista, sistemas de classificação etc., que guiam nossa observação e que são anteriores a ela. Portanto, Hume está errado em pensar que nossas crenças e nosso conhecimento são determinados exclusivamente pela repetição de acontecimentos. Popper mostra que mesmo a constatação de que houve uma repetição só pode ser feita a partir de alguma expectativa anterior à repetição. Quando percebemos que houve uma repetição de acontecimentos estamos, automaticamente, percebendo que os dois acontecimentos são idênticos. Como é muito pouco provável que dois acontecimentos sejam exatamente iguais, o que percebemos na realidade é que eles são apenas semelhantes. É fácil demonstrar então que dois acontecimentos podem ser semelhantes sob um ponto de vista e diferentes sob outro⁴⁷. Observemos a figura 6.⁴⁸ Qual das figuras à direita é mais semelhante à da esquerda? A resposta irá depender do critério que adotarmos. O que iremos privilegiar? A forma da figura no centro do círculo? Sua cor? A presença de tracejado em volta da figura?

Uma experiência científica pode ser muito complexa porque são tantos os fatores envolvidos que, se repeti

mos um teste, dificilmente obteremos exatamente os mesmos resultados: provavelmente ocorrerão pequenos desvios em relação aos primeiros resultados. Para decidir então que estes desvios não são significativos, ou seja, que os resultados são semelhantes e que houve repetição, precisamos de um critério, que irá depender da teoria que adotarmos.

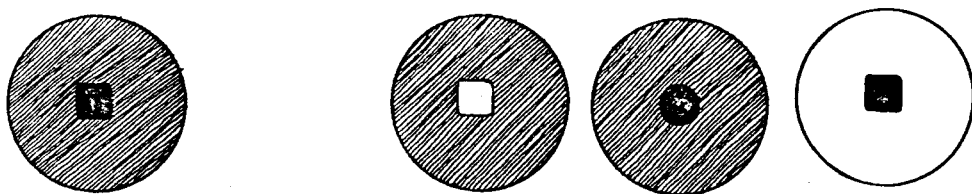


Figura 6 - A semelhança é uma questão de ponto de vista.

O que Popper está querendo dizer é que a similaridade não é um dado puro do ambiente imposto ao sujeito. É o indivíduo que deve julgar, a partir de um ponto de vista, se duas ou mais ocorrências são similares e decidir então se houve repetição. Segundo Popper:

"O tipo de repetição imaginado por Hume jamais pode ser perfeito: os casos que ele expõe não são casos de similaridade perfeita; são apenas casos de semelhança. Logo, são repetições apenas se consideradas de um ponto de vista particular (aquilo que sobre mim tem o efeito de uma repetição poderá não ter o mesmo efeito sobre

uma aranha). Mas isso significa que, por motivos lógicos, deve haver sempre um ponto de vista — um sistema de expectativas, antecipações, presunções ou interesses — antes que possa existir qualquer repetição; o ponto de vista, conseqüentemente, não pode ser resultado da repetição (...) é preciso, portanto, substituir a idêia ingênua de eventos que são semelhantes pela idêia de eventos aos quais reagimos interpretando-os como semelhantes"⁴⁹.

Assim, quando observamos um novo cisne branco, provavelmente ele não será exatamente igual ao cisne anterior (poderá haver uma diferença quanto ao tamanho, por exemplo). Somente se adotarmos o ponto de vista de que a diferença de tamanho não é importante, poderemos considerar que houve uma repetição, ou seja, que estamos diante de mais um exemplo de cisne.

3.3.3. O papel da repetição na aprendizagem por ensaio e erro

É importante frisar que Popper não nega que sejamos capazes de aprender com a experiência. O que ele nega é a explicação dada por Hume e por filósofos indutivistas de como este aprendizado ocorre. Popper propõe substituir a teoria psicológica da indução por aquilo que chama de método do ensaio e erro:

"(...) em vez de esperar passivamente que as repetições nos imponham suas regularidades, procuramos de modo ativo impor regularidades ao mundo. Tentamos identificar similaridades e interpretá-las em termos de leis que inventamos. Sem nos determos em premissas, damos um salto para chegar a conclusões — que podemos precisar pôr de lado, caso as observações não as corroborem"⁵⁰.

Popper utiliza na citação acima a conclusão, obtida da análise do problema lógico da indução, de que embora uma observação não confirme uma hipótese ela pode refutá-la logicamente. Ele parte do princípio de que o que é válido em lógica deve ser válido em psicologia e transfere a solução do problema lógico para o problema psicológico. Isto quer dizer que já partimos de certas expectativas gerais, como a de encontrar regularidades, que podem inclusive ser de origem genética, e a seguir testamos negativamente nossas expectativas, crenças ou hipóteses, abandonando aquelas que são refutadas por nossas observações ou experiências. Há aqui uma espécie de "seleção natural" de hipóteses que "competem" entre si. As experiências servem para eliminar aquelas que se revelaram falsas, o que está de acordo com a lógica dedutiva, não sendo portanto um procedimento irracional. Este é, em essencial, o método ou aprendizagem por ensaio e erro de Popper, de certa forma uma versão sofisticada do ditado popular "é errando que se aprende". Para ele este é o único método importante para a aquisição de novos conhecimentos.

Aquilo que chamamos de "aprendizagem por repetição" engloba, para Popper, duas situações bastante diferentes. Se estamos, por exemplo, tentando aprender a tocar uma música de ouvido, emitimos uma conjectura ou temos uma expectativa de que, se executarmos certos movimentos com os dedos, será produzida a sequência desejada de notas. Neste caso, as repetições feitas inicialmente são ligeiramente diferentes entre si: são tentativas diferen-

tes para resolver um problema⁵¹. Do mesmo modo, quando aprendemos a andar de bicicleta, experimentamos algumas soluções para evitar a queda, como voltar a roda na direção em que ameaçamos cair. Em ambos os casos tentamos resolver um problema através de tentativas, propondo soluções provisórias e eliminando — isto é, rejeitando — as soluções insatisfatórias. Estamos nestes casos, nos valendo do método de ensaio e erro, e a repetição serve justamente para eliminar nossos erros e não para nos fornecer certeza através da indução⁵².

Uma vez descoberta a solução satisfatória, a repetição passa a ser "mecânica", desempenhando outro papel: em vez de proporcionar nova solução para um problema, ela serve apenas para nos familiarizar com uma solução descoberta por ensaio e erro, tornando automáticas nossas ações e eliminando a participação consciente. Nossa atenção pode então ficar livre para resolver outros problemas: no caso da aprendizagem musical, podemos pensar em outras características mais difíceis da melodia; no caso do aprendizado de bicicleta, nos problemas de trânsito, por exemplo⁵³. Popper conclui que:

"(...) a doutrina indutivista de que todo aprendizado é aprendizado mecânico e que mesmo o crescimento de nosso conhecimento é o resultado do hábito através da repetição mecânica, é, portanto, equivocada. A repetição propriamente dita não pode atrair nossa atenção; pelo contrário, ela tende a fazer com que nossas expectativas fiquem ao nível inconsciente"⁵⁴

Para Popper, o método do ensaio e erro é importan

te não somente para o conhecimento comum como também para o conhecimento científico. É esse ponto que veremos a seguir.

3.4. Da ameba a Einstein — o método do ensaio e erro

Popper considera a formação de uma crença por meio da repetição um mito. O chamado raciocínio indutivo não existe. O processo de aprendizagem comum a todas as formas de vida da ameba ao homem, do conhecimento do senso comum ao conhecimento científico, baseia-se no método do ensaio e erro. Este método é análogo à explicação atualmente aceita pelos biólogos para a evolução dos seres vivos.

3.4.1. A moderna teoria da evolução — um rápido resumo

Assim como o conhecimento científico avança a partir de um conhecimento prévio — uma teoria científica, por exemplo — tido como provisoriamente verdadeiro, a evolução ocorre a partir de um organismo com determinadas informações armazenadas em seus genes e responsáveis por suas características.

Sabemos hoje que os genes são formados por uma molécula química, o DNA, capaz de se duplicar, isto é, de formar cópias exatamente iguais entre si. Essas cópias passam de pai para filho, transmitindo as informações genéticas para as futuras gerações.

No entanto, o processo de duplicação do DNA não é perfeito. Às vezes — por ação de radiações, produtos químicos ou falhas no controle da duplicação — uma molécula produz cópias ligeiramente modificadas de si mesma. Surge assim uma molécula-filha diferente da original e, com ela, um organismo com uma nova característica. Este fenômeno é chamado mutação.

Algumas mutações podem conferir a seus portadores características que, direta ou indiretamente, os tornam mais eficientes na produção de filhotes, isto é, aumentam seu sucesso reprodutivo. Assim, o novo indivíduo surgido por mutação pode ter mais chances de sobrevivência que os demais membros de sua espécie, quer por ser mais eficiente na captura de alimento, quer por conseguir se defender melhor de seus predadores, etc. Pode apresentar também maior taxa de fertilidade, maior capacidade de conquistar o sexo oposto e assim por diante. O importante é que, em qualquer um desses casos, ele tenderá a deixar uma prole mais numerosa que seus competidores. Como essas novas características são hereditárias, ao longo das gerações o número desses mutantes aumenta na população e o de seus competidores diminui. Assim esses novos indivíduos, que inicialmente eram poucos, começam a se espalhar e a aumentar de número. Podemos dizer a mesma coisa dos genes: o novo gene surgido por mutação começa a se espalhar na população e sua frequência em relação aos genes que condicionam outras características aumenta ao longo das gerações. Este processo é chamado de seleção natural.

No entanto, nem sempre as mutações são vantajosas ao organismo. É fundamental compreendermos que elas surgem ao acaso, isto é, elas não são dirigidas pelo ambiente, não surgem como respostas a determinadas condições de ambiente. Uma mutação que forneça a um organismo maior resistência ao frio, por exemplo, pode aparecer tanto em um ambiente frio como em um ambiente quente. O aparecimento de um mutante adaptado a um ambiente não tem maior probabilidade de surgir nesse ambiente do que num outro qualquer, onde a mutação não seria vantajosa. Um urso que vive em um ambiente quente pode produzir um filho com uma mutação para ter mais pêlos, característica que, obviamente, pode prejudicar sua sobrevivência. Do mesmo modo, ursos de clima frio podem produzir eventualmente mutantes com poucos pêlos. Uma mutação provocada pelo calor ou pela radioatividade não leva necessariamente à formação de uma característica que dê resistência ao calor ou à radioatividade. Portanto, mutações provocam características novas, que podem ou não ter relação com as necessidades de adaptação do organismo ao seu ambiente.

Uma vez que a mutação surge por acaso e uma vez que os indivíduos estão normalmente bem adaptados ao seu ambiente, é mais provável que ela produza uma característica desvantajosa para a sobrevivência. Entretanto, quando uma mutação é desvantajosa, ela é eliminada por seleção natural, ocorrendo o oposto, como vimos, com as mutações vantajosas. Através desse processo os seres vivos transformam-se e tornam-se cada vez mais adaptados ao ambiente

onde vivem. Portanto, embora a primeira parte do processo evolutivo — a mutação — ocorra ao acaso, a segunda parte — a seleção natural — não é aleatória. É a seleção que impõe uma ordem à variedade surgida por mutação, aumentando assim a frequência dos genes adaptativos e promovendo a adaptação das espécies. É um erro, pois, dizer que a evolução como um todo ocorre ao acaso.

3.4.2. A evolução da vida como uma forma de resolver problemas

Para Popper "todos os organismos estão constantemente, dia e noite, empenhados em resolver problemas" ⁵⁵. Realmente, para chegar a procriar, um organismo, mesmo que não seja consciente disso, tem de conseguir alimento, defender-se de inimigos, lutar com competidores por um território, arranjar uma fêmea etc. Através do processo de mutação e seleção natural, os organismos possuem órgãos com funções, e também comportamentos, que lhe permitem resolver esses problemas. Assim, as características de um ser vivo podem ser interpretadas como soluções para seus problemas de sobrevivência. As patas dos animais terrestres, por exemplo, são soluções para seu deslocamento no ambiente terrestre, enquanto as nadadeiras seriam soluções para o deslocamento na água.

O uso aqui da palavra "solução" exige cuidado. É preciso que fique claro que ela não implica uma finalidade ou um projeto consciente por parte do organismo. Como

vimos, o aparecimento de características adaptativas pode ser explicado pelo aparecimento de mutações fortuitas seguidas de seleção natural, sem envolver noções de finalidade por parte dos organismos.

Uma nova característica surgida por mutação pode ser interpretada como uma tentativa de solução para os problemas que o animal enfrenta, não havendo nenhuma garantia que esta tentativa seja bem sucedida. Na realidade, as tentativas mal sucedidas são eliminadas da população através da morte do organismo ou de sua menor aptidão reprodutiva. Entretanto, mesmo os órgãos que foram bem sucedidos até certo momento podem deixar de ser adaptativos no futuro, se, por exemplo, houver uma mudança no ambiente do organismo. Aliás, assim que um novo organismo aparece no ambiente, ele provoca, automaticamente, uma mudança no ambiente, alterando o modo de vida ou o "nicho" de outras espécies e fazendo surgir novas pressões seletivas. Esta alteração poderá modificar o valor adaptativo de certas características e a aptidão de alguns indivíduos. No novo ambiente, indivíduos menos adaptados podem se tornar mais adaptados e vice-versa.

É nesse sentido que Popper afirma que:

"(...) As soluções experimentais que animais e plantas incorporam em sua anatomia e em seu comportamento são análogos biológicos de teorias (...). Assim como as teorias, os órgãos e suas funções são adaptações experimentais ao mundo em que vivemos (...). Tudo isto vale também para os órgãos dos sentidos. Eles incorporam, mais especialmente, expectativas semelhantes a teorias. Os órgãos dos sentidos, como os olhos, es

tão preparados para reagir a certos eventos ambientais selecionados — aqueles eventos que 'esperam', e somente a tais eventos. Como as teorias (e os preconceitos) [eles] em geral serão cegos aos demais [eventos]: aqueles que não entendem, que não podem interpretar (porque não correspondem a qualquer problema específico que o organismo esteja tentando resolver)⁵⁶.

3.4.3. O método crítico de resolver problemas e a evolução dos seres vivos

Para Popper, um processo semelhante ao descrito pela teoria da evolução ocorre em ciências: quando um cientista elabora uma hipótese para resolver um problema, ele arrisca uma solução provisória, que será submetida à crítica por ele mesmo ou por outros cientistas. Se a hipótese não resistir aos testes (se, por exemplo, for refutada experimentalmente), ela poderá ser substituída por outras hipóteses que sejam melhor sucedidas nos testes. Se a hipótese resistir ao teste poderá, juntamente com outras hipóteses e leis, fazer parte de uma teoria.

Entretanto, devido ao caráter conjectural do conhecimento científico, as teorias e leis não são definitivas e podem ser substituídas por outras que expliquem melhor os fatos, do mesmo modo que organismos bem adaptados poderão ser eliminados no futuro. Este processo pode ser resumido através do seguinte esquema montado por Popper:

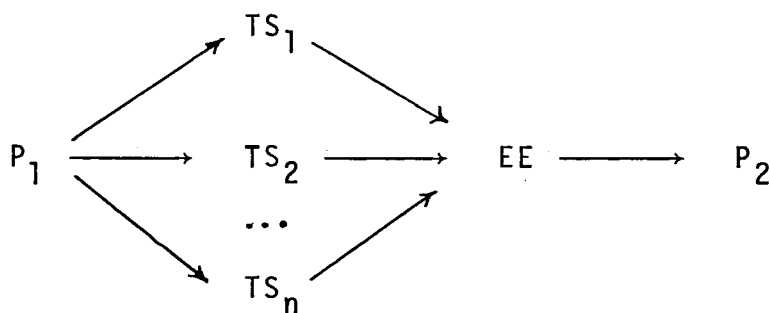
$$P_1 \longrightarrow TS \longrightarrow EE \longrightarrow P_2$$

P₁ é o problema inicial. No caso da ciência, é um problema de conhecimento, embora tenha também aspectos práticos;

no caso da evolução, um problema de sobrevivência ou de aumentar o sucesso reprodutivo. TS é uma tentativa de solução, que corresponde à hipótese científica ou a uma teoria que tenta resolver o problema. Ao nível biológico, corresponde a uma característica nova, surgida por mutação. EE é processo de eliminação de erro, que corresponde às críticas e aos testes a que a hipótese será submetida e, na evolução biológica, ao processo de seleção natural ⁵⁷.

P₂ é um novo problema, que aparece a partir de uma teoria bem sucedida, pois as teorias não só resolvem, mas também colocam novos problemas. Ao final da evolução, P₂ representa novos problemas surgidos quando o ambiente se altera, às vezes devido aos novos organismos que aparecem ao longo do processo evolutivo.

Se levarmos em conta que há uma multiplicidade de tentativas de soluções que visam explicar o mesmo fenômeno e que um problema surge sempre dentro de teorias ou expectativas que formam aquilo que chamamos de conhecimento prévio ou conhecimento de base, o esquema de Popper pode ser ampliado da seguinte maneira ⁵⁸:



conhecimento de base

A par das semelhanças, a evolução biológica e a evolução do conhecimento científico apresentam também algumas diferenças. Em primeiro lugar, a tentativa de solução ao nível biológico, representada pela mutação, pode levar o organismo à morte, caso a mutação seja prejudicial. No caso da espécie humana, entretanto, o aparecimento de uma linguagem permite que uma hipótese seja formulada, escrita e publicada de modo a ser criticada e testada experimentalmente por vários cientistas. Se ela não resistir aos testes, pelo menos tão bem como suas concorrentes, será eliminada da ciência, mas o cientista que a formulou não morre por causa disso⁵⁹.

Além disso, no caso da evolução da ciência, podemos conscientemente tentar descobrir erros em nossas hipóteses, ou seja, podemos adotar conscientemente uma atitude crítica. Quanto mais críticos formos, mais rapidamente antigas hipóteses serão refutadas e substituídas por hipóteses novas. Desse modo, aumentamos a velocidade de seleção de hipóteses e do progresso do conhecimento científico. Popper assim desenvolve essa idéia:

"Acredito que esta atitude conscientemente crítica para com as próprias idéias é a única diferença realmente importante entre o método de Einstein e o da ameba (...). Isto [a adoção consciente da atitude crítica], creio, é a forma mais elevada, até agora, da atitude racional, ou da racionalidade"⁶⁰.

3.4.4. A incerteza do conhecimento de base

Assim como um mutante surge de algum organismo anterior, a ciência também não parte do nada. Qualquer investigação científica, além de utilizar outras teorias científicas, utiliza também parte do conhecimento comum, pressupostos filosóficos, as leis da lógica, uma linguagem, formas de perceber o mundo típicas da espécie humana etc. Tudo isto forma o chamado conhecimento de base, presente tanto no conhecimento comum como no conhecimento científico. Portanto, P_1 surgiu, como P_2 , a partir de uma teoria e, como vimos no capítulo 2, se regredirmos nesta cadeia, acabaremos chegando às expectativas inatas presentes em um organismo. Mas, a pergunta que se pode fazer é: há uma base segura para iniciar o conhecimento científico? Há algum conhecimento de base que seja absolutamente verdadeiro?

Como já vimos, até as nossas experiências mais elementares constituem interpretações da realidade a partir de teorias, expectativas etc. Mesmo os indutivistas admitem que o máximo que podem ter é probabilidade e não certeza, enquanto os não-indutivistas, como Popper, atribuem ao conhecimento um caráter apenas conjectural. Por isso, para muitos filósofos da ciência como Popper, Bunge, Watkins etc., mesmo o conhecimento de base é inseguro. Por isso, Popper propõe que a partir de algum conhecimento prévio, que pode ser o senso comum, uma teoria científica, disposições inatas, idéias filosóficas, mitos etc., tente

mos "... detectar e eliminar o erro criticando as teorias e opiniões alheias e — se treinarmos para isso — as nos sas próprias"⁶¹. Assim, "não há 'fontes últimas' de conhe cimentos. Toda fonte, todas as sugestões são bem-vindas; e todas as fontes e sugestões estão abertas ao exame críti- co"⁶². Como diz Bunge, "(...) o importante não é eliminar os pressupostos — coisa impossível — e sim mantê-los sob controle, ou seja, submetendo-os ao exame críti- co(...)"⁶³.

É claro que, para fins práticos, uma parte do conhe cimento de base é considerada, pelo menos provisoriamente, verdadeira. Não podemos contestar todos os nossos pressu- postos de uma vez, porque então não poderíamos nem come- çar a investigação — qualquer pergunta que fizéssemos já estaríamos utilizando uma linguagem, empregando conceitos, partindo de certos interesses, enfim, admitindo, mesmo in- conscientemente, uma série de pressupostos. Mas, como diz Bunge,

"(...) os pressupostos adotados e considerados sem questionamento em determinado contexto, po- derão ser objeto de investigação e, conseqüên temente, poderão ser corrigidos ou até recu- sados em outro contexto ou em um desenvolvimen- to posterior da ciência"⁶⁴.

Portanto, qualquer cientista tem atrás de si todo um conjunto de teorias, fruto de pesquisas de cientistas no passado. Um biólogo que queira pesquisar determinada estrutura da célula terá de se valer, não somente de ou- tras partes da biologia, como também de teorias da física e da química, para não falar dos pressupostos filosóficos admitidos pela ciência, como a existência de um mundo real,

a possibilidade de conhecê-lo, a idéia de verdade etc. O importante é que este conhecimento é aceito provisoriamente e pode ser contestado por partes. Assim, qualquer crítica é sempre parcial, mas qualquer parte do conhecimento está aberta a críticas. Se aceitarmos passivamente todo conhecimento de base, não haverá progresso. Mas se o questionarmos por etapas, procurando lacunas ou falhas, isto é, quando diagnosticamos um problema e tentamos resolvê-lo, nosso conhecimento poderá aumentar e progredir, embora permaneça sempre conjectural.

Finalmente, convém acentuar que embora Popper use o termo "corroborado" para indicar que uma hipótese resistiu aos testes, isto não quer dizer que a hipótese possa ser confirmada ou que sua probabilidade tenha aumentado após os testes: a corroboração nada indica sobre o desempenho futuro da hipótese⁶⁵. Também aqui pode se fazer uma analogia com a evolução da vida: o fato de uma espécie (teoria) ter sobrevivido até agora (resistido aos testes) não quer dizer que ela sobreviverá no futuro em razão disso⁶⁶.

Como veremos no capítulo V, para Popper os testes devem ser rigorosas tentativas de refutação. Quanto mais rigorosos os testes pelos quais passou uma hipótese, maior sua corroboração. Veremos também que enunciados com maior probabilidade lógica são menos refutáveis, têm menos conteúdo informativo e, conseqüentemente, menos chance de serem corroborados. Assim, quanto mais testável for

uma hipótese, menor será sua probabilidade inicial de ser verdadeira, e mais informativa e útil ela será para a ciência. Portanto, o grau de corroboração não deve ser confundido com o conceito de probabilidade lógica, usado na lógica indutiva: as hipóteses, leis e teorias científicas não se tornam cada vez mais prováveis à medida que são corroboradas; nem perdem seu caráter conjectural.

3.4.5. A guisa de conclusão: o ideal da ciência

Uma ciência que pudesse explicar todos os fenômenos da natureza, a partir da observação e de certos princípios absolutamente certos, exatos e definitivos; uma ciência que também fosse capaz de penetrar nas "últimas camadas da realidade", chegando à essência final das coisas, - este utópico ideal de ciência, alimentado no início do século XVII por filósofos como Bacon e Descartes, não parece hoje capaz de ser realizado. Mas poderia ele ser substituído por um outro ideal, pelo ideal de uma ciência capaz de construir teorias cada vez mais prováveis, profundas, gerais, exatas e com maior poder de previsão?⁶⁷

Vimos que o ideal de aumentar a probabilidade de leis e teorias com auxílio de uma lógica indutiva envolve uma série de problemas não solucionados. Além disso, vimos também que na busca de segurança ou de maior probabilidade os filósofos empiristas e positivistas são levados a renunciar ao ideal de explicações cada vez mais profundas. Como diz Watkins,

"(...) o ideal de segurança ou de probabilidade é como um farol que atrai marinheiros para o naufrágio. Na tentativa de atender a esta aparentemente inocente, mas verdadeiramente perniciososa exigência, os filósofos empiristas renunciaram passo a passo a cada uma das valiosas características da ciência: em um primeiro estágio abdicaram da capacidade de explicar fenômenos através de realidades ocultas. Mas isto não foi suficiente. A universalidade [das leis naturais], mesmo ao nível dos fenômenos, teve também de ser abandonada. (...) E todos estes sacrifícios foram em vão porque [este ideal] só pode ser atingido se renunciarmos à ciência como um todo"⁶⁸.

Portanto, para Watkins, o ideal da certeza está em conflito com os demais ideais da ciência. Mas, apesar disso, o ideal de verdade talvez possa ser preservado sem apelarmos para a indução ou a probabilidade e sem sacrificarmos a busca de explicações mais profundas, amplas e exatas. Talvez possamos estabelecer critérios que mostrem que caminhamos em direção à verdade, mesmo que nunca possamos ter certeza que a atingimos. Ou então, como sugere Watkins, embora os enunciados científicos não possam ser comprovadamente verdadeiros — uma vez que nunca podem ser comprovados pelas evidências disponíveis — talvez eles possam ser considerados como possivelmente verdadeiros, no sentido de que apesar de todos os esforços não conseguimos encontrar nenhuma inconsistência entre eles ou entre eles e as evidências disponíveis⁶⁹. Desse modo, mesmo abdicando do ideal de certeza e probabilidade, poderemos ter como objetivo construir teorias cada vez mais profundas, mais gerais, a partir das quais possamos extrair um maior número de previsões mais exatas, como veremos ao longo dos próximos capítulos⁷⁰.

3.5. Resumo

Com auxílio do método indutivo, inferimos, a partir da repetição de certos acontecimentos, algo que ainda não observamos. Assim, a partir da observação de um grande número de cisnes brancos, inferimos que o próximo cisne será branco ou que todos os cisnes são brancos. Generalizações deste tipo são muito úteis em ciência, onde aparecem na forma de leis gerais.

Apesar desta forma de raciocínio parecer perfeitamente evidente e verdadeira para muitos, David Hume procurou mostrar que ela não pode ser justificada racionalmente. Evidentemente a indução não é um argumento logicamente válido, uma vez que ela leva a conclusões com mais informações do que as contidas nas premissas. Ela também não pode ser confirmada experimentalmente, uma vez que estabelece conclusões a respeito de acontecimentos ainda não observados. A idéia de uma causa ou conexão necessária entre dois acontecimentos ou propriedades (o cisne e sua brancura, por exemplo) também foi questionada por Hume, ao mostrar que essa idéia não pode ser extraída da lógica nem da observação.

Hume conclui então que tanto o conhecimento comum como o científico não podem ser justificados racionalmente. A indução seria apenas um modo de pensar a que aderimos da mesma forma que respiramos ou sentimos, sendo fundamental para nossa sobrevivência.

Outros filósofos por^{em} procuraram uma resposta ra
cional para a indução. Kant construiu uma imponente obra
filosófica, onde através de conceitos como o de conheci
mento sintético a priori procurou responder a Hume, mas
justamente a possibilidade deste tipo de conhecimento foi
recusada por vários filósofos da ciência.

Apesar de admitirem que a indução não fornece cer
teza, os filósofos indutivistas defendem a idéia de que
ela pode ser usada para garantir uma probabilidade, às ve
zes elevada, para suas conclusões. Procuram então cons
truir uma lógica indutiva de caráter probalístico, pela
qual poderíamos estabelecer o grau de confirmação de uma
hipótese em função das evidências acumuladas até o momen
to. Entretanto, várias críticas podem ser feitas a essa
tentativa. Há dificuldade de se conseguir uma evidência
inicial segura ou de saber se levamos em conta todas as
evidências em favor de uma hipótese. Além disso, a partir
do paradoxo de Goodman, pode-se demonstrar também que de
um mesmo conjunto de evidências podemos construir um n^ume
ro infinito de generalizações diferentes, ou seja, os da
dos não determinam univocamente qual a hipótese que deve
ser adotada. Assim, a indução não seria suficiente para
passarmos do nível da observação para o nível das leis ge
rais da ciência. O argumento de que devemos escolher a ge
neralização mais simples também é problemático, pois uma
hipótese mais simples é menos provável que uma hipótese
mais complexa, além de não estar de acordo com a complexi
dade crescente das teorias científicas e dos fenômenos por

elas explicados. Princípios gerais, do tipo "o futuro será igual ao passado", são "fortes" demais — não sendo obviamente verdadeiros — e se forem reformulados tornam-se vagos demais ("o futuro será semelhante ao passado"), não tendo qualquer utilidade específica. Além disto, restaria o problema de justificar estes princípios. Apesar dessas críticas, as tentativas de construção de uma lógica indutiva prosseguem.

Popper admite que a indução não pode ser justificada, mas recusa a solução cética de Hume. Em primeiro lugar porque um enunciado geral, embora não possa ser confirmado, pode ser refutado: do ponto de vista lógico, um enunciado do tipo "este cisne é negro" pode refutar o enunciado "todos os cisnes são brancos". Por isso, podemos testar uma hipótese científica, submetendo-a a experimentos que procurem refutá-la. Assim, embora as leis e teorias científicas tenham um caráter conjectural, podemos justificar nossa preferência por uma teoria em vez de outra, recusando a teoria refutada e aceitando, provisoriamente, a teoria ainda não refutada até aquele momento. Desse modo, podemos construir teorias que se aproximem cada vez mais da verdade, mesmo que jamais possamos atingi-la.

Para Popper, Hume estava errado ao pensar que nossas crenças e nosso conhecimento são determinados exclusivamente pela repetição de acontecimentos. Só podemos determinar que houve uma repetição usando um critério de semelhança, que é anterior à repetição. É o indivíduo que de

ve julgar, a partir de um ponto de vista, se duas ocorrências são semelhantes ou não e decidir então se houve repetição. Popper procura então substituir a idéia de que aprendemos pela indução, pela idéia de que aprendemos por ensaio e erro: testamos nossas idéias, crenças ou hipóteses iniciais e abandonamos aquelas que se revelaram falsas. Nossas hipóteses estão portanto sob o controle negativo da experiência. Este processo de aprendizagem é comum a todas as formas de vida e é análogo à explicação que os biólogos atuais aceitam para a evolução da vida: a partir de novos mutantes ocorre uma seleção natural que elimina os indivíduos menos adaptados. Do mesmo modo, quando um cientista elabora uma hipótese para resolver um problema, ele arrisca uma solução provisória que será submetida à crítica por outros cientistas. Se a hipótese resistir aos testes, isto é, se não for refutada, ela será aceita provisoriamente, caso contrário será substituída por outra hipótese melhor sucedida nos testes. O processo pode ser resumido através da seqüência: problema inicial → tentativa de solução → eliminação de erro → novo problema.

A linguagem permite que uma hipótese seja formulada, escrita e publicada, de modo a ser criticada e testada experimentalmente pela comunidade científica. Deste modo, podemos conscientemente adotar uma atitude crítica e quanto mais críticos formos, mais rapidamente antigas hipóteses serão refutadas e substituídas por hipóteses novas. Dessa forma, o conhecimento científico pode progredir.

dir. Entretanto, mesmo o conhecimento de base, formado por teorias, expectativas, pressupostos etc., a partir do qual surgem novos problemas, é conjectural e pode ser sempre criticado.

3.6. Leituras suplementares

Uma exposição resumida sobre o problema da indução e as tentativas de solucioná-lo encontram-se em: ALVES, Rubem. Filosofia da ciência; introdução ao jogo e suas regras. 4. ed. São Paulo, Ed. Brasiliense, 1983, pp. 110-26; BLACK, Max. "Justificação da indução". In: MORGENBESSER, Sidney (org.). Filosofia da ciência. São Paulo, Cultrix, 1979, pp. 219-30; SKYRMS, Brian. Escolha e acaso; uma introdução à lógica indutiva. São Paulo, Cultrix, 1971, pp. 11-102. RUSSEL, Bertrand. História da filosofia ocidental. 4. ed., Brasília, Ed. Universidade de Brasília; São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1982, v. 3, pp. 194-210; HEGENBERG, Leônidas. Etapas da investigação científica. São Paulo, EPU; Ed. da Universidade de São Paulo, 1976, v. 2., pp. 169-193. Para uma exposição mais detalhada, ver: AYER, A.J. Probability and evidence. New York, Columbia University Press, 1972; KYBURG, H. & NAGEL, Ernest. Induction: some current issues. Middletown, Wesleyan University Press, 1963; WATKINS, John. Science and scepticism. Princeton, Princeton University, 1984, pp. 3-38; SWINBURNE, Richard (ed.). The justification of induction. Oxford, Oxford University, 1974.

Os argumentos originais de Hume estão em: HUME, David. Investigação acerca do entendimento humano. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1972; SELBY-BIGGE, L. A. Hume's Treatise. Oxford, Clarendon Press, 1888.

Sobre a obra de Kant e sua solução do problema de Hume, ver: SCRUTON, Roger. Kant. Lisboa, Dom Quixote, 1983; PASCAL, Georges. O pensamento de Kant. Petrópolis, Vozes, 1983; OLSCAMP, Paul J. Introdução à filosofia. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1980, pp. 146 - 66; KANT, Immanuel. Crítica da razão pura e outros textos filosóficos. São Paulo, Abril, 1974 (coleção Os Pensadores); FERNANDES, Sergio Luiz de Castilho. Foundations of objective knowledge; The relation of Popper's theory of knowledge to that of Kant. Dordrecht, D. Reidel, 1985.

Sobre lógica indutiva, ver: CARNAP, Rudolf. Logical foundations of probability. London, Routledge & Kegan Paul, 1950; JEFFREYS, Harold. Scientific Inference. Cambridge, University Press, 1957; JEFFREY, Richard, C. The logic of decision. New York, McGraw Hill, 1965; HESSE, Mary. The structure of scientific inference. London, Macmillan, 1974; BRAITHWAITE, Richard B. Scientific explanations. Cambridge, University Press, 1953.

O paradoxo de Goodman pode ser estudado em: GOODMAN, Nelson. Fact, fiction and forecast. London, Athlone Press, 1954, cap. III; SKYRMS, Brian. Escolha e acaso; uma introdução à lógica indutiva. São Paulo, Cultrix, 1971, pp. 85-102.

Críticas à lógica indutiva podem ser encontradas em: LAKATOS, Imre (ed.). The problems of inductive logic. Amsterdam, North Holland, 1968; WATKINS, John. Op. cit., pp. 39-122; SCHILPP, Paul Arthur (ed.). The philosophy of Rudolf Carnap. La Salle, Open Court, 1963.

As críticas de Popper e sua solução do problema da indução podem ser encontradas em várias de suas obras: A lógica da pesquisa científica. 2.ed. São Paulo, Cultrix, 1975, pp. 27-59, pp. 82-159, pp. 288-311, pp. 414-503; Autobiografia intelectual. São Paulo, Cultrix; Ed. da Universidade de São Paulo, 1977, pp. 50-60 e pp. 149-57; Conhecimento objetivo; Uma abordagem evolucionária. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975, pp. 13-107; Conjecturas e refutações. Brasília, Ed. Universidade de Brasília, 1972, pp. 23-5 e pp. 63-88; "Replies to my critics". In: SCHILPP, Paul Arthur (ed.). The philosophy of Karl Popper. La Salle, Open Court, 1963, v.2, pp. 961-1197.

A abordagem evolucionista do conhecimento está em POPPER, Karl. Conhecimento objetivo, pp. 234-60, e é desenvolvida também por CAMPBELL, "Evolutionary epistemology". In: SCHILPP, Paul Arthur. Op. cit., pp. 413-63.

3.7. Notas e referências bibliográficas

- ¹ Cf. BLACK, Max. "Justificação da indução". In: MORGENBESSER, Sidney. (org.). Filosofia da ciência. São Paulo, Cultrix, 1979, pp. 219-29; POPPER, Karl. A lógica

da pesquisa científica, pp. 29-30; Conhecimento objetivo, pp. 14-6; Replies to my critics, pp. 1014-5.

- ² Cf. ALVES, Rubem. Filosofia da ciência, pp. 114-6.
- ³ Cf. DAVIS, P. William & SOLOMON, Eldra Pearl. The World of biology. New York, McGraw-Hill, 1979, p. 40.
- ⁴ POPPER, Karl. Conhecimento objetivo, pp. 20-1.
- ⁵ BLACK, Max. Op. cit., p. 223.
- ⁶ Cf. RUSSELL, Bertrand. História da filosofia ocidental. v. 3, pp. 198-206; OLSCAMP, Paul J. Introdução à filosofia. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1980, pp.137-46.
- ⁷ Cf. RUSSELL, Bertrand. História da filosofia ocidental, v. 3, p. 203.
- ⁸ Cf. WATKINS, John. Science and scepticism. p.3 e WEDBERG, Anders. A history of philosophy, v. 2, pp. 89-90.
- ⁹ HUME, David. Treatise of human nature. 1740. tomo I, parte III, seção VI, citado em POPPER, Karl. Conjecturas e refutações, p. 72.
- ¹⁰ HUME, David. Op. cit., p. 187.
- ¹¹ Cf. WATKINS, John. Op. cit., p. 19.
- ¹² Cf. Ibid., pp. 23-5.
- ¹³ Cf. Ibid., pp. 28-31.

- ¹⁴ RUSSELL, Bertrand. Op. cit., v. 3., p. 209.
- ¹⁵ Ibid., Op. cit., p. 255.
- ¹⁶ Cf. WEDBERG, Anders. Op. Cit., v. 2, pp. 152-4 e PASCAL, Georges. O pensamento de Kant. Petrópolis, Vozes, 1983, pp. 35-159.
- ¹⁷ Cf. PASCAL, Georges. Op. Cit., pp. 33-6.
- ¹⁸ POPPER, Karl. Conjecturas e Refutações, p. 208.
- ¹⁹ Ibid., p. 218.
- ²⁰ Para uma defesa desta posição ver: FERNANDES, Sergio Luiz de Castilho. Foundations of objective knowledge; the relation of Poppers theory of knowledge to that of Kant. Dordrecht, D. Reidel, 1985.
- ²¹ WATKINS, John. Op. Cit., p. 10.
- ²² GIERE, Ronald. Understanding scientific reasoning, p. 37.
- ²³ Cf. WATKINS, John. Op. cit., pp. 39-44.
- ²⁴ Cf. Op. Cit., pp. 84-6, pp.64-6.
- ²⁵ Ibid., p. 66.
- ²⁶ Cf. Ibid., pp. 59-61.
- ²⁷ Cf. Ibid., pp. 80-2.

- ²⁸ Cf. SKYRMS, Brian. Escolha e acaso; uma introdução à lógica indutiva. São Paulo, Cultrix, 1971, pp. 85-102.
- ²⁹ BUNGE, Mario. La investigación científica, p. 288.
- ³⁰ Cf. POPPER, Karl. Realism and the aim of science. London, Hutchinson, 1982, pp. XXXVII-XXXIX.
- ³¹ Cf. Ibid., p. XXXIX.
- ³² Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., p. 263 e SKYRMS, Brian. Op. cit., pp. 39-101.
- ³³ Id., Op. cit., p. 255.
- ³⁴ Cf. WATKINS, John. Op. cit., p. 110 e BUNGE, Mario. Op. cit., p. 312.
- ³⁵ Cf. WATKINS, John. Op. cit., p. 117.
- ³⁶ POPPER, Karl. Autobiografia intelectual, p. 154.
- ³⁷ Cf. WATKINS, John. Op. cit., p. 117.
- ³⁸ Cf. HEMPEL, Carl. Filosofia da ciência natural, pp. 30-31.
- ³⁹ BUNGE, Mario. Op. cit., p. 272.
- ⁴⁰ Cf. POPPER, Karl. Conhecimento objetivo, p. 15.
- ⁴¹ Cf. Ibid., p. 18.
- ⁴² Cf. Id., "Replies to my critics", p. 1021
- ⁴³ Cf. Ibid., p. 1021.

- ⁴⁴ Ibid., p. 1021.
- ⁴⁵ Ibid., p. 1022.
- ⁴⁶ Ibid., p. 1018.
- ⁴⁷ Cf. Id.; Conjecturas e refutações, p. 74 e A lógica da pesquisa científica, p. 480.
- ⁴⁸ Desenhos modificados a partir de POPPER, Karl. A lógica da pesquisa científica, p. 481.
- ⁴⁹ POPPER, Karl. Conjecturas e refutações, p. 74.
- ⁵⁰ Ibid., p. 75-6.
- ⁵¹ Cf. Ib., Realism and the aim of science, p. 42.
- ⁵² Cf. Ibid., p. 42.
- ⁵³ Cf. Ibid., p. 43.
- ⁵⁴ Ibid., p. 43.
- ⁵⁵ Id., Conhecimento objetivo, p. 222.
- ⁵⁶ Ibid., p. 143.
- ⁵⁷ Cf. Ibid., p. 223.
- ⁵⁸ Cf. Ibid., p. 223.
- ⁵⁹ Cf. Ibid., pp. 226-7.
- ⁶⁰ Ibid., p. 226.

⁶¹ Id., Conjecturas e refutações, p. 54.

⁶² Ibid., p. 55.

⁶³ BUNGE, Mario. Op. cit., p. 206.

⁶⁴ Ibid., p. 204.

⁶⁵ Cf. POPPER, Karl. Conhecimento objetivo, p. 29.

⁶⁶ Cf. Ibid., p. 29.

⁶⁷ Cf. WATKINS, John. Op. cit., pp. 126-33.

⁶⁸ Ibid., p. 153.

⁶⁹ Cf. Ibid., pp. 155-6.

⁷⁰ Cf. Ibid., p. 133.

CAPÍTULO IV

HIPÓTESES, LEIS E TEORIAS — O NÚCLEO DAS EXPLICAÇÕES CIENTÍFICAS

"Acredito que haja pelo menos um problema no qual todas as pessoas pensantes estejam interessadas. Trata-se do problema da Cosmologia: o de se compreender o mundo abrangendo inclusive a compreensão de nós mesmos e de nosso conhecimento, como parte do mundo. Toda ciência é Cosmologia..."

Karl Popper

"A ciência não se interessa pela aparência, a não ser na medida em que esta é uma pista ambígua da realidade."

Mario Bunge

"Por causa dela [a obra de Galileu] a humanidade começou a entrever um Deus, não de capricho e extravagância, como eram todos os demais da Antiguidade, mas um Deus que age por meio de leis."

Robert. A. Millikan

Uma das principais características das explicações científicas é que elas se valem de leis para explicar e prever acontecimentos. A pressuposição de que existem leis na natureza é fundamental para a atividade científica: sem elas não há ciência, e mesmo acontecimentos que ocorrem ao acaso são regidos por leis probabilísticas.

Mas o cientista não busca apenas leis. Ele procura construir também sistemas de leis, conceitos e hipóteses, de modo a formar uma teoria científica. É através de teorias que ele procura descobrir o mecanismo oculto dos fenômenos.

Neste capítulo vamos analisar a estrutura das hipóteses, leis e teorias responsáveis pelas explicações científicas.

4.1. Respostas aos porquês — as explicações científicas

Por que o gelo flutua na água? Por que um arco-íris apareceu hoje no céu? Por que os dinossauros se extinguiram? Por que aproximadamente a metade dos recém-nascidos é do sexo masculino?

Uma criança poderá responder a qualquer destas perguntas simplesmente com um "porque sim"; de adultos, porém, espera-se usualmente uma justificativa racional para esses fenômenos; uma justificativa que não apele para argumentos de autoridade do tipo "é assim porque eu determino que seja". Em vez disso, procuramos descobrir leis e

teorias científicas que sirvam como premissas de argumentos lógicos, a partir dos quais possamos inferir a ocorrência de determinados fenômenos. São argumentos deste tipo que constituem as explicações científicas.

4.1.1. A estrutura dedutiva das explicações científicas

Como vimos no primeiro capítulo, quando a mãe de Cláudia perguntou ao médico porque sua filha estava doente, ela queria saber a causa da doença, isto é, o acontecimento que antecedeu e gerou a doença de Cláudia. Ao responder que a causa foi uma infecção, o médico utilizou, implicitamente, um argumento dedutivo que poderia, de forma simplificada, ser esquematizado do seguinte modo:

Quando certos micróbios invadem nosso corpo, provocam doenças.
Alguns micróbios invadiram o organismo de Cláudia.

Logo, Cláudia está doente.

As duas primeiras sentenças que explicam o fenômeno (a doença de Cláudia) são chamadas explanans ou explicans (do latim, "aquilo que explica"). A conclusão do argumento é uma sentença que descreve o fenômeno a ser explicado — o explanandum ou explicandum ("aquilo que tem de ser explicado").

A primeira sentença é um enunciado geral ou uma generalização. A segunda relata um fato que antecedeu e provocou o fato a ser explicado e que é chamado de causa, circunstância inicial ou condição inicial. Em ciência, usa

mos um tipo de generalização conhecido como lei geral e como às vezes precisamos de mais de uma lei geral, aliada a um conjunto de condições iniciais para explicar o fenômeno, podemos esquematizar o argumento da seguinte maneira:

$$\left. \begin{array}{l} L_1, L_2 \dots L_n \text{ (leis gerais)} \\ \underline{C_1, C_2 \dots C_n} \text{ (condições iniciais)} \end{array} \right\} \text{Explanans}$$

$$E \quad (\text{explanandum})$$

Ou, de forma mais resumida:

$$\{\text{Leis gerais, Circunstâncias}\} \vdash \underline{\text{Explicandum}}$$

Ou ainda

$$\{L, C\} \vdash E$$

que pode ser lido: E é consequência lógica, ou se segue logicamente das condições iniciais ou circunstâncias (C) e das leis gerais (L)¹.

Este tipo de explicação chama-se dedutivo-nomológico (do grego nomos, lei) porque o fenômeno a ser explicado é deduzido das leis gerais e das condições iniciais. Convém frisar que a indução não está em causa. Se admitirmos que a lei ou generalização é verdadeira, o fenômeno (explanandum) pode ser deduzido logicamente das leis e das condições iniciais. Estamos portanto diante de um argumento dedutivo em cujo explanans há uma lei geral de carã-

ter hipotético². É importante também compreender que sem as leis gerais o argumento não seria válido: qualquer explicação científica pressupõe leis que ligam a causa ao efeito, mesmo que, na prática, não sejam mencionadas. Assim, quando dizemos que um fio metálico se dilatou porque foi aquecido, omitimos a generalização de que os metais se dilatam quando aquecidos. Com o auxílio desta premissa adicional, a explicação adquire a forma de um argumento logicamente válido.

Quando perguntamos "por quê?", queremos saber, às vezes, a causa do fenômeno. Foi o que ocorreu com a mãe de Cláudia, que recebeu do médico uma resposta do tipo E porque C, ou seja, Cláudia está doente porque alguns micróbios provocaram uma infecção em seu organismo. No primeiro capítulo (em 1.2.5.) vimos que as irregularidades de Urano não podiam ser previstas apenas com as leis de Newton e com as condições iniciais, representadas pelos outros planetas conhecidos na época. Leverrier suspeitou que a causa fosse um planeta exterior e — aplicando a lei de Newton — calculou a posição, a massa e outras características desse suposto planeta. Sua hipótese foi posteriormente confirmada pela descoberta de Netuno.

Nesse exemplo, as leis de Newton não foram questionadas e uma situação semelhante ocorre com a maioria das pesquisas científicas, que visam descobrir as condições iniciais supondo que as leis gerais são verdadeiras. Mesmo neste caso, porém, as leis estão sendo implicitamen

te testadas: se o planeta não fosse achado, poderíamos suspeitar que as leis de Newton não eram válidas. Com Leverrier, elas passaram — com um sucesso espetacular — pelo teste, mas no caso das irregularidades de Mercúrio, isto não aconteceu. Tentou-se explicar estas irregularidades pela presença de um suposto planeta, Vulcano, que, no entanto, não foi encontrado. Em situações como essa, teremos de procurar novas leis que substituam as leis antigas e que englobem tanto os fenômenos explicados, pelas leis de Newton como as irregularidades não previstas por estas leis. Neste caso, a explicação veio com a teoria da relatividade, de Einstein.

Outras vezes, quando perguntamos pelo porquê dos fenômenos, queremos conhecer as leis gerais e não as condições iniciais. Provavelmente muitas pessoas já perceberam que o arco-íris surge em dias em que há sol e chuva simultaneamente (condições iniciais). A explicação, neste caso, será dada pelas leis da refração e dispersão da luz.

O fenômeno a ser explicado não precisa ser, necessariamente, um fato particular que ocorre em certo local e numa certa época. Ela pode ser também uma generalização ou regularidade, como a de que o gelo flutua na água. Neste exemplo, a explicação será dada pela lei de Arquimedes ("todo corpo mergulhado em um líquido sofre um impulso de baixo para cima igual ao peso do volume de líquido deslocado"), associada à lei de equilíbrio dos corpos e à densidade do gelo e da água³.

Como veremos adiante (em 4.3.3.), mesmo as leis gerais podem ser explicadas por outras leis ou por um sistema de leis — as teorias —, que tentam captar uma realidade em um nível ainda mais profundo e geral. A lei da queda livre de Galileu, por exemplo, pode ser deduzida a partir da teoria da gravitação de Newton, e as leis da ótica geométrica a partir da teoria ondulatória da luz⁴.

4.1.2. Explicando o visível pelo invisível

É curioso como muitas vezes as explicações científicas, em vez de explicar algo desconhecido em função de algo conhecido ou familiar, fazem justamente o oposto. Assim, a semelhança entre pais e filhos foi explicada como devida à ação de fatores — os genes —, que só há relativamente pouco tempo tiveram sua estrutura química desvendada. A capacidade de combinação dos elementos químicos entre si era explicada pela hipótese de que todos eles eram formados de partículas invisíveis, os átomos. Para salvar o movimento dos planetas em torno do sol, Newton utilizou o conceito de força, uma espécie de "agente imaterial" cuja natureza foi motivo de muitas discussões filosóficas. Algumas vezes, fatos aparentemente banais, como a escuridão da noite, são explicados através de teorias bem pouco familiares. De fato, se o universo é infinito em extensão — com estrelas ou galáxias uniformemente distribuídas —, em qualquer direção que olhássemos deveríamos ver alguma estrela, e o céu deveria ficar tão brilhante quanto a superfície do sol. A explicação para este pa-

radoxo é dada pela teoria do universo em expansão, que constitui a visão atual da astronomia sobre o universo. De acordo com esta concepção, as galáxias se afastam de nós com velocidade cada vez maior, e, por isso, a frequência da luz emitida torna-se cada vez menor, até não mais poder ser vista⁵.

Mas, como diz Bunge, mesmo o senso comum se vale de conceitos como alegria, pensamento, amor etc. que não podem ser observados diretamente e sim inferidos a partir de certas manifestações ou comportamentos (sorrisos que indicam alegria, por exemplo)⁶. Portanto, não é somente a ciência que explica o conhecido pelo desconhecido ou o visível pelo invisível. Que diferença há entre as explicações científicas e as explicações mágicas e místicas, do tipo "o trovão é provocado pela ira dos deuses"?⁷ Do mesmo modo, por que as explicações de fenômenos típicos do ser vivo que apelam para "forças vitais" não são consideradas científicas?

A diferença reside no fato de que, embora as explicações científicas possam utilizar fatores não observáveis, elas se valem de leis que permitem prever o que acontecerá em determinadas situações. A lei da gravitação de Newton, aliada a certas condições iniciais, diz como será o movimento dos planetas em torno do sol, especificando as forças que atuam sobre cada planeta e as mudanças de velocidade provocadas por estas forças. Assim, embora as forças gravitacionais possam ter um certo caráter mis-

terioso, elas se conformam a leis especificamente enunciadas. Já as forças vitais são como as aparições de "fantasmas": elas não obedecem a lei alguma. Estas explicações não especificam sob que condições tais forças entram em ação, nem como elas orientam os fenômenos biológicos⁸. Dito em outras palavras: as leis científicas são condicionais, isto é, fornecem as condições em que certos fenômenos ocorrerão, permitindo prever que, se ocorrerem certos fatos — as condições iniciais ou causa —, haverá determinado efeito. Assim, a lei de dilatação linear dos metais afirma que todos os metais quando aquecidos (fato A) se dilatam (fato B). Esta lei é na realidade ainda mais precisa, pois nos dá uma fórmula para calcular o valor da dilatação em função da temperatura e do comprimento inicial do fio. Em outras palavras: as leis são enunciados gerais que estabelecem uma conexão entre dois grupos de fenômenos, afirmando que sempre que um grupo de fenômenos ocorrer, será acompanhado por outro. Por isso, podemos dizer que as leis são enunciados do tipo "todo A é B"⁹.

As leis científicas conferem às explicações científicas um notável poder de previsão, pois quando explicamos um fenômeno estamos também prevendo em que condições ele ocorrerá. Esta capacidade de previsão permite que as leis científicas sejam submetidas a testes experimentais, arriscando-se a serem refutadas. Não é isso que ocorre com profecias do tipo "Haverá uma grande catástrofe" (em vez de "Haverá uma grande catástrofe se as seguintes condições forem preenchidas"), que afirmam que algo ocorrerá

"aconteça o que acontecer", sem referir-se às condições necessárias ou suficientes para tal ocorrência. É por não haver esta referência que se deve usar o termo "profe-
cia", em vez de "previsão"¹⁰, como diz Hempel:

"Como elas nada nos dizem acerca do que esperar em determinadas condições empíricas, jamais nenhuma verificação empírica poderá desacreditá-las"¹¹.

Estamos, portanto, diante de "explicações" que não enunciam as condições necessárias ou suficientes para que a previsão ocorra: são vagas, "irrefutáveis" e, por isso mesmo, como veremos no capítulo VI, incapazes de nos dar informações relevantes acerca da realidade.

4.1.3. O universo como um relógio: é possível um determinismo completo e absoluto?

O sucesso das leis de Newton em explicar e prever fenômenos que ocorrem no céu e na Terra levou alguns cientistas e filósofos, como o matemático e físico Pierre Simon Laplace (1749-1827), a suporem que tudo que acontecia no universo podia ser explicado em função da posição, da velocidade e da massa das partículas materiais. Para Laplace,

"(...) uma inteligência que conhecesse todas as forças que animam a natureza e os estudos, em determinado instante, dos objetos que a compõem (...) seria capaz de englobar em uma única fórmula os movimentos dos grandes corpos do universo e dos mais leves átomos; para ela nada seria incerto e o futuro, como o passado, estariam presentes a seus olhos(...)"¹².

Laplace propõe então que tudo que ocorra no universo possa, em princípio, ser explicado por leis que relacionam causa e efeito de uma maneira completamente determinada, o que tornaria possível prever qualquer acontecimento futuro. O universo seria algo como um imenso relógio, com os fenômenos se sucedendo de forma regular e previsível, como ocorre com os movimentos dos planetas ao redor do sol. Esta teoria, conhecida como determinismo mecanicista ou mecanicismo, parecia confirmada pelo sucesso das explicações através de leis causais da mecânica que relacionavam causa e efeito de maneira necessária.

Entretanto, a evolução da física não ocorreu como Laplace previa. Em primeiro lugar, porque as leis de Newton não foram suficientes para explicar todos os fenômenos físicos conhecidos. O eletromagnetismo ou a coesão das partículas do núcleo do átomo, por exemplo, valem-se de outros tipos de forças, diferentes das forças newtonianas. As leis da mecânica são, assim, insuficientes para explicar todos os fenômenos físicos e, conseqüentemente, o mecanismo teve de ser abandonado.

Há ainda um outro problema relacionado com a idéia de causa. Para empiricistas e positivistas, dizer que um fenômeno é causado por outro é dizer que ele foi observado freqüentemente, acompanhado por outro¹³.

Entretanto, como diz Bunge, embora maçãs vermelhas sejam doces, não podemos dizer que a cor vermelha é a causa da maçã ser doce, como não podemos dizer também que o

dia seja a causa da noite, apesar de um acompanhar sempre o outro¹⁴. Por isso, para muitos filósofos, a idéia de causa implica algo mais do que a mera conjunção de fenômenos, envolvendo a idéia de que sempre que um evento — a causa — ocorrer, ele deve necessariamente produzir ou gerar outro evento — o efeito. Haveria assim uma conexão necessária e uma relação de produção entre a causa e o efeito¹⁵. Para empiristas e positivistas, porém, conexões necessárias são encontradas apenas na lógica, e não em eventos, uma vez que tais conexões não podem ser observados na natureza. Como, ainda segundo a concepção empirista, a experiência é a única fonte "confiável" de conhecimento, o conceito de causa é, para esses filósofos, desprovido de significado e deve ser substituído pela simples sucessão invariável de fenômenos.

Entretanto, como vimos no capítulo II, mesmo aquilo que podemos chamar de "observação direta" (fornecida por nossos órgãos dos sentidos) envolve sempre uma interpretação hipotética dos fatos, feita por nosso sistema neurossensorial a partir de idéias, crenças etc. Assim, a idéia de causa e, tanto quanto a "observação direta", uma construção hipotética de algo supostamente real.

Como veremos adiante (em 4.3.3.), através da construção de teorias científicas podemos tentar descobrir, sempre hipoteticamente, algo semelhante a uma conexão necessária. Assim, a sucessão de dias e de noites pode ser explicada pela teoria heliocêntrica e pela teoria da gra-

vitação de Newton, enquanto a cor e o sabor de maçã seriam determinados por genes — entidades "invisíveis" descobertas a partir da teoria genética. Do mesmo modo, a relação da produção seria acompanhada sempre por uma transmissão de energia, que vai da causa para o efeito¹⁶. Esta transmissão está ausente na relação dia-noite ou cor-sabor da maçã, mas está presente na relação Sol-Terra e gene - cor ou sabor.

Devido ao caráter conjectural das teorias científicas, não podemos afirmar, categoricamente, que encontramos a causa real de um fenômeno. Mas, do mesmo modo que a idéia de verdade, a idéia de causa orientaria nossa busca de um conhecimento cada vez mais amplo e profundo da natureza¹⁷.

Entretanto, resta ainda outro problema relacionado com a idéia de causa: será que todos os fenômenos podem ser explicados por leis causais? Como veremos a seguir, há um outro tipo de explicação que parece ser diferente das explicações fornecidas por leis causais: são as explicações probabilísticas ou estatísticas, hoje largamente utilizadas não apenas na física mais também em muitas outras ciências.

4.1.4. Os fenômenos aleatórios e as explicações estatísticas

O resultado do lançamento de uma moeda, os movimentos das moléculas de um gás, os fenômenos estudados pela mecânica quântica, a desintegração radioativa de cer-

tos átomos, a combinação genética resultante de várias fecundações possíveis e as mutações são alguns exemplos de fenômenos que parecem ocorrer ao acaso.

Para Bunge, fenômenos deste tipo não podem ser explicados apenas por leis causais. Entretanto, isto não quer dizer que os fenômenos aleatórios não obedeçam a lei alguma, isto é, que eles sejam completamente imprevisíveis. Para estes casos dispomos de leis probabilísticas. Assim,

"ao jogarmos uma moeda não obtemos cara e outras vezes elefantes, jornais, sonhos ou outros objetos em uma forma arbitrária e sem leis, sem qualquer conexão com as condições antecedentes"
18.

No caso do lançamento de moedas, por exemplo, embora não possamos prever o resultado de um determinado lance, podemos dizer que após um grande número de lances a frequência de caras será aproximadamente igual à frequênde coroas, com uma margem de erro que diminuirá à medida que o número de lances aumente.

As leis estatísticas possuem, no entanto, uma limitação importante: elas possibilitam previsões apenas para todo um conjunto formado por um grande número de acontecimentos singulares aleatórios. A lei da desintegração radioativa, por exemplo, afirma que cada elemento radioativo tem uma meia-vida (o tempo necessário para que a metade dos átomos de uma amostra se desintegre) que é sempre a mesma para cada elemento. Assim, embora possamos prever que após 1.600 anos a metade dos átomos de rádio

de uma amostra terá se transformado em outro átomo, o radônio, não podemos prever quais os átomos que se desintegrarão neste período¹⁹. Se pudéssemos apontar para um átomo e perguntar ao físico se este átomo vai ou não se desintegrar ao final de uma meia-vida, ele não poderia nos responder.

O mesmo tipo de explanação é utilizado para explicar o comportamento de um gás e a passagem de calor de um corpo mais quente para um corpo mais frio. Para a física atual, quando um fenômeno macroscópico resultar de um grande número de eventos microscópicos de caráter indeterminado — como são os fenômenos estudados pela mecânica quântica —, ele poderá ser explicado por leis estatísticas.

Em biologia, essas explicações são também muito importantes, principalmente no estudo da hereditariedade e da evolução. São as explicações estatísticas que nos permitem prever que, em um grande número de nascimentos, aproximadamente a metade dos filhos será do sexo masculino e a outra metade do sexo feminino. Em todos esses casos, podemos prever o comportamento de uma multidão de indivíduos, mas não de cada indivíduo em uma multidão.

A polêmica entre indutivistas e não-indutivistas volta a se manifestar em relação à natureza das explicações estatísticas. Para Hempel, por exemplo, essas explicações têm um caráter diferente das explicações dedutivo-nomológicas. O fato de uma criança ter contraído sarampo, por exemplo, poderia ser explicado da seguinte forma:

A probabilidade de pessoas expostas ao sarampo contraírem a doença é elevada (lei probabilística).

Paulinho esteve exposto ao sarampo (condição inicial).

Paulinho contraiu sarampo²⁰.

Enquanto nos argumentos dedutivos usávamos um traço único para indicar que as premissas implicam logicamente a conclusão, nas explicações probabilísticas usamos um traço duplo após as premissas para indicar que a conclusão é apenas provável. Isto quer dizer que, neste caso, a ocorrência do explanandum deve ser esperada, não com certeza, mas apenas com certa probabilidade.

Entretanto, Watkins critica Hempel, mostrando que essa interpretação apresenta problemas semelhantes aos discutidos em relação à lógica indutiva, como o da necessidade de se levar em conta a evidência total, vista no capítulo anterior (em 3.2.2.), além de incorrer nos problemas envolvidos na interpretação subjetiva da probabilidade, como veremos adiante (em 4.3.5.)²¹.

Para Watkins, as explicações estatísticas não são capazes de explicar por que um acontecimento particular ocorreu²². Não podemos, por exemplo, explicar por que um átomo individual se desintegrou. Podemos afirmar apenas que havia uma probabilidade objetiva para que este fenômeno ocorresse, e não podemos explicar mais, após o evento, do que podíamos prever antes do evento. Neste caso, teríamos:

Hã uma certa probabilidade para que pessoas expostas ao sarampo adquiram a doença.

Paulinho foi exposto ao sarampo.

Logo, hã uma probabilidade objetiva para que Paulinho contraia sarampo.

Portanto, em termos gerais, uma explicação proba-bilística teria a seguinte forma: em certas condições (A) hã certa probabilidade de ocorrer certo evento(B); a condição A estã presente; portanto, podemos concluir que hã uma probabilidade objetiva para que B ocorra.

Watkins conclui que a explicação estatística não é incompatível com a explicação dedutivo-nomológica, mas que ambas têm essencialmente a mesma estrutura lógica²³.

Finalmente, podemos perguntar se as explicações estatísticas são realmente explicações genuínas ou apenas pseudo-explicações. Será que podemos dizer que explicamos realmente um fenômeno se não somos capazes de descobrir, mesmo em caráter conjectural, uma causa para esse fenômeno? A resposta a esta questão depende do modo como interpretamos as leis probabilísticas: estas leis indicariam apenas que ainda não conhecemos as causas de um fenômeno? Ou será que elas indicam que alguns fenômenos ocorrem ob-jetivamente ao acaso, sem qualquer causa que os determine? Como veremos mais adiante (em 4.3.5.), a posição dominante atualmente é a de que alguns acontecimentos ocorrem realmente ao acaso. Portanto, as explicações estatísticas podem ser

consideradas explicações legítimas, uma vez que as leis estatísticas procuram refletir algo que realmente ocorre na natureza.

4.1.5. As explicações teleológicas: há finalidade na natureza?

Os pulmões servem para respirar; algumas lagartas que vivem em folhas são verdes porque isto lhes dá maior proteção contra pássaros e outros predadores; o ovo se desenvolve de modo a formar um organismo altamente organizado; o suor faz com que percamos calor quando nossa temperatura aumenta, ajudando a mantê-la constante.

Essas explicações, utilizadas em biologia, têm uma característica comum: pelo menos aparentemente, todas explicam certos processos em função de alguma finalidade ou de algum objetivo futuro, isto é, elas pressupõem que um futuro estado de coisas possa determinar o desenrolar de um estado presente. São, por isso, chamadas de explicações teleológicas (do grego téleos, fim ou meta) e podem ser reconhecidas pelo uso de expressões como "a fim de", "em função de", "a finalidade de" ou equivalente destas²⁴.

Esse tipo de explicação apresenta alguns problemas. É sabido que parte de nossa atividade é dirigida por algum objetivo futuro; afinal somos seres conscientes, capazes de antecipar as conseqüências de nossos atos. Entretanto, será possível estendermos este comportamento para seres vivos desprovidos de consciência ou para processos

não conscientes, como o desenvolvimento do ovo? Se isto não for possível, será que estas explicações poderiam ser substituídas por explicações causais ou estatísticas?

A crença de que há processos na natureza, especialmente os fenômenos vitais, dirigidos para determinados fins, existe desde a Grécia antiga e se manifesta, por exemplo, através do conceito de Aristóteles de causa final. Para este filósofo existiriam quatro tipos de causas na natureza. Suponhamos, por exemplo, que um escultor esteja trabalhando em um bloco de mármore para transformá-lo em uma estátua. A causa material é o mármore; a causa formal é a forma geométrica da estátua que será esculpida; a causa eficiente é a atividade do escultor e a causa final é seu objetivo de esculpir a estátua²⁵. Assim, do mesmo modo que o escultor é guiado em seu trabalho por uma finalidade, isto é, pela idéia que tem em mente da estátua que será realizada (causa final), também a natureza se comportaria como se fosse capaz de prever o futuro²⁶. Desse modo, Aristóteles utilizava explicações teleológicas, não apenas para os seres vivos, mas também para objetos inanimados: o fogo sobe a fim de alcançar seu lugar natural, que é uma camada esférica próxima à órbita da lua; uma pedra cai em direção ao seu lugar natural, que é o centro da Terra²⁷. Para Aristóteles, portanto, cada elemento (ar, água, terra, fogo e éter) tinha uma potencialidade para se mover em direção ao seu lugar natural²⁸.

Um dos muitos insights de Galileu foi perceber

que este tipo de explicação não é adequada para a física. A causa final e a causa formal não podiam ser submetidas a teste, não eram refutáveis e foram afastadas da ciência. A causa material não é propriamente uma causa, e sim o que chamamos hoje de matéria²⁹. Portanto, somente a causa eficiente, interpretada como um agente externo capaz de produzir mudanças, constitui objeto de pesquisa científica, uma vez que somente ela pode receber tratamento matemático e ser submetida a teste³⁰. Como diz o filósofo L.W.Hull,

"(...) a busca de causas eficientes provou ser um procedimento científico muito mais poderoso que a busca de causas finais. Os cientistas tiveram geralmente êxito quando procuraram causas eficientes e fracassaram quando se inspiraram em causas finais (...). A ciência deve proceder com base na hipótese de que tudo tem causas eficientes e é tarefa do cientista descobri-las"³¹.

Apesar disso, os fenômenos vitais, particularmente a adaptação, constituíram por muito tempo um mistério. Como explicar, por exemplo, a fantástica construção da anatomia do olho humano, a não ser supondo alguma causa final que orientasse sua evolução? Muitos biólogos no passado procuraram explicar a evolução progressiva de formas mais simples em direção a formas cada vez mais aperfeiçoadas, como o homem, postulando a existência de uma força não física — ou mesmo imaterial — que dirigia a evolução do mundo vivo em direção a uma perfeição cada vez maior (teoria da ortogênese)³².

Há vários motivos pelos quais as explicações teleo-

lógicas ou por forças vitais foram consideradas insatisfatórias. Em primeiro lugar, a evolução não produz necessariamente formas mais complexas: uma espécie pode originar várias espécies diferentes e alguma delas pode se adaptar a uma vida parasitária, originando então formas mais simples, em vez de mais complexas. Além disso, sabemos hoje que a maioria das mutações não é vantajosa, mas prejudicial, e que a extinção, e não o sucesso, é a regra na história da vida em nosso planeta. Na realidade, 99% de todas as espécies existentes até hoje se extinguíram. Finalmente, teorias como a da ortogênese não são suscetíveis de teste. Já a moderna teoria da evolução fornece um mecanismo compatível com as leis físico-químicas e com as explicações causais ou probabilísticas, e é capaz de explicar tanto os fenômenos supostamente "explicados" pela ortogênese, como as exceções que não podem ser explicadas por ela. Estes são alguns dos motivos pelos quais explicações teleológicas que apelam para um "finalismo cósmico" são rejeitadas por cientistas atuais³³.

Nossos conhecimentos atuais a respeito da teoria da evolução, do código genético e dos chamados sistemas autocontrolados nos fornecem elementos para explicar diversos fenômenos vitais, sem apelar para causas finais. A capacidade que temos de suar quando nossa temperatura aumenta, por exemplo, decorre de um sistema de autocontrole presente em nosso organismo: uma temperatura mais alta estimula células do hipotálamo, que, por sua vez, estimulam a produção de suor nas glândulas sudoríparas da pele; a

evaporação do suor provoca então o abaixamento da temperatura.

Convém frisar, no entanto, que esse tipo de controle automático não é exclusivo do ser vivo. Ele existe em alguns aparelhos elétricos. Nos computadores e em sistemas químicos enzimáticos que, mesmo quando fora do ser vivo, são autocontrolados. Um termostato, por exemplo, faz um aparelho de ar condicionado funcionar sempre que a temperatura do ambiente aumenta. A síntese de diversas substâncias na célula é controlada pelos produtos formados neste processo, que inibem as enzimas à medida que se acumulam na célula, desligando automaticamente todo o processo e impedindo que haja um aumento excessivo de suas substâncias na célula. Este tipo de controle, chamado controle por feed-back ou retroalimentação negativa, existe tanto ao nível celular quanto ao nível do organismo (glândulas que estimulam outras glândulas que então inibem a primeira) e ao nível das populações (como ocorre com populações de predadores e de presas que se mantêm em equilíbrio). Apesar disso, esses sistemas autocontrolados nem sempre são eficientes: vários tipos de doenças — e mesmo a morte — são provocados por falhas nesses sistemas e mesmo em organismos saudáveis eles só funcionam dentro de certos limites.

A presença de sistemas autocontrolados contribui para manter o sistema vivo em equilíbrio, aumentando suas chances de sobrevivência. Mas o fato de que estes contro-

les agem (nem sempre com êxito) de modo a garantir a sobrevivência do organismo, não significa que sua presença tenha de ser explicada por causas finais.

Hoje sabemos que o ovo é capaz de se desenvolver de modo tão ordenado devido a um programa genético. O estudo do código genético nos mostra como o gene controla a síntese de proteínas na célula, controlando assim as características de um ser vivo. O acúmulo de proteínas na célula pode, por sua vez, ativar ou inativar determinados genes, ficando assim a atividade genética sob um controle por feed-back. Deste modo, a substância formadora do gene (o DNA) é uma espécie de "controle supremo" do organismo, do qual depende todos os outros controles e características. Mas de que modo este programa chegou a se formar?

A resposta é dada pela moderna teoria da evolução. A programação genética de um ser vivo é resultado de um longo processo de evolução que, através de mutações aleatórias e da seleção natural, modifica o programa e as características por ele controladas, tornando-o progressivamente adaptado ao ambiente. Os organismos desprovidos de órgãos, controles ou funções importantes à sua sobrevivência, ou com órgãos pouco eficientes, sucumbem antes de se reproduzir ou deixam uma descendência inferior à dos organismos mais adaptados, como vimos no capítulo anterior (em 3.4.1.). Em ambos os casos, seus genes e suas características tornam-se cada vez mais raros na população. Portanto, em vez de afirmar que os mamíferos terrestres têm pul

mões para respirar fora da água, é mais correto dizer que os animais com pulmões conseguiram viver fora da água e, se porventura surgir, por mutação, um mamífero desprovido de pulmão, ele não terá condições de sobreviver. Do mesmo modo, devemos dizer que a girafa conseguiu sobreviver por ter pescoço longo (surgido através de uma série de mutações aleatórias), em vez de dizer que, para comer folhas de árvores altas e sobreviver, ela adquiriu um pescoço longo.

Como vemos, as características adaptativas dos seres vivos podem ser explicadas em função de um programa genético que precede o aparecimento da característica e que foi adquirido ao longo da história da espécie, através de mutações e da seleção natural. Não há, portanto, necessidade de apelarmos para causas finais para explicar a adaptação e a evolução dos seres vivos.

Na realidade, podemos dar em biologia duas respostas diferentes aos porquês. Quando perguntamos por que uma lagarta é verde podemos responder: porque seus genes determinam a produção de uma substância verde em sua pele. Mas podemos responder também: porque a cor verde funciona como uma camuflagem e, por isso, é vantajosa para sua sobrevivência. Como diz Mayr, os processos biológicos têm uma causa próxima e uma causa evolucionária e ambas são importantes para a compreensão dos problemas biológicos.

Assim, embora alguns biólogos e filósofos da ciên

cia defendam a idéia de que podemos usar explicações ou processos teleológicos, todos admitem que estes processos podem ser explicados em termos de mutação e seleção natural e não por causas finais. As explicações teleológicas funcionam portanto como uma maneira resumida de descrever o processo evolutivo e os sistemas de controle presentes nos seres vivos. Alguns filósofos preferem inclusive substituir o termo teleológico — carregado de conotações finalistas — por "telenomia", que designa os processos vitais que são guiados por um programa genético. Outros, por sua vez, acham inadequados ambos os termos e consideram que as explicações estatísticas e causais são suficientes para dar conta de todos os fenômenos biológicos. De qualquer modo, praticamente nenhum biólogo contemporâneo defende a idéia de uma evolução dirigida para determinado fim, ou seja, de uma teleologia cósmica³⁵.

4.2. As características de uma hipótese científica

Por este caminho devo chegar mais rápido. Acho que comida me fez mal. Parece que ela gostou de mim. Em nosso dia-a-dia estamos constantemente formulando hipóteses e o mesmo faz o cientista ao longo de toda sua investigação. Mas as hipóteses não se limitam a dar soluções provisórias para determinados problemas. Elas também orientam a coleta de dados e ajudam a planejar e a avaliar experimentos. Ao construirmos uma teoria científica, devemos igualmente nos valer de certas hipóteses iniciais ou básicas, que formam os princípios ou axiomas da teoria. Final-

mente devemos atentar para o fato de que toda atividade científica é guiada por certas hipóteses gerais ou pressupostos filosóficos, como o princípio da legalidade ou da negação da magia (como vimos em 4.1.4.).

4.2.1. As hipóteses e os dados

A possibilidade de ser confrontada com a experiência é uma das características mais importantes de uma hipótese científica. Entretanto, este confronto não pode ser direto: devemos comparar hipóteses — que são enunciados — com outros enunciados que relatam fatos — os dados. Assim, a hipótese de que todos os cisnes são brancos é comparada, não com um cisne branco ou negro, mas com o enunciado "eis aqui um cisne negro", que refuta esta hipótese e que descreve um dado³⁶.

Uma concepção muito difundida, mesmo entre cientistas, é a de que os dados são simples relatos de informações, sendo passíveis de observação direta, enquanto as hipóteses são generalizações ou interpretações de dados — não sendo portanto diretamente observáveis. Assim, quando um médico olha uma chapa de raio X ou quando um físico observa que o ponteiro do amperímetro marca uma corrente de 10 amperes, ambos estão recolhendo dados, isto é, elementos de informação para suas atividades, através de observações diretas. Mas quando o médico afirma que a chapa indica que o doente está com pneumonia e quando o físico afirma que há uma corrente elétrica de 10 amperes passan-

do pelo aparelho, eles estão tentando explicar estes dados através de hipóteses. Nem a corrente elétrica nem a pneumonia podem ser vistas por "observação direta": elas são inferidas a partir das observações do médico e do físico³⁷.

Entretanto, como vimos nos capítulos II e III, observações puras não existem e mesmo enunciados relatando experiências como "eis aqui um copo de água" estão impregnados de conceitos, generalizações etc. Assim, toda percepção é indireta e inferencial, e sempre realizada com auxílio de teorias. Em ciência isto é particularmente notável. Na figura 7, vemos, à esquerda, uma imagem do DNA (substância formadora do gene), obtida com raio X, que serviu como uma das evidências a partir da qual os cientistas James Watson e Francis Crick inferiram, em 1953, que esta molécula possuía uma estrutura helicoidal (esquemática à direita da figura).

Para um leigo, esta imagem não revela nada. Somente com auxílio de uma teoria a respeito da difração do raio X em cristais é que ela pode servir como indicação para a estrutura helicoidal do DNA.

Vemos então que os dados só têm sentido quando interpretados através de teorias. Eles também são inferiores e transcendem a mera observação. A diferença entre hipótese e dado não é, na realidade, muito nítida. O que o cientista faz é não questionar a validade de certos dados em determinado contexto, aceitando-os como verdadeiros, is

to é, como não problemáticos, como fizeram Watson e Crick em relação à imagem por difração do DNA. É esse o comportamento de um biólogo, ao considerar que a observação de uma célula ao microscópio é um dado e não uma hipótese. Neste caso, ele simplesmente aceita como verdadeiras as leis da refração da luz. Isto não quer dizer que esses mesmos dados não possam vir a ser criticados em outro contexto, como meramente hipotéticos. Tanto aquilo que consideramos como um dado como aquilo que consideramos como hipótese podem se revelar falsos, necessitando então ser corrigidos. Afinal, não devemos nos esquecer que o conhecimento científico é um conhecimento crítico.

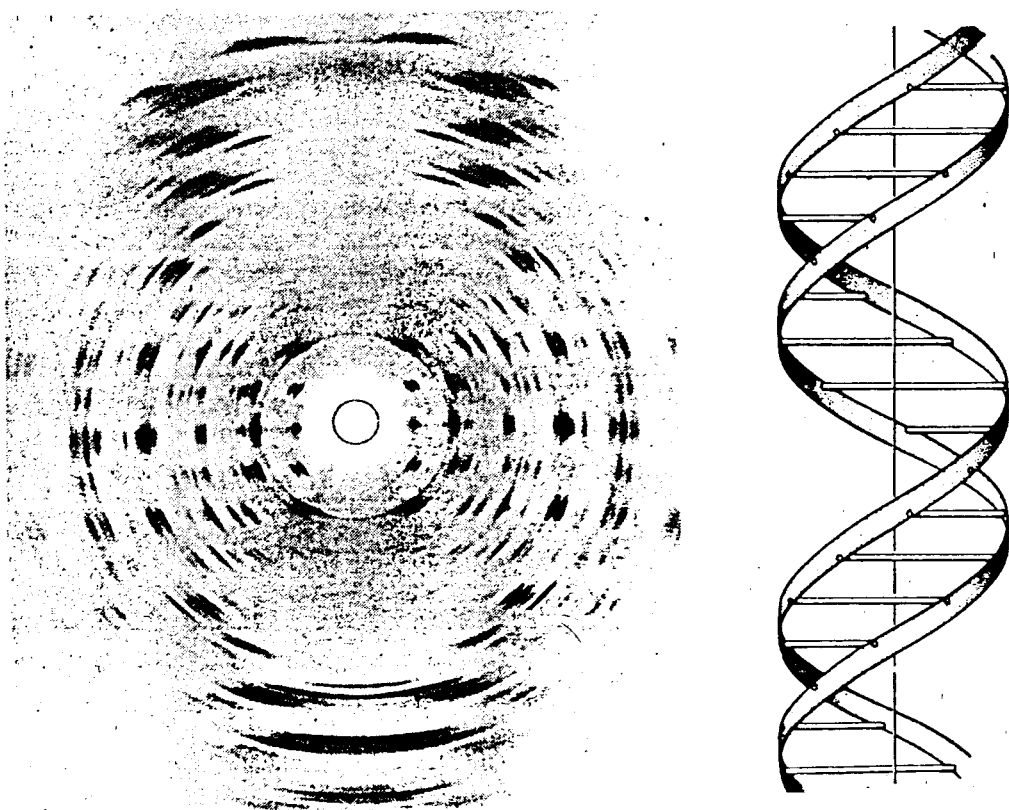


Figura 7. A difração de raio X (à esquerda) forneceu uma pista para Watson e Crick elaborarem um modelo para o DNA (à direita).

4.2.2. A formação de hipóteses — um espaço para a criatividade do cientista

Numa noite do ano de 1865, o químico Augusto Kekulé estava sentado diante de sua lareira quando pareceu ver, entre as chamas, uma série de átomos formando filas. Uma dessas filas se fechou, formando um anel: Kekulé percebeu então que ali poderia estar a solução que procurava para a fórmula estrutural do benzeno: esta molécula seria formada por uma série de carbonos, formando um anel hexagonal³⁸.

Acontecimentos desse tipo não são raros, e ilustram a tese, defendida no capítulo anterior (em 3.2.3.), de que as hipóteses não são derivadas dos fatos, mas inventadas para explicá-los³⁹. Ao tentar descobrir hipóteses — quer sejam leis gerais, quer sejam condições iniciais — o cientista pode dar vazão à sua imaginação e criatividade, aproximando a atividade científica de uma obra de arte. Por isso, como diz Popper, não há método para descobrir hipóteses. Realmente, grandes cientistas, como Max Planck, realizaram apenas uma única descoberta de vulto, embora continuassem produzindo outros trabalhos importantes⁴⁰.

Para Bunge, como vimos no capítulo anterior (em 3.2.5.), algumas generalizações de nível mais simples — que pouco se afastam da observação — podem surgir através de um processo semelhante à indução a partir de certas regras gerais. Estas regras, contudo, servem apenas para dar conta de processos rotineiros da atividade científi-

ca. Embora sejam comuns nos estágios iniciais de uma pesquisa, elas são incapazes de dar conta de leis mais profundas — que se valem de entidades não diretamente observáveis — e de explicar o aparecimento de hipóteses inteiramente novas⁴¹.

É isto que ocorre na inferência por analogia, quando percebemos algumas semelhanças entre coisas ou processos diferentes. Assim, quando se descobre que um tipo de câncer é provocado por um vírus em um animal, pode-se sugerir a hipótese de que pelo menos alguns tipos de câncer no homem também sejam provocados por vírus⁴². O mesmo ocorre quando se infere que a lei do crescimento de uma população é semelhante à lei do crescimento de um organismo⁴³.

Mesmo aqui, a criatividade do cientista se faz necessária, pois há um número imenso de analogias possíveis, e não podemos saber de antemão se uma analogia resistirá aos testes. A analogia, assim como outros processos de criação de hipóteses, não constitui um argumento lógico. Por isso, Bunge admite que

"(...) as hipóteses científicas nascem de diversos modos e têm freqüentemente uma origem espúria, no sentido de que as argumentações que levam a elas são inconseqüentes ou então procedem de pressentimentos equivocados"⁴⁴.

4.2.3. As qualidades de uma boa hipótese

Uma hipótese científica não deve apenas ser passível de teste — ou refutável. Em primeiro lugar, ela tem

de ser formalmente correta, isto é, não deve conter contradições. Mas, por que uma hipótese contraditória, como "isto é vermelho e isto não é vermelho", não pode ser aceita? A explicação dada por muitos filósofos é que enunciados deste tipo simplesmente não expressam nada, não emitem nenhuma informação. Quando afirmamos que algo é e não é vermelho, agimos como um jogador de xadrez que faz um movimento, mas volta atrás e repõe a peça no mesmo lugar que estava antes. Ele simplesmente não fez nenhum lance⁴⁵. Além disso, como a partir de uma contradição pode-se deduzir qualquer coisa, uma hipótese logicamente absurda não poderá ser refutada por nenhum teste, porque não proíbe nenhum acontecimento e, por isso, não nos oferece informação alguma sobre o mundo. Pelo mesmo motivo, uma hipótese não deve ser vazia de significado. Ela deve ser significativa, isto é, deve referir-se a algo supostamente real, em vez de ser uma mera tautologia ("hoje é domingo ou qualquer outro dia da semana")⁴⁶. Portanto, antes mesmo de ser submetida a testes experimentais, uma hipótese deve ser analisada logicamente.

As hipóteses devem também ser compatíveis com pelo menos uma parte do conhecimento científico. Entre outros motivos, porque, como qualquer experiência científica pressupõe uma série de conhecimentos prévios, uma hipótese que não tenha qualquer relação com estes conhecimentos dificilmente poderá ser testada. É por isso que, em geral, o cientista não se preocupa em testar hipóteses muito afastadas de qualquer teoria científica. Um cientista

ta não aceitaria como explicação para os desvios do planeta Mercurio que eles fossem provocados por um feiticeiro ⁴⁷. Este é um dos motivos (o outro é a freqüente impossibilidade de realizar testes) pelo qual a ciência reluta em aceitar explicações que apelam para fenômenos paranormais, que negam princípios amplamente aceitos, como o da conservação da energia.

Essa recomendação deve ser vista, porém, com muito cuidado e com certa restrição: algumas hipóteses importantes, como as da teoria da relatividade, colidiram com leis importantes da física newtoniana (embora alguns princípios, como a conservação de energia ou do momento linear, tenham sido mantidos). Conseqüentemente, se esta regra for seguida muito escrupulosamente, ela poderá frear revoluções científicas que podem vir a ser relevantes para o progresso da ciência ⁴⁸.

Em ciência, procuramos hipóteses, leis e teorias cada vez mais profundas para explicarmos os fatos. Assim, além de hipóteses fenomenológicas, que tentam explicar certos fenômenos referindo-se somente ao comportamento aparente, encontramos hipóteses representacionais, que procuram hipotetizar os mecanismos internos de um fenômeno ⁴⁹.

Uma hipótese fenomenológica preocupa-se, por exemplo, em medir o que é gasto e o que é produzido na fotossíntese em certas condições, considerando este processo como uma espécie de caixa-negra, portadora de um mecanis-

mo interno desconhecido⁵⁰. Já uma hipótese representacional irá procurar explicar a fotossíntese, inclusive a quantidade do que é gasto e produzido, através de uma série de reações químicas controladas por enzimas e de correntes elétricas provocadas pela ação da energia luminosa sobre a clorofila.

Embora o senso comum também descubra na prática generalizações fenomênicas interessantes, como a de que certas ervas podem curar algumas doenças, só a ciência busca os mecanismos ocultos desses fenômenos. Ao cientista não interessa apenas afirmar que a sulfa combate infecções, mas também que isto ocorre porque ela se combina a determinada enzima, necessária para o aproveitamento de uma vitamina por parte da bactéria. Neste caso, utilizamos hipóteses ainda mais profundas: esta combinação só ocorre porque a sulfa tem uma forma especial semelhante à dessa vitamina, e por isso pode se encaixar na enzima (como uma chave na fechadura) e inativá-la.

Apesar de algumas escolas filosóficas, como o positivismo, terem combatido a necessidade de hipóteses representacionais, elas são cada vez mais utilizadas em ciência. Por serem mais gerais e profundas que as hipóteses fenomenológicas correspondentes, podem ser usadas para explicar estas últimas, que passam então a ser deduzidas a partir das primeiras. Como diz Bunge:

"(...) O progresso científico consiste em grande parte em formular hipóteses — às vezes confirmadas — sobre a existência de coisas e propriedades imperceptíveis, e de mecanismos que explicam o que pode ser percebido. As hipóteses representacionais (...) são mais profundas que as hipóteses fenomenológicas correspondentes, no sentido de que alcançam níveis de realidade mais profundos. Ao mesmo tempo, essas hipóteses são logicamente mais fortes, posto que implicam as hipóteses fenomenológicas, e são mais facilmente contrastáveis [experimentalmente] porque são sensíveis a pequenos detalhes e a experiências mais variadas. Por isso, opor-se a elas é opor-se ao amadurecimento da ciência"⁵¹.

Algumas hipóteses como "há um planeta responsável pelos desvios sofridos por Urano"; "há seres vivos em Marte"; ou "os dinossauros foram eliminados por um meteorito que caiu na Terra" referem-se a determinados acontecimentos singulares. Outras hipóteses, porém, têm um caráter mais geral e se passarem por certos testes podem ser consideradas leis, ou princípios — quando funcionam como os axiomas de uma teoria. Assim, enquanto o senso comum trabalha com hipóteses isoladas, em ciência — pelo menos a partir de determinado estágio de desenvolvimento — as hipóteses estão inseridas dentro de teorias, formando um sistema de enunciados que se apoiam e se controlam mutuamente ⁵². Portanto, à medida que a ciência se desenvolve, as hipóteses passam a receber não apenas apoio experimental mas também um apoio teórico. Isto é particularmente importante para as leis científicas, como veremos a seguir.

4.3. As características das leis científicas

O que distingue uma lei de uma hipótese? Para o senso comum, enquanto as hipóteses são palpites provisõ-

rios, ainda sem nenhum fundamento, as leis científicas são hipóteses já confirmadas experimentalmente: hipóteses podem ser falsas, mas leis têm de ser verdadeiras! Entretanto, toda a discussão do capítulo anterior mostra que, uma vez que as leis são enunciados gerais que se referem a um número potencialmente infinito de casos, jamais poderemos dizer que elas foram provadas. As leis são portanto hipóteses de caráter geral que foram corroboradas experimentalmente, o que não quer dizer que sejam verdadeiras.

4.3.1. Leis como enunciados gerais

Uma lei pode ser considerada como uma classe especial de hipóteses que têm a forma de enunciados gerais, do tipo "em todos os casos em que se realizam condições da espécie F, realizam-se também condições da espécie G" ⁵³. Assim, sempre que aumentarmos a pressão de um gás em temperatura constante (F), seu volume diminuirá (G); sempre que um corpo cair em queda livre (F) — desde que seja no vácuo e de alturas não muito grandes — sua velocidade aumentará proporcionalmente ao tempo (G); quando as substâncias reagem para formar outras (F), elas sempre o fazem nas mesmas proporções em massa (G). Às vezes esta forma pode estar implícita: quando afirmamos que todo ser vivo provém de outro ser vivo (lei da biogênese), estamos afirmando que se algo é um ser vivo (F) então ele provém de outro ser vivo (G).

Muitas leis das ciências naturais são expressas

matematicamente. Se um objeto se movimenta em linha reta com velocidade constante (v), por exemplo, sua posição (s) após ter decorrido um certo tempo (t) pode ser calculada pela equação: $s = s_0 + vt$ (onde s_0 é a posição inicial do móvel a partir de um ponto de partida convencional). Esta lei afirma que a posição do móvel varia proporcionalmente no tempo, isto é, que é função direta do tempo decorrido. O tempo é chamado variável independente e o espaço percorrido de variável dependente. A posição inicial do móvel e sua velocidade, que, neste caso, são constantes (não variam em função do tempo), são os parâmetros da equação. Portanto, podemos dizer também que uma lei expressa uma relação constante entre duas ou mais variáveis⁵⁴.

A lei anterior indica não apenas os movimentos que são fisicamente possíveis como também "proíbe" outros tipos de movimentos. Assim, se um objeto se movimenta de acordo com esta lei, ele não poderá percorrer determinada distância em menos tempo que o previsto⁵⁵.

As leis quantitativas limitam muito o número de ocorrências possíveis, ou seja, proíbem mais do que as leis qualitativas. Justamente por isso, elas correm riscos maiores de refutação e nos dão mais informações sobre o mundo.

Tomemos a afirmação "os metais se dilatam quando aquecidos". Há várias curvas e previsões que satisfazem esta lei, como vemos na figura 8.

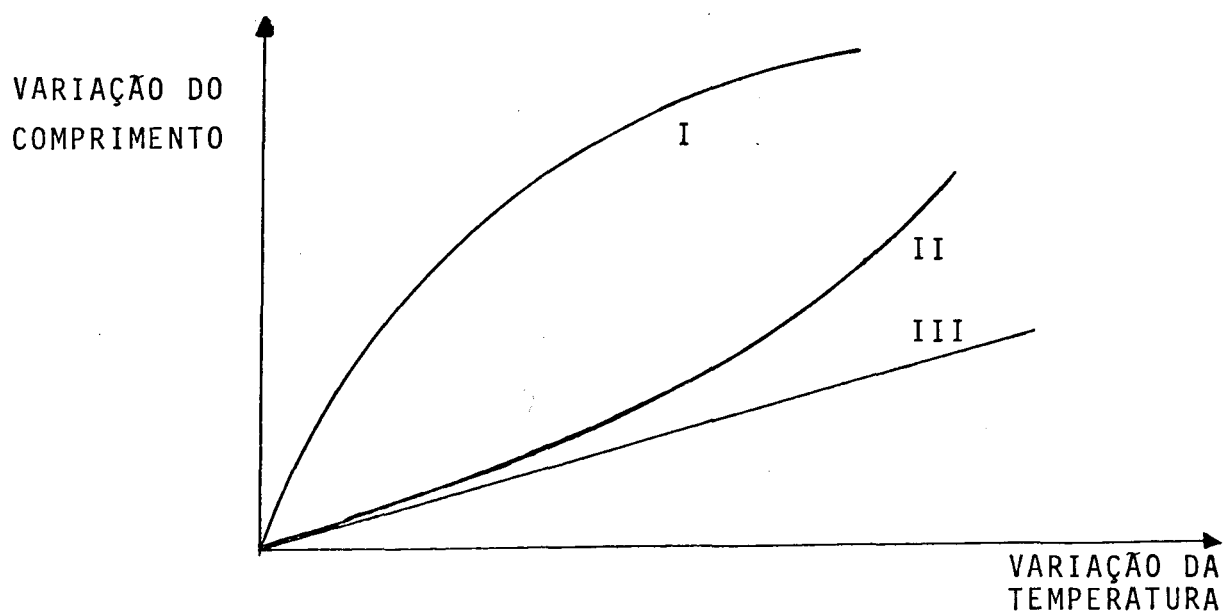


Figura 8 - Várias curvas satisfazem a generalização de que os metais se dilatam quando aquecidos.

Mas, se enunciarmos a lei da dilatação linear em termos matemáticos mais precisos, afirmando que a dilatação é diretamente proporcional à variação da temperatura ($\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$), poderemos eliminar as curvas I e II da figura.

4.3.2. Leis e generalizações acidentais: existem leis na natureza?

Como mostra Hempel, nem todo enunciado geral pode ser considerado uma lei natural. Suponhamos que examinando uma caixa contendo várias rochas constatamos que todas elas contêm ferro. Podemos então estabelecer a generali-

zação: "todas as rochas nesta caixa contêm ferro". Neste caso F é a condição de ser uma rocha e G a de conter ferro⁵⁶.

Apesar deste enunciado ter a mesma forma geral de uma lei, ele é considerado apenas uma generalização acidental e não uma lei natural⁵⁷. Isso não ocorre pelo fato de ele se referir a um conjunto limitado de rochas, ou seja, para um número limitado de casos, pois o mesmo ocorre com algumas leis naturais, como as leis de Kepler, que se referem aos movimentos dos planetas do nosso sistema solar. Além disso, como mostra Hempel, uma generalização do tipo "todos os corpos constituídos por ouro puro têm massa inferior a 100.000 kg" pode ser considerada válida para todos os blocos de ouro do mundo: até hoje, pelo menos, não encontramos nenhum bloco de ouro com mais de 100.000 kg e talvez nunca venhamos a encontrá-lo⁵⁸.

O filósofo Nelson Goodman propôs um critério para distinguir entre estes dois tipos de enunciado. Imagine-mos que encontramos uma rocha fora de tal caixa. Poderíamos, a partir de nossa generalização acidental, fazer a previsão de que se esta rocha tivesse sido colocada na caixa ela conteria ferro? Parece óbvio que não. A generalização acidental em questão afirma apenas que as rochas da caixa continham ferro, mas não confere qualquer apoio à nossa previsão, que é chamada de condicional contrafactual, por ter a forma geral "se A fosse o caso, então B seria o caso"⁵⁹.

Já a lei de dilatação dos metais, por exemplo, confere apoio ao fato de que se determinado pedaço de ferro fosse aquecido ele se dilataria. Uma vez que esta lei se refere a todos os metais que existem ou venham a existir, ela pode funcionar como a premissa geral de uma explicação dedutivo-nomológica, como vimos no item anterior. Na realidade, porém, esta colocação não resolve o problema. Será que a "generalização do bloco de ouro" não garante que se encontrarmos um bloco de ouro ele pesará menos de 100.000 kg? Será que as leis de Kepler garantem que se houvesse mais um planeta no sistema solar ele obedeceria a essas leis?

Intuitivamente percebemos que nada impede que um bloco de ouro pese mais que cem mil quilogramas, ao passo que parece haver uma conexão necessária, uma relação de causa e efeito, entre o aquecimento e a dilatação dos metais. Mas, certamente, não é a observação que nos mostra isso: todos os blocos de ouro encontrados pesam menos que 100.000 kg e talvez haja metal que não se dilate quando aquecido.

Estamos de novo às voltas com as questões colocadas por Hume. Se admitirmos, como ele o fez, que a idéia de conexão necessária não tem sentido por não poder ser demonstrada experimentalmente, e que a única coisa que podemos observar é que certos eventos são seguidos por outros, então as leis são simples expedientes práticos que resumem uma série de experiências. Todas as conexões são

acidentais e o conceito de causa não tem significado. Este é o ponto de vista defendido por empiristas e positivistas lógicos, como vimos anteriormente (em 4.1.3.).

Mas, embora neguem a idéia de conexão necessária, estes filósofos continuam às voltas com o problema da indução, para o qual não conseguem dar uma resposta satisfatória. Por outro lado, outros filósofos, como Popper e Bunge, defendem a idéia de que as leis científicas procuram refletir algo que existe objetivamente na natureza, buscando portanto uma conexão necessária entre fatos.

Hã aqui duas concepções filosóficas opostas: de um lado o empirismo de Hume e o positivismo de alguns filósofos do círculo de Viena; de outro, o realismo de filósofos como Popper e Bunge. É importante acentuar, porém, que adotar a posição realista de que existem realmente leis na natureza não significa afirmar que nós as tenhamos encontrado ou mesmo que sejamos capazes de encontrá-las. Uma coisa é ser realista ingênuo, admitindo que o mundo real é exatamente igual ao mundo como nós o percebemos, outra coisa é ser um realista crítico. Neste caso, admitimos que nossas leis são sempre hipotéticas, mas que procuram se aproximar cada vez mais das verdadeiras leis da natureza, isto é, procuram refletir propriedades e conexões reais entre os fatos, em vez de simples correlações acidentais. Mas que evidências podemos ter em favor desta suposição? Por que podemos considerar que a lei da dilatação dos corpos, por exemplo, representa, pelo menos de forma hipotê-

tica, uma conexão real na natureza, em oposição a generalizações como a do peso de blocos de ouro?

4.3.3. Um apoio mais profundo para as leis — a teoria.

Uma possível resposta à última pergunta está em que a lei da dilatação dos corpos não recebe apoio apenas de observações e testes que visam confirmá-la ou refutá-la, mas também de leis ainda mais gerais, que formam as teorias científicas. Ela pode ser deduzida de outras leis que explicam o fenômeno da dilatação como resultante de um aumento na vibração dos átomos do metal, o que determina um maior afastamento entre os átomos. Ao nível microscópico, isto se manifesta como uma dilatação do corpo. Utilizamos nesta explicação a teoria atômica da matéria e a mecânica estatística.

Assim, a partir das leis mais gerais de uma teoria científica, podemos deduzir uma série de outras leis de menor alcance. A partir da lei da gravitação e da segunda lei do movimento de Newton, por exemplo, podemos deduzir a lei da queda livre e a lei do pêndulo, ambos de Galileu, bem como as leis de Kepler, entre outras. Além disso, as leis mais gerais corrigem as leis de menor alcance, uma vez que explicam algumas divergências entre os resultados calculados por estas leis e os efetivamente obtidos. A partir da lei da gravitação de Newton, podemos calcular não somente a influência do sol mas também a dos demais planetas no movimento de determinado planeta em

torno do sol, explicando assim certas diferenças no período de revolução em torno do sol. Podemos prever também que a lei de queda livre vale apenas para distâncias pequenas em relação ao raio da Terra, uma vez que a gravidade varia em função da distância do centro da Terra, o que era ignorado por Galileu.

As leis teóricas mais gerais especificam assim as condições nas quais as leis de menor alcance podem continuar a ser usadas. É isto que ocorre com a lei das proporções definidas: duas substâncias reagem sempre com a mesma proporção em massa porque seus átomos apresentam uma capacidade definida de se combinar entre si. A teoria atômica nos permite prever que dois átomos de hidrogênio, em certas condições, combinam-se sempre com um átomo de oxigênio para formar a água, em virtude da estrutura atômica de cada um destes átomos — mais exatamente do número de elétrons na última camada —, responsável pela capacidade de combinação dos átomos.

Do mesmo modo, não acreditamos que um ser vivo venha de outro ser vivo apenas porque observamos este fato acontecer um grande número de vezes, mas porque esta lei recebe um apoio mais profundo, proveniente de teorias científicas. Assim, segundo os princípios da termodinâmica, é muito pouco provável que um sistema altamente organizado, como é o ser vivo, possa surgir a partir da matéria bruta. Por outro lado, nossos conhecimentos sobre o código genético nos fornecem uma explicação ao nível molecu-

lar de como um ser vivo pode ser formado a partir de outro. Entretanto, estes mesmos conhecimentos mostram que, em condições especiais como as da Terra primitiva e ao longo de um intervalo de tempo muito grande (cerca de um bilhão de anos), um ser vivo pode ter se originado a partir de matéria bruta, contrariando a biogênese. Nas condições atuais de nosso planeta, entretanto, isto dificilmente poderá ocorrer novamente. Assim, temos mais um exemplo de como leis e teorias mais profundas conferem, por um lado, apoio a leis mais superficiais e, por outro, corrigem e limitam o alcance e a validade prática destas mesmas leis.

As leis teóricas são, não apenas mais gerais, mas também mais profundas, visto que tentam penetrar (sempre hipoteticamente, é claro) em níveis mais distantes do nível da observação. É por isso que, para Bunge, a explicação de que o volume de um gás se reduz à metade quando a pressão duplica por causa da lei de Boyle (o volume de um gás é inversamente proporcional à sua pressão em temperatura constante), embora correta, não é satisfatória⁶⁰. A ciência busca explicações interpretativas, que procuram desvendar os mecanismos internos dos fenômenos. A partir da teoria cinética que afirma, entre outras coisas, que os gases são formados por partículas muito pequenas que se movem ao acaso, podemos deduzir que, quando estas partículas se chocam contra as paredes do recipiente, produzem uma pressão que aumentará se o espaço disponível diminuir. Isto ocorre porque, em um volume menor, as moléculas coli-

dem com mais frequência contra as paredes do recipiente, produzindo uma pressão maior, como podemos ver na figura 9. Desse modo, a pressão é interpretada em termos microscópicos, através de uma reconstrução hipotética da realidade.

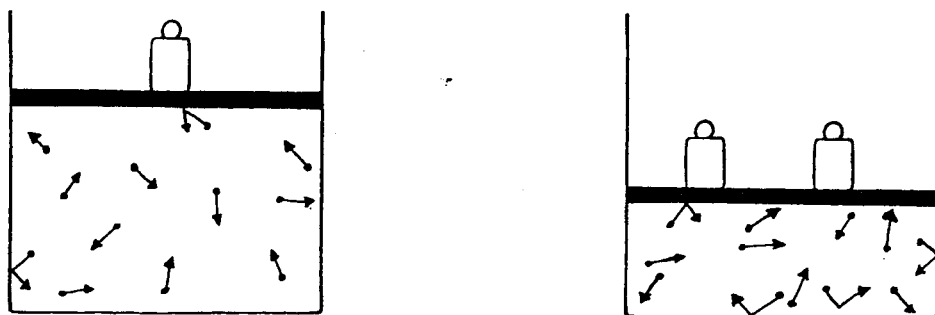


Figura 9 - A teoria cinética explica por que a pressão aumenta quando o volume do recipiente diminui.

Enquanto a lei de Boyle ou a lei da queda dos corpos, de Galileu, são leis fenomenológicas, que apenas descrevem regularidades, as teorias fornecem leis representacionais, que procuram explicar estas regularidades através de conceitos altamente abstratos, não observáveis diretamente, como força, campo, elétron, seleção natural etc.

Desse modo, a ciência procura encontrar a conexão necessária entre fenômenos através de conceitos e leis mais gerais e profundas. As leis mais gerais, que funcionam como base para uma teoria científica, são chamadas de axiomas ou princípios. Isto não quer dizer que posteriormente elas não possam ser deduzidas de leis ainda mais gerais, conforme ocorreu com os axiomas da mecânica newtoni

ana, que podem ser deduzidos (e corrigidos) a partir da teoria da relatividade.

Depois de tudo o que foi visto, podemos compreender por que generalizações como a das rochas na caixa e a do peso máximo de blocos de ouro não são consideradas leis naturais: o fato de estarem na caixa não é a causa das rochas conterem ferro. Generalizações desse tipo não só não contam com o apoio de nenhuma teoria, como também nos sos conhecimentos (teorias) a respeito do ouro indicam ser perfeitamente possível construir-se um bloco com mais de 100.000 kg. Muitos poderão dizer que isto é perfeitamente evidente, mesmo sem auxílio de nenhuma teoria científica, mas esta evidência é enganosa. Em certas condições, um aumento de massa pode alterar profundamente determinadas propriedades: a evolução de uma estrela, por exemplo, depende fundamentalmente de sua massa e um au men to de certa massa de material radioativo pode significar a diferença entre a energia nuclear liberada em pequenas doses — para fins específicos — ou uma liberação rapidíssima, que ocasiona uma explosão nuclear. Assim, certas generalizações acidentais podem, com a evolução de nossos conhecimentos, vir a ser consideradas como leis científicas e vice-versa. Do mesmo modo, aquilo que consideramos em certo momento como causa poderá, posteriormente, ser considerado uma conexão acidental.

4.3.4. Contra a indução e contra o fenomenismo

Como vimos no capítulo anterior, um conjunto de dados não determina automaticamente a lei que explica esses dados: há sempre várias curvas e equações possíveis compatíveis com os dados em questão. Não há portanto um procedimento mecânico para descobrir leis científicas. Procedimentos indutivos permitem, quando muito, reunir um conjunto de dados de forma a originar certas generalizações muito superficiais, de pouco interesse para a ciência. Através desses procedimentos jamais descobriríamos leis e teorias representacionais, que se valem de conceitos e entidades impossíveis de serem percebidos por "observação direta". Portanto, estas leis só podem ser obtidas por um "salto" de imaginação do cientista. Assim, a partir das leis de Galileu ou das leis de Kepler, não se pode, por indução, estabelecer as leis e a teoria de Newton, ou, a partir desta, a teoria de Einstein. A criação de leis teóricas simplesmente não é uma atividade orientada por regras⁶¹.

O apoio a leis como a da queda livre não vem da repetição enfadonha de determinado experimento. Não ficamos soltando corpos várias vezes, medindo sua velocidade, de modo a aumentar o grau de confirmação desta lei e a probabilidade de que ela seja verdadeira. Tampouco procuramos examinar todos os cães do mundo para confirmar a generalização de que todos os cães têm cauda. O apoio vem, na realidade, por um caminho inverso ao da indução: leis

fenomenológicas menos gerais passam a ser deduzidas de leis mais gerais, profundas e representacionais, que formam os princípios das teorias científicas e que também nos permitem corrigir nossas generalizações iniciais. Assim, a presença de cauda em todos os cães é justificada pela origem a partir de um ancestral comum (teoria da evolução), associada às leis da hereditariedade. Através das leis e da teoria podemos compreender não somente a conexão necessária entre a presença de cauda e a propriedade de ser um cão, mas também o fato de que eventualmente um cão poderá nascer sem cauda (por mutação), o que restringe a validade universal da lei⁶². Portanto, mais importante que o apoio a generalizações, é a possibilidade de correção que estas leis possibilitam. Como diz Bunge,

"os cientistas estão mais interessados em delimitar o domínio de validade e a imprecisão dos enunciados legaliformes do que em medir seu grau de confirmação(...)"⁶³.

A evolução da física e a proliferação de leis, teorias e conceitos que procuram apreender o mecanismo oculto dos fenômenos parecem apoiar uma interpretação realista das leis científicas. Assim, as leis e teorias representacionais poderiam fornecer a conexão necessária questionada por Hume⁶⁴.

Finalmente, se, por um lado, as leis científicas são criações de nossas mentes, por outro lado pretendem, segundo uma interpretação realista, reproduzir relações e propriedades que existem objetivamente na natureza, tentan

do se aproximar cada vez mais das leis reais. Mas de que evidências dispomos para acreditarmos que essa aproximação realmente ocorre? Vários filósofos da ciência procuraram estabelecer critérios que permitem justificar a aproximação progressiva das leis e teorias em direção à verdade, mas estes critérios são ainda muito discutidos como veremos no Capítulo VI.

4.3.5. As leis estatísticas: o acaso existe ou é produto de nossa ignorância?

Se aplicarmos uma força a um corpo, sua velocidade se modifica; se aplicarmos uma diferença de voltagem às extremidades de um fio, ele será percorrido por uma corrente elétrica. Em ambos os casos, o efeito (alteração na velocidade do corpo, corrente elétrica) é resultado de uma causa (força, diferença de voltagem) e ocorre de acordo com leis causais (segunda lei de Newton, lei de Ohm). Entretanto, nem todas as leis são desse tipo. Leis fenomenológicas, como as da cinemática, apenas descrevem o movimento de um corpo em função do tempo, sem afirmar nada sobre a causa do movimento. Segundo Bunge, também a lei da inércia (que afirma que se não houver nenhuma força atuando sobre um corpo ele permanecerá parado ou em movimento retilíneo e uniforme, isto é, com velocidade constante) e a segunda lei da termodinâmica (que afirma que não é possível converter completamente o calor de um corpo em outras formas de energia) seriam exemplos de leis não causais⁶⁵.

No entanto, segundo a maioria dos filósofos, os exemplos mais típicos de leis não causais seriam as leis probabilísticas ou estatísticas. Estas leis valem-se do cálculo de probabilidade, que é uma teoria matemática. Porém, como vimos no primeiro capítulo (em 1.3.4.), qualquer teoria matemática para ser utilizada em ciências factuais precisa receber uma interpretação. Como podemos então interpretar os enunciados e leis probabilísticos? O que queremos dizer ao afirmar, por exemplo, que a chance de uma moeda dar cara é de 50%?

Vimos, no capítulo anterior (em 3.2.1.), que os filósofos indutivistas procuram atribuir probabilidade a hipóteses e enunciados em geral. Para alguns, esta probabilidade serviria então para avaliar o grau de credibilidade de uma hipótese, servindo também como um guia para a ação. Neste caso estamos diante de uma interpretação subjetiva de probabilidade, que se refere a fenômenos psicológicos — como são as crenças — ou a enunciados que expressam crenças. Mas, neste mesmo capítulo (em 4.3.), vimos algumas dificuldades enfrentadas pelo programa indutivista quando procura atribuir probabilidade às hipóteses científicas de caráter geral. Além disso, se adotarmos esta concepção, fica difícil explicar como enunciados acerca de nossa ignorância e de fenômenos psicológicos, como crenças, são testados e corroborados na prática através, por exemplo, do lançamento de moedas ⁶⁶. Quando prevemos que em determinado número de lançamentos a frequência de caras será de $1/2$, e isto realmente ocorre, parece que

nosso enunciado terá afirmado algo sobre como as coisas realmente ocorrem e não sobre nossas crenças.

Para Bunge, isto quer dizer que sô podemos atribuir probabilidade a acontecimentos, como mutações, desintegrações nucleares etc., e não a hipóteses ou enunciados, como fazem os indutivistas⁶⁷. Estas probabilidades seriam então verdadeiras ou falsas independentemente de um cientista acreditar ou não nelas, além de poderem ser testadas experimentalmente, como veremos no próximo capítulo. Popper e Bunge defendem então, em oposição aos conceitos de probabilidade lógica e de probabilidade subjetiva, uma interpretação objetiva e realista da probabilidade. Segundo esta concepção, é possível que a desintegração radioativa e outros fenômenos estudados pela mecânica quântica ocorram genuinamente ao acaso. Este acaso não seria fruto de nossa ignorância, mas algo que existiria objetivamente na natureza⁶⁸.

Uma interpretação objetiva da probabilidade é dada pela teoria da frequência, desenvolvida pelo matemático Richard Von Mises, que afirma que

"(...) enunciados probabilísticos são enunciados acerca da frequência relativa de um tipo de evento em uma sequência de ocorrências. Assim, ao dizer que há uma probabilidade de 1/2 do próximo lançamento de moeda dar cara, eu não estou falando realmente acerca do próximo lançamento, mas sobre toda uma classe de lances, do qual o próximo lançamento é um desses elementos"⁶⁹.

Segundo esta teoria, as leis estatísticas seriam úteis apenas para a previsão de propriedades coletivas, is

to é, de propriedades presentes em um conjunto formado por uma grande coleção de eventos e não para a previsão de eventos individuais. Um dos axiomas utilizados, o axioma da convergência, interpreta a probabilidade como um valor limite para o qual tende a frequência de um acontecimento ao acaso⁷⁰. Suponhamos que após 1.000 lances de moeda obtivemos 540 caras e que após 10.000 lances haja 5.000 caras. No primeiro caso a frequência de caras foi de 0,54 e no segundo de 0,5008. Se continuarmos aumentando o número de lançamentos, a frequência se aproximará cada vez mais de um valor limite de 0,5, que é a probabilidade do acontecimento em questão. Outro axioma, o axioma da aleatoriedade, é usado para descrever o caráter de aleatoriedade de uma sequência. Assim, uma sequência é aleatória se não houver nenhum sistema de jogo que possa ser aplicado a ela com sucesso. Este axioma, no entanto, recebeu várias críticas, sendo considerado insuficiente para esclarecer o que é, realmente, uma sequência aleatória⁷¹.

Outro problema com a teoria da frequência é que ela se refere somente a um conjunto de acontecimentos e muitos filósofos, como Bunge, consideram indispensável dispor de uma interpretação capaz de atribuir um significado a um evento singular, como um único lançamento de uma moeda, por exemplo. Sem uma interpretação deste tipo, não poderíamos compreender as teorias científicas que atribuem probabilidade não apenas a um conjunto de acontecimentos, mas também a acontecimentos individuais, como ocorre com

a genética e a mecânica quântica. Por isso, para Bunge, em bora o conceito de frequência sirva para testar probabilidades, estes dois conceitos não devem ser confundidos⁷².

Segundo Popper e Bunge, estes problemas são resolvidos adotando-se a teoria da propensão. A probabilidade passa a ser então interpretada como uma propensão ou tendência para um evento ocorrer em determinadas condições do ambiente⁷³. Esta teoria explicaria a estabilidade estatística obtida em certos acontecimentos como algo provocado pelas condições que geraram estes acontecimentos. Assim, a frequência de 1/2 para cara ou de 1/6 para cada número de um dado deve-se às condições em que é feito o lançamento, à superfície sobre a qual a moeda ou o dado irão cair, às características perfeitamente simétricas de uma moeda ou de um dado ideais etc. Estas características seriam responsáveis, por exemplo, pela propensão da moeda de dar cara em 50% das vezes.

Segundo esta concepção, nossa estimativa a respeito da frequência de caras em uma moeda não se baseia na completa ignorância dos fatores relevantes para este resultado, e sim no conhecimento de propriedades como a da simetria da moeda, relevantes para a produção de determinada frequência de cara. Se alterarmos essas condições, alteramos também a propensão e a probabilidade de dar cara, como ocorre se a moeda tiver uma das faces ligeiramente mais pesada que a outra. Para Popper, a propensão seria uma espécie de força indeterminista inerente às condições

em que um fenômeno aleatório ocorre e seria tão real como uma força newtoniana, no sentido de que ambas são hipóteses a respeito de alguma característica da natureza, que podem ser testadas experimentalmente. Causas, como as forças do tipo newtoniano, seriam um caso particular de propensão com probabilidade igual a 1, o que equivale a um determinismo causal e completo. Isto quer dizer, em outras palavras, que o efeito ocorreria necessariamente após a ação da força. Finalmente, os testes para propensões não poderiam ser feitos a partir de acontecimentos particulares, mas através de todo um conjunto de lançamentos⁷⁴.

A teoria da propensão é uma conjectura acerca da estrutura do mundo e, segundo Popper, certos experimentos da física atual a corroboram⁷⁵. Entretanto, assim como as demais, esta teoria ainda é bastante criticada.

Se adotarmos a idéia de que existe um acaso objetivo no mundo, temos de admitir que nem todos os fenômenos podem ser explicados por um determinismo restrito, que engloba apenas leis causais. Para autores, como Popper, que aceitam a interpretação objetiva da probabilidade, o fato de que nem todos os eventos do mundo físico são predeterminados com a precisão absoluta das leis causais significa que há um indeterminismo no mundo, ou seja, há pelo menos algumas exceções, aqui e ali, à predeterminação precisa⁷⁶.

Outros autores, como Bunge, preferem dizer que o conceito de determinismo é mais amplo, englobando tanto

um determinismo causal como um determinismo estatístico. Em ambos os casos, a ciência se vale do princípio da legalidade (todos os acontecimentos seguem leis — que podem ser de vários tipos) e do princípio da negação da magia (nada se desenvolve do nada nem se transforma em nada)⁷⁷. Assim, embora os fenômenos quânticos não sejam — pelo menos segundo a interpretação mais aceita atualmente — causalmente determinados, eles continuam a ser estatisticamente determinados. Além disso, estes fenômenos seguem também outras leis não estatísticas, como as leis da conservação da energia e da carga elétrica⁷⁸.

Alguns filósofos afirmam que o conceito de causa não é, atualmente, relevante para a ciência, pois em última análise todos os fenômenos seriam determinados estatisticamente, a partir da mecânica quântica. Outros, como Bunge, consideram que, mesmo tendo uma aplicação restrita a certos domínios, a idéia de causa continua a ter um papel metodológico importante na pesquisa científica. Assim, quando um cientista organiza dois grupos de indivíduos, fornecendo a apenas um dos grupos um medicamento enquanto o outro recebe um placebo, ele está procurando descobrir se o medicamento é, realmente, a causa da cura do doente. O experimento controlado é, portanto, uma das maneiras de testarmos a hipótese de que determinado fator (no caso o medicamento) é realmente relevante para a produção de certo efeito (no caso a cura da doença).

4.4. O produto final da atividade científica - a teoria

Uma lista telefônica é um conjunto de dados, mas não é uma ciência; e o mesmo vale para generalizações isoladas do tipo "todos os cães têm cauda". Nestes casos, falta algo que orienta toda a atividade científica, desde a formulação de hipóteses, passando pela observação e teste, até a análise dos resultados e a formulação de leis. Falta uma teoria, uma espécie de sistema nervoso da ciência que integra todo um conjunto de leis e hipóteses.

Através de conceitos que vão muito além do observável, a teoria torna-se muito mais geral e rica do que generalizações empíricas, abrangendo então uma ampla gama de fenômenos aparentemente não relacionados. A presença de uma teoria é, enfim, uma indicação de que determinada ciência atingiu a maturidade.

4.4.1. A complexidade do mundo real e a necessidade de um modelo

Cada ser humano é um organismo extraordinariamente complexo e não há dois indivíduos exatamente iguais. Mas, apesar de diferentes, todos nós temos algumas características em comum e por isso podemos dizer que todos pertencemos a uma mesma espécie: o Homo sapiens. Assim, quando em biologia nos referimos ao Homo sapiens, ignoramos as diversidades e utilizamos um modelo, um conceito científico dos indivíduos que formam nossa espécie⁷⁹.

A complexidade, porém, não é exclusiva dos seres vivos. Se tentássemos analisar todas as propriedades e todos os acontecimentos que interagem com um objeto, ficaríamos perdidos no meio de tanta variedade. Por isso, na tentativa de apreendermos o real, selecionamos certos aspectos da realidade e construímos um modelo do objeto que pretendemos estudar. O cientista trabalha com um modelo de gás perfeito — embora, na realidade, nenhum gás seja perfeito —, com modelos de átomos, de membranas da célula etc. Trabalha, portanto, com imagens parciais, simbólicas e abstratas de uma parcela da realidade⁸⁰. Mas, qual é a utilidade destes modelos? Segundo Bunge,

"É verdade que trabalhando sobre modelos (...) se negligenciam complexidades reais, mas em compensação se obtêm soluções exatas, que são mais fáceis de interpretar que as soluções aproximadas de problemas mais complexos, e assim se abre caminho para abordar estes problemas mais complicados. Certamente, dever-se-á esperar o fracasso de qualquer um destes modelos hipersimplificados, mas todo o fracasso de uma ideia pode ser instrutivo em ciência, porque pode sugerir as modificações que serão preciso introduzir a fim de obter modelos mais realistas"⁸¹.

Quando Galileu analisou a queda dos corpos, substituiu o fenômeno real por uma situação idealizada e simplificada. Em primeiro lugar, levou em conta apenas as características que pudessem ser medidas, como a distância percorrida por um objeto, seu peso e tamanho etc., isto é, aquilo que chamamos de parâmetros. Em seguida, considerou, hipoteticamente, que alguns parâmetros seriam relevantes e outros não. Esta escolha é hipotética porque a experiência poderia levá-lo a modificar sua escolha original. No

caso da queda livre, Galileu desprezou a resistência do ar, as dimensões do corpo e sua massa: o objeto foi substituído por uma partícula caindo no vácuo⁸². Temos aqui um modelo de um objeto e de uma situação, ou seja, um objeto-modelo. Galileu supôs então que, nestas condições, a velocidade do corpo em queda livre cresceria proporcionalmente ao tempo. A seguir, testou sua hipótese criando uma situação que se aproximasse o mais possível das condições ideais. Tendo resistido aos testes, a hipótese foi considerada uma lei — a lei da queda livre.

Como vemos, não basta elaborar um modelo: é preciso enunciar leis que descrevam seu comportamento⁸³. O conjunto formado pela reunião do modelo com as leis e as hipóteses constitui a teoria científica, também chamada de modelo teórico. O termo "modelo" tem, portanto, dois significados: pode designar tanto uma representação esquemática de um objeto, fato ou acontecimento (objeto - modelo), como a teoria relativa a esta representação (modelo teórico ou teoria)⁸⁴.

Algumas vezes o modelo é formado por diagramas, figuras, objetos materiais elaborados por analogia com outros objetos etc. Assim, para Descartes o coração era uma fornalha, enquanto Harvey comparou-o, acertadamente, a uma bomba que movimenta o sangue⁸⁵. Para explicar a ação de uma enzima sobre uma reação química utilizamos o modelo da chave e da fechadura, onde a enzima encaixa nos reagentes como uma chave na fechadura, aumentando a velocidade

da reação. Na teoria cinética, as partículas dos gases são representadas por pequenas esferas, como vimos na figura 8 (em 4.3.2.).

Muito embora uma representação visual do modelo possa nos ajudar a compreendê-lo melhor, ela não é necessária para a construção de teorias. Certas teorias, como a da evolução, não se valem de nenhuma imagem pictórica: o modelo de seleção natural é formado simplesmente por um conjunto de enunciados. Na realidade, qualquer modelo pode ser representado desse modo, sendo esta a maneira mais precisa e completa de representá-lo, uma vez que a partir dos enunciados é mais fácil deduzir uma série de hipóteses e de leis. É isto que ocorre com o modelo dos gases perfeitos, que pode ser descrito do seguinte modo:

- a) um gás é substituído por um grande número de pequenas partículas (moléculas), de tamanhos desprezíveis quando comparadas com a distância entre elas.
- b) as moléculas do gás estão em constante movimento ao acaso e colidem entre si e com o recipiente sem perda da energia cinética total.
- c) não há forças de atração ou repulsão entre as moléculas de um gás.
- d) a energia cinética das moléculas é proporcional à temperatura absoluta⁸⁶.

A partir deste modelo podemos fazer algumas previsões. Como as partículas de um gás são muito pequenas em relação à distância entre elas, é de se esperar que os gases sejam altamente compressíveis. Além disso, o movimento constante e caótico sugere que os gases tendem a se expandir e a ocupar todo o volume do recipiente. Finalmente, vimos que a lei de Boyle, a lei de Charles e outras leis podem ser deduzidas deste modelo. A partir da teoria cinética e das leis da mecânica de Newton, pode-se inclusive deduzir a equação geral dos gases, que reúne essas leis em uma única fórmula matemática: $PV = nRT$, onde P é a pressão do gás, V seu volume, T a temperatura absoluta, n o número de moles do gás e R a constante molar do gás⁸⁷.

Portanto, quando associamos ao modelo um conjunto de leis, fórmulas e hipóteses iniciais, temos um sistema hipotético-dedutivo, isto é, um sistema de hipóteses do qual podemos deduzir logicamente várias previsões, hipóteses e leis adicionais. É este sistema hipotético-dedutivo que chamamos de teoria⁸⁸.

Do mesmo modo, o método científico pode ser chamado de método hipotético-dedutivo, uma vez que a partir de hipóteses iniciais deduzimos previsões que serão testadas experimentalmente, como veremos no próximo capítulo. Assim, vemos que o conjunto de leis e hipóteses de uma teoria refere-se a um modelo ou objeto ideal que, por sua vez, pretende representar, de modo imperfeito e incompleto, um sistema real.

Devido às idealizações e simplificações feitas na construção do modelo, os resultados obtidos no teste apresentarão certos desvios em relação ao que foi previsto. Embora o modelo represente uma imagem simplificada dos fatos, ele pode ser complicado de forma a aproximá-lo cada vez mais daquilo que realmente ocorre na natureza⁸⁹.

No caso da queda livre, por exemplo, podemos estudar as alterações que a velocidade sofre em função da resistência do ar, desprezada na construção do modelo inicial, de forma a sofisticar um pouco mais o modelo. A mesma coisa pode ser feita em relação à teoria cinética: substituímos partículas pontuais por esferas dotadas de certo volume, com uma força de atração fraca entre elas⁹⁰. A partir deste novo modelo, podemos compreender porque o comportamento dos gases reais se afasta muito, em certas condições, do modelo anterior.

Quando a pressão é muito alta, por exemplo, as moléculas ficam tão próximas umas das outras que os efeitos das forças atrativas passam a ser significativos. Usamos então outra lei, representada pela equação de van der Waals, que introduz um fator de correção levando em conta o volume das moléculas e a força de atração média entre elas: $(P + \frac{n^2 a}{V^2})(V - nb) = nRT$, onde a e b são constantes determinadas experimentalmente⁹¹. Quando a pressão não for muito alta nem a temperatura muito baixa, as constantes a e b atingem valores próximos a zero e os valores obtidos por esta fórmula ficam bem próximos aos obtidos pela lei geral dos gases ($PV = nRT$). Vemos então, que a partir

do modelo podemos corrigir uma lei e enunciar outra mais geral, da qual a lei anterior é um caso-limite, válido apenas em determinadas condições.

Do mesmo modo, quando em ecologia falamos sobre cadeias alimentares, estamos falando de um modelo simplificado de um grande número de relações complexas (na realidade uma teia alimentar), que incluem diversas associações, de ordem diferente da alimentar, entre os seres vivos.

Portanto, a matéria-prima da ciência não é uma "experiência pura", mas a experiência interpretada por uma teoria: não reunimos e condensamos dados, mas os simplificamos, os modificamos ou os descartamos com auxílio de teorias. Enfim, os dados somente são relevantes para a ciência dentro de um contexto teórico e, como diz Bunge,

"(...) só as teorias podem sugerir a busca de informações que não podem ser obtidas espontaneamente pelos sentidos: imagine-se como poderia ser possível a procura do código genético sem a teoria genética (...) cachorros recebem inclusive mais informação sensorial de certo tipo que nós, mas não desenvolveram nenhuma ciência"⁹².

Embora se diga, às vezes, que "a teoria na prática é outra", a verdade é que não há prática sem teoria. Astrônomos e biólogos dependem de teorias da ótica para a construção de seus instrumentos de pesquisa. Assim, em qualquer atividade científica, são as teorias que organizam a experiência, explicam as leis e produzem novas generalizações testáveis, antecipando novos dados para a in-

investigação científica.

4.4.2. Galileu e o nascimento da nova ciência

A Terra é imóvel e ocupa o centro do universo, com as estrelas, o Sol e os planetas girando ao seu redor. Uma pedra cai e o fogo sobe para alcançar seu lugar natural e qualquer outro tipo de movimento diferente deste só pode ocorrer se o corpo estiver submetido a uma força, sendo que corpos mais pesados caem mais rapidamente que corpos leves.

Estas são algumas das idéias devidas a Aristóteles, que predominaram na Europa até o século XVII. Em 1564, porém, nascia em Pisa, na Itália, alguém que contribuiu de forma notável para alterar estas concepções. Galileu Galilei, para muitos o fundador da ciência moderna.

Como vimos anteriormente, uma das principais contribuições de Galileu ao método científico foi justamente substituir os fatos, com toda sua complexidade, por modelos ideais, e a partir daí descobrir leis gerais. Foi ele quem primeiro utilizou a matemática — mais especificamente a geometria — de forma sistemática, para elaborar leis e hipóteses e para analisar os resultados da experiência. Com auxílio da matemática, podemos "fazer perguntas" à natureza e interpretar suas "respostas". Como disse Galileu, na sua obra Il Saggiatore (O Experimentador, 1623), o "livro da natureza está escrito em linguagem matemática".

Com Galileu, os conceitos de matéria, movimento etc. perderam a característica finalista presente em Aristóteles⁹³. Galileu recusou-se a aceitar o princípio da autoridade, segundo o qual Aristóteles não podia ter-se enganado: em vez disso, passou a conferir o papel de juiz à própria natureza; o espírito crítico opunha-se ao dogmatismo.

O procedimento usado por Galileu para construir seus modelos e suas teorias a respeito da queda dos corpos não pode ser considerado indutivo. Galileu não observou determinado fenômeno repetidas vezes e, a partir de um conjunto de dados, fez uma generalização. Em vez disso, como vimos, ele construiu um modelo desprezando uma série de dados e idealizando outros. Selecionando apenas algumas características como relevantes, formulou hipoteticamente uma lei geral e deduziu uma série de conclusões que deveriam ser confrontadas com a experiência.

Além de determinar a lei da queda dos corpos, mostrando que corpos mais pesados não caem mais rápido (no vácuo) do que corpos leves, Galileu estabeleceu as leis do pêndulo e dos movimentos dos projéteis, estudando também a termometria, a velocidade da luz etc. Contrariando Aristóteles, ele demonstrou que é possível um objeto estar em movimento mesmo sem a ação de uma força: a força causa apenas uma variação na velocidade do objeto que, em sua ausência, permanece parado ou em movimento com velocidade constante (lei da inércia). Aperfeiçoando o telescó-

pio, Galileu descobriu as fases de Vênus, concluindo que este planeta girava em torno do Sol; descobriu também que havia satélites que giravam em torno de Júpiter. Com isso, ele demonstrava que há outros centros de revolução que não a Terra, conferindo assim apoio à teoria heliocêntrica de Copérnico. Apesar disso, Galileu não descobriu nenhum método infalível de descobrir e estabelecer leis: sua suposição de que as órbitas dos planetas eram circulares e sua teoria das marés revelaram-se falsas.

Com Newton, a ciência moderna atingiu sua maturidade. As explicações cinemáticas de Galileu passaram a ser deduzidas de uma teoria de maior profundidade, a teoria da gravitação, que tenta descobrir as causas e os mecanismos ocultos dos fenômenos. Novamente estamos diante de um crescimento não indutivo da ciência. Newton não fez nenhuma generalização a partir das leis de Kepler ou de Galileu. Como diz Bunge:

"Para sintetizá-las e derivá-las [as leis de Galileu e de Kepler] Newton inventou uma teoria dinâmica: introduziu um sistema de hipóteses inteiramente novas que, diferentemente do que faziam as leis cinemáticas, não descrevem trajetórias observáveis de partículas, mas que se referem a forças e massas não perceptíveis, e a suas manifestações cinemáticas (acelerações)"⁹⁴.

Tudo isto apenas corrobora o que já sabemos: a partir de um determinado conjunto de dados, há um número limitado de leis ou teorias que podem ser construídas para explicá-los. Portanto, do mesmo modo que as hipóteses e leis, as teorias são livres criações de nossa mente, su-

jeitas, porém, ao controle da experiência.

4.4.3. As características de uma boa teoria

Uma teoria não é um mero amontoado de enunciados, mas um todo organizado no qual, a partir de um certo número de leis, conceitos e hipóteses básicas, podemos deduzir outras leis e hipóteses. Há, assim, uma conexão lógica entre os enunciados da teoria⁹⁵. Como diz Bunge, "a implicação lógica é o cimento que mantém unidas as fórmulas de uma teoria"⁹⁶. Portanto, do mesmo modo que se exige que uma hipótese não seja autocontraditória, também deve-se verificar se os enunciados da teoria são coerentes entre si; caso contrário, não se diria nada a respeito do mundo, pois, como vimos, de enunciados contraditórios pode-se deduzir qualquer coisa. Em outras palavras, a teoria deve ter uma unidade formal ou sintática⁹⁷. Além disso, do momento em que dispomos de um sistema de hipóteses logicamente encadeadas, cada teste de uma delas passa a ser relevante para todas as outras, o que aumenta a refutabilidade e o apoio experimental do sistema como um todo.

Cada teoria refere-se a determinados fenômenos que são representados por conceitos. Assim, os símbolos e as fórmulas de uma teoria devem receber uma interpretação, um significado, isto é, devem corresponder a alguma coisa, a alguma propriedade física ou, então, a alguma variável numérica, recebendo neste caso uma interpretação matemática⁹⁸. Como esta interpretação é hipotética, é claro que

poderemos descobrir posteriormente que tal coisa não existe, como ocorreu efetivamente com conceitos como "éter" ou "calórico". A teoria atômica, por exemplo, fala de átomos, de elétrons e de outras partículas elementares, e também de tudo que influencia e interage com estes conceitos, como campo, ondas etc. A mecânica de Newton emprega os conceitos de posição, velocidade, aceleração, massa, momento e força, e todas as suas leis giram em torno desses conceitos. Para evitar ambigüidades e contradições, cada conceito deve ter apenas um significado, isto é, deve referir-se a alguma coisa determinada, e a teoria como um todo deve também referir-se a um conjunto específico de objetos. Teorias com termos ambíguos, vagos e obscuros são difíceis de serem testadas e interpretadas. Em outras palavras, podemos dizer que a teoria deve possuir uma consistência semântica⁹⁹.

Axiomatizar uma teoria é especificar claramente, de modo ordenado, suas principais idéias e afirmações, isto é, os conceitos primitivos, que são usados para definir outros conceitos, e as leis básicas — chamadas de princípios, axiomas ou postulados — a partir das quais podemos deduzir outras leis e hipóteses¹⁰⁰. A primeira tentativa de axiomatizar uma teoria científica foi feita por Euclides, quando elaborou seus cinco postulados a partir dos quais se pode deduzir os demais teoremas da geometria. Do mesmo modo, na mecânica de Newton utiliza-se velocidade, força etc. como conceitos primitivos, e as três leis de Newton como axiomas.

Para as ciências factuais, entretanto, o processo de axiomatização não é muito fácil e geralmente só pode ser conseguido muito tempo após a formulação intuitiva da teoria. Ainda hoje são poucas as teorias que podem ser consideradas axiomatizadas. Além disso, novos dados surgidos a partir da experiência podem levar ao crescimento da teoria ou mesmo à sua reformulação ou transformação em outra teoria. Levando isso em conta, Bunge afirma que as teorias devem estar abertas à experiência e, por isso, só uma parte ou um núcleo em cada teoria é axiomatizável¹⁰¹.

A axiomatização, mesmo parcial, além de facilitar o exame crítico dos pressupostos, ajuda-nos a descobrir possíveis contradições dentro da teoria e incoerências entre teorias diferentes. Se uma teoria é interna ou externamente incoerente, algo está errado e a partir daí será iniciado um novo ciclo de pesquisa, visando eliminar o erro e a incoerência. Como diz Bunge:

"É óbvio que a axiomática não substitui a invenção, mas nos capacita a fazer o máximo fora da criação original. Tampouco há sistemas perfeitos de axiomas — nem mesmo na matemática. Mas as imperfeições são melhor percebidas em um sistema ordenado do que em um amontoado caótico. Se, como pensava Francis Bacon, é mais provável que a verdade surja do erro do que da confusão, então a axiomática é uma parceira eficiente da verdade científica, pois um sistema de axiomas é uma gaiola de cristal onde cada componente é claramente exibido e pode, portanto, ser corrigido e substituído"¹⁰².

Como vimos no primeiro capítulo (em 1.3.4.), a matemática fornece fórmulas e teorias já prontas, que, se convenientemente interpretadas, podem ser utilizadas em

várias teorias. A teoria da probabilidade, por exemplo, pode ser aplicada em genética, na mecânica estatística e em outros ramos da ciência. Atualmente, a maioria dos princípios das teorias da física é expressa através de fórmulas matemáticas. Seria mesmo muito difícil exprimir em linguagem comum relações complexas entre muitas variáveis, como as encontradas na física quântica ou na teoria da relatividade¹⁰³.

No entanto, a matematização das teorias não é exclusiva da física. Esta é uma tendência atual que vem se espalhando por outras ciências naturais, trazendo consigo uma série de vantagens: as leis matemáticas são mais precisas e, por isso, mais informativas e mais facilmente testáveis. Além disso, a partir destas leis podemos deduzir outras hipóteses e leis de uma forma que não seria possível através da linguagem comum. Newton, por exemplo, teve que inventar o cálculo infinitesimal para poder demonstrar que as leis de Kepler podiam ser deduzidas de sua mecânica e da teoria da gravitação¹⁰⁴. Foi também através da matemática que Maxwell conseguiu deduzir que as radiações eletromagnéticas têm a velocidade da luz e, portanto, esta deve ser um tipo de radiação eletromagnética¹⁰⁵. Enfim, tanto a axiomatização como a matematização facilitam a comparação de teorias rivais e são ferramentas que não devem ser desprezadas na construção de teorias científicas¹⁰⁶.

Finalmente, embora a coerência lógica e semântica,

bem como a axiomatização e a matematização, possam ser de sejáveis ou até necessárias, elas não são suficientes para que uma teoria seja considerada científica. É fundamen tal que a partir da teoria possamos fazer previsões que possam ser testadas. Desse modo a teoria torna-se aberta à refutação. Como veremos no capítulo VI, quanto mais refutável for uma teoria, maior será o número de acontecimentos que ela "proíbe" e maior será seu conteúdo informativo. Teorias que não são refutadas por qualquer evidência, "explicando" tudo, paradoxalmente não explicam nada, têm pouco ou nenhum conteúdo informativo e, simplesmente, não são científicas. É a refutabilidade, enfim, que faz com que o conhecimento científico seja capaz de crescer, de se corrigir e de se transformar.

É um erro identificar teorias científicas com teo rias verdadeiras e teorias não científicas com teorias falsas. A história da ciência nos mostra que o número de teorias científicas falsas é muito maior que o número de teorias que sobreviveram, pelo menos até hoje, à refutação. A teoria da evolução de Lamarck é uma teoria científica justamente porque estava aberta à refutação e foi, efetivamente, refutada.

4.4.4. A realidade por trás da aparência: teorias representacionais e teorias fenomenológicas

Uma pessoa pode aprender a dirigir um carro ou a usar um computador sem ter a menor idéia de como eles função

cionam. Ela sabe apenas que se fizer determinadas manobras ou fornecer certas informações a qualquer um desses sistemas obterá certos resultados. Um cientista também pode procurar descobrir o que uma planta consome e produz na fotossíntese e como esta produção se modifica se alterarmos a quantidade das substâncias fornecidas. A planta passa a ser vista — da mesma forma que o carro e o computador para a maioria das pessoas — como um objeto-modelo, cujo mecanismo interno é desconhecido. Este modelo mais simples que se pode fazer de determinado sistema é chamado de caixa-negra, porque, pelo menos neste primeiro estágio da pesquisa, não podemos "ver" o que está acontecendo dentro do sistema, isto é, não arriscamos nenhum palpite sobre a estrutura interna do modelo¹⁰⁷. Podemos inclusive construir leis gerais, válidas para todas as plantas, relacionando a velocidade de fotossíntese com a intensidade de luz que a planta recebe. Construimos então, a partir do modelo, uma teoria fenomenológica da fotossíntese, que nos permite realizar previsões e que satisfaz muitos de nossos objetivos práticos¹⁰⁸.

Este é o caso de várias teorias das ciências naturais. A cinemática, por exemplo, estuda os movimentos e suas leis sem levar em conta as forças que os provocam. A ótica geométrica estuda os fenômenos óticos sem se preocupar com a natureza da luz. A cinética química clássica estuda os fatores que influem na velocidade de uma reação sem procurar hipotetizar os mecanismos pelos quais esta influência se dá. As primeiras teorias da evolução tam-

pouco se preocupavam com o mecanismo responsável por este processo¹⁰⁹.

Para os filósofos empiristas e positivistas radicais, isto é tudo que precisamos e podemos ter. Afinal, pode-se dirigir muito bem um carro sem conhecer seu mecanismo. Além disso, embora possamos abrir e estudar seu motor, como podemos "olhar" dentro de um raio de luz ou de uma reação química?

É claro, porém, que o conhecimento do motor e do funcionamento do carro nos permitirá reparar possíveis defeitos, em vez de simplesmente dirigir bem. A realidade é que a ciência tenta — apesar de todas as dificuldades — descobrir o mecanismo interno dos fenômenos, procurando atingir uma compreensão mais profunda dos fatos. Para isso o cientista não usa seus olhos, mas sua imaginação, inventando, hipotetizando esses mecanismos ocultos e, a seguir, testando-os indiretamente, isto é, deduzindo consequências do modelo que serão confrontadas com a experiência.

O objeto modelo torna-se então uma "caixa translúcida" e a teoria uma teoria representacional¹¹⁰. Passamos a usar conceitos não observáveis diretamente, como força, onda, campo, elétron etc. Surgem assim, teorias como a dinâmica, que estuda as forças que provocam o movimento; a ótica física, que procura explicar as propriedades da luz supondo-se que ela é uma onda eletromagnética (ou então fótons em movimento); a teoria das coli-

sões, que propõe um mecanismo para explicar as reações químicas; ou a teoria moderna da evolução com seus conceitos de mutação, seleção natural etc.¹¹¹.

As teorias fenomenológicas são típicas dos estágios iniciais de uma ciência e, à medida que esta evolui, observamos que há uma sucessão de teorias representacionais cada vez mais profundas. Há vários motivos para isso. Do mesmo modo que as leis fenomenológicas são explicadas pelas leis representacionais (como vimos em 4.3.3), uma teoria representacional também é capaz de explicar uma teoria fenomenológica; a partir da teoria genética moderna, por exemplo, podemos não só deduzir as leis de Mendel, como também explicar porque elas não funcionam para genes situados no mesmo cromossomo. Do momento em que as leis fenomenológicas e as generalizações empíricas passam a ser deduzidas de teorias, elas ganham uma justificação lógica, passando a ter, além do apoio experimental, um apoio dedutivo.

As teorias representacionais podem explicar até mesmo dados imediatos da percepção, considerados como não passíveis de explicação por alguns filósofos. É o caso das propriedades fenomênicas dos corpos, como a cor ou o cheiro, que dependem da capacidade de percepção do observador. Estas propriedades são hoje explicadas em função de propriedades inobserváveis, no caso a estrutura das moléculas e dos átomos do corpo, que são propriedades objetivas, no sentido de que independem da percepção senso-

rial do observador¹¹².

Assim como as propriedades objetivas não podem ser deduzidas das propriedades fenomênicas — é justamente o oposto que ocorre —, uma teoria representacional não pode ser deduzida de uma teoria fenomenológica. As teorias representacionais são, portanto, mais gerais, mais objetivas, arriscando-se mais à refutação e, conseqüentemente, mais informativas, como veremos no capítulo VI.

Enquanto as teorias fenomenológicas podem receber apenas apoio experimental, as teorias representacionais podem receber apoio de outras áreas da ciência e de outras teorias. Ao hipotetizarmos, por exemplo, uma explicação neurofisiológica para a memória e para os reflexos condicionados, criamos condições para que as teorias psicológicas possam receber apoio ou possam ser refutadas por teorias biológicas. A comunicação surgida entre áreas diferentes promove também uma unificação entre campos aparentemente não relacionados. Antes da teoria de Maxwell, não se imaginava que havia relação entre a luz e os fenômenos eletromagnéticos. Foi através dessa teoria que se conseguiu-se explicar a natureza única das ondas de rádio, da luz, dos raios infravermelhos etc. Foi através do código genético que conseguimos explicar as leis da herança em função das propriedades químicas do DNA.

Finalmente, a física atual nos revela que muitos fenômenos não são acessíveis à observação direta. É através dos conceitos transempíricos, isto é, não observá-

veis, que podemos enriquecer e corrigir a experiência. Como diz Bunge,

"É tão somente suspeitando primeiro e depois pressupondo que possa haver algo além dos fenômenos, que logramos eventualmente descobrir de fato este algo invisível. A hipotetização de entidades e propriedades ocultas não é má em si mesma, uma vez que a maior parte da realidade está oculta à percepção sensorial direta"¹¹³.

É também através de teorias representacionais que procuramos construir um "mapa hipotético" de uma parte da realidade e penetrar nos mecanismos profundos dos fenômenos. A teoria nos permite ir além das características aparentes dos fenômenos, explicando-os em função de entidades não observáveis — mas, nem por isso, menos "reais"—, fornecendo então algo semelhante à causa necessária e oculta dos fenômenos, de cuja existência Hume duvidava.

Entretanto, não devemos confundir inobservável com não testável. Tanto as teorias fenomenológicas como as representacionais deverão ser capazes de se submeterem a testes experimentais, através de hipóteses e previsões deduzidas da teoria, como veremos no próximo capítulo.

4.4.5. Teorias — tentativas de conhecer a realidade ou simples ferramentas?

Quem já viu um bom mágico de circo trabalhando ou já observou algumas das muito difundidas ilusões de ôtica, é capaz de perceber facilmente até que ponto nossos olhos podem ser iludidos. Apesar disso, é muito difundida

entre o senso comum a idéia, conhecida como realismo ingênuo, que afirma que os objetos são, no todo, como aparecem aos nossos sentidos. Isto quer dizer que se um objeto parece quadrado e preto ele é realmente quadrado e preto¹¹⁴.

Uma outra maneira de dizer isto é afirmar que os fatos, isto é, as coisas, acontecimentos e processos que supomos que existam na realidade, independentemente de os observarmos ou não, são iguais aos fenômenos, isto é, aquilo que percebemos com nossos órgãos dos sentidos, como as cores, ruídos, etc.¹¹⁵.

Entretanto, como vimos no capítulo II, qualquer observação está sempre vinculada a uma interpretação. Quando uma pessoa avança em minha direção, vejo uma mancha colorida aumentar, mas não penso que o tamanho da pessoa aumentou e sim que a distância entre mim e essa pessoa diminuiu. Como diz Watkins, esta interpretação depende de hipóteses e crenças anteriores, como a de que as pessoas não mudam tão rapidamente de tamanho¹¹⁶.

Além disso, basta um pouco de conhecimento científico para percebermos que nossa observação ou conhecimento comum não é um conhecimento completo do mundo. A física e a fisiologia nos ensinam que nossos olhos captam apenas ondas eletromagnéticas de comprimento entre 380 e 750 bilionésimos do metro. Estas ondas formam o chamado espectro visível, que equivale a apenas dez quatrilionésimos do espectro total. Portanto, vemos apenas uma minúscula fra-

ção dos tipos de onda eletromagnética existentes. Não podemos ver raios gama, raios X, raios infravermelhos e ultravioleta; ondas de rádio etc. Do mesmo modo, embora nossa audição seja incrivelmente sensível, ela também é limitada para sons de frequência entre 20 e 20.000 ciclos por segundo.

Por outro lado, a neurofisiologia nos ensina que, em certo sentido, não vemos com nossos olhos nem ouvimos com nossos ouvidos. Quando as ondas luminosas atingem nos os olhos ou as ondas acústicas atingem nossos ouvidos, elas são transformadas em pequenas "mensagens elétricas", os impulsos nervosos, que são levados para regiões especí ficas do cérebro. É nessas regiões que ocorrem os fenômenos responsáveis por nossas sensações. Se a região respon sável pela visão for lesada, o indivíduo não poderá ver, mesmo que seus olhos estejam perfeitos. Além disso, a célula nervosa obedece à lei do tudo ou nada, isto é, quando estimulada ela reage com a capacidade máxima — ou en tão não reage —, gerando um impulso nervoso. Isto quer dizer que os impulsos que saem dos olhos, dos ouvidos ou de outros órgãos sensoriais têm, todos eles, as mesmas ca racterísticas. Em outras palavras, os raios de luz que es timulam a retina ou as vibrações sonoras que atingem o tímpano geram exatamente o mesmo tipo de impulso nervoso¹¹⁷. Porém, como esses impulsos chegam a regiões diferentes do cérebro, eles são interpretados como sensações diferentes.

Portanto, ver — no sentido amplo de perceber — é interpretar. Assim como o cientista interpreta seus dados com auxílio de teorias, o nosso cérebro "fabrica" uma imagem do mundo a partir dos dados recebidos, utilizando para isso expectativas, crenças e disposições aprendidas ou inatas, que podem ser consideradas como algo análogo a teorias. Além disso, cada espécie tem uma maneira diferente de perceber o mundo, a qual depende da constituição de seus órgãos sensoriais e de seu sistema nervoso. Em que sentido poderíamos garantir então que nossa espécie tem uma imagem "fiel" do mundo? Não podemos dizer sequer que observamos mais fatos que outros animais, uma vez que as abelhas, por exemplo, podem captar luz ultravioleta e os cães podem perceber frequências sonoras acima de 20 mil ciclos por segundo. Como em qualquer percepção há sempre muito de interpretação, não podemos dizer que nossas observações não podem nos enganar, pois qualquer interpretação está sujeita a erro, como mostram as ilusões de ótica, ou o círculo do teste do ponto cego na figura 3 (em 2.1.3.), que aparece com a cor do papel. É isto que mostra também a experiência dolorosa de um soco no olho. Neste caso, a forte pressão estimula o nervo ótico, gerando um impulso nervoso. Quando este impulso chega ao centro visual do cérebro, ele é interpretado como um fenômeno luminoso: o indivíduo tem a sensação de "ver estrelas". É conhecido também o caso da dor fantasma, quando indivíduos com um membro amputado passam a sentir dores que parecem se localizar no membro que não mais existe. Isso acontece

porque a parte que restou dos prolongamentos dos neurônios cortados pode estar irritada, passando então a enviar impulsos para as regiões do cérebro responsáveis pelas sensações da parte amputada. Em todos esses casos, o cérebro interpreta de forma equivocada o impulso que chega até ele.

O que podemos conjecturar, segundo a teoria da evolução, é que o modo pelo qual cada espécie percebe e interpreta estímulos é uma adaptação que facilita sua sobrevivência em determinado ambiente. O processo evolutivo produziu órgãos sensoriais e sistemas nervosos que decodificam de forma impressionantemente eficiente os sinais que aí chegam. Certamente nossas observações não nos enganam sempre, pois se assim fosse não teríamos sobrevivido, mas isto não significa que nossas observações não nos enganem nunca ou que temos uma "cópia exata" da realidade em nosso cérebro, como é a tese do realismo ingênuo. O que nossos conhecimentos nos mostram é que só percebemos uma parte do mundo, modificada e interpretada por nosso sistema neurossensorial, e a serviço de nossa sobrevivência. Este conhecimento parcial, inexato, conjectural — portanto falível — da realidade é ilustrado na figura 10 seguinte.

Diferentemente das outras espécies, porém, o homem desenvolveu uma forma de conhecimento — o conhecimento científico — que permite "enxergar" além do que nossos sentidos nos mostram. Entretanto, como vimos, as teo-

rias científicas — e o mesmo vale para nossas percepções — não são fotografias ou imagens especulares do mundo, mas modelos ou reconstruções hipotéticas deste mundo. O que a ciência procura é construir modelos que possam ser progressivamente corrigidos de forma a se aproximar cada vez mais da realidade. Esta concepção, defendida por Popper e Bunge, entre outros, é conhecida como realismo crítico, e pressupõe a existência de um mundo exterior cujos acontecimentos obedecem a leis que tentamos conhecer¹¹⁸.

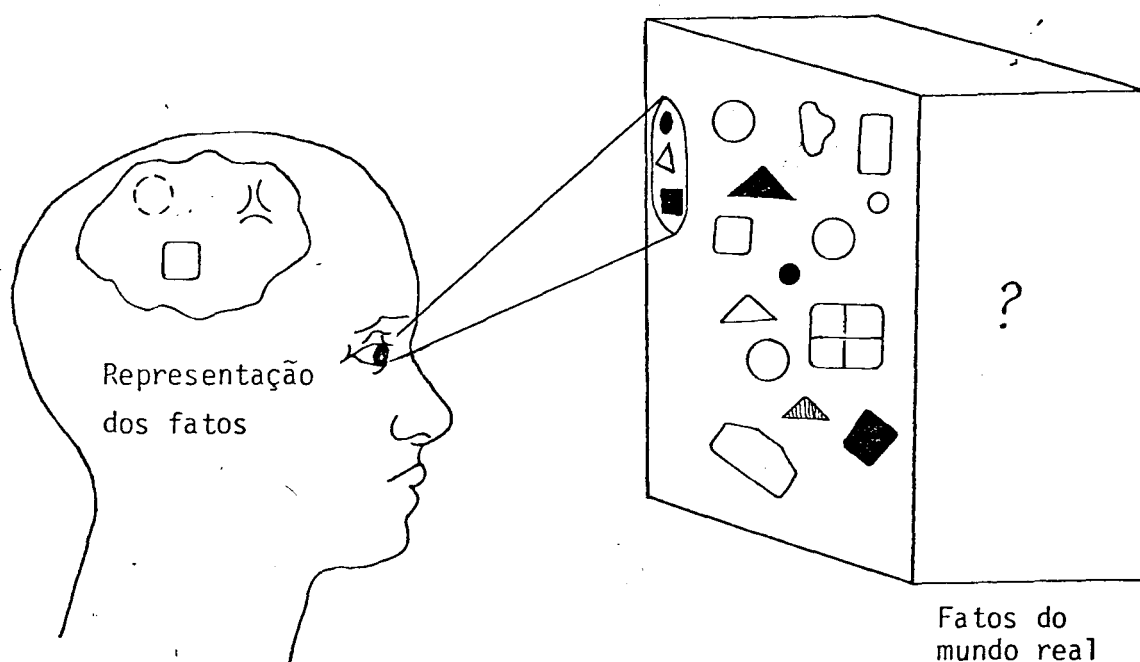


Figura 10 - Os fatos são percebidos por nosso sistema neurossensorial de forma parcial, inexata e incerta.

Para outros filósofos, porém, as leis e os conceitos científicos são apenas construções matemáticas úteis, que servem para descrever e prever fenômenos, sem corresponder a nada real. Esta posição é conhecida como convencionalismo ou instrumentalismo, porque as teorias funcionariam como uma espécie de computador, isto é, como um instrumento para resumir e processar dados, realizando previsões a respeito de fenômenos observáveis. Seriam convenções no sentido de que não tratam de nada real¹¹⁹.

O instrumentalismo tem afinidades tanto com o fenomenismo — que também nega que conceitos como elétron, campo ou força correspondem a algo real — quanto com o operacionalismo, que afirma que o único significado que podemos atribuir a um conceito científico é dado por uma operação de medida. Assim, conceitos como o de temperatura significam apenas aquilo que é medido por um termômetro. Os conceitos que não podem ser definidos como um conjunto de operações de medidas teriam de ser eliminados da física, uma vez que são desprovidos de qualquer significado¹²⁰.

Como para o instrumentalismo uma teoria é apenas um instrumento de previsão, ela não pode ser refutada, e diferentes teorias têm apenas diferentes gamas de aplicação¹²¹. A teoria de Newton, por exemplo, não é falsa, ela apenas continua a ser útil dentro de certos limites. No entanto, como a eficiência não depende apenas da teoria, mas também da relação entre teoria e objetivos, a teoria

de Newton pode ser tão útil, para fins práticos, quanto a teoria de Einstein — e até preferível, uma vez que suas fórmulas são mais simples¹²². Neste caso, não haveria nenhuma razão para considerar que a teoria de Einstein é superior à de Newton.

Para Popper, ao negligenciar a refutação e acenar a aplicação, o instrumentalismo perde muito do espírito crítico da ciência, tornando-se incapaz de explicar os testes rigorosos a que uma teoria é submetida sem que estes testes tenham muitas vezes qualquer utilidade prática¹²³.

Além disso, as teorias científicas não se limitam a prever eventos do tipo conhecido, podendo prever igualmente efeitos totalmente inesperados. É este o caso do desvio dos raios luminosos quando se aproximam de um corpo de grande massa, previsto pela teoria da relatividade. Para Popper, o instrumentalismo só pode explicar o primeiro tipo de previsão, pois,

"Se entendermos que as teorias são instrumentos de previsão, precisamos admitir que seu objetivo pode ser determinado previamente, como acontece com outros instrumentos. As previsões do segundo tipo só podem ser compreendidas perfeitamente como descobertas"¹²⁴.

Enquanto isso, para o realismo crítico, as refutações que uma teoria sofre não servem apenas para restringir seu âmbito de aplicação, mas indicam também que ela colidiu com certos fatos, que ela se chocou com a realidade. Quando isto acontece, segundo Popper, "ficamos sabendo

do que há uma realidade: algo nos avisa que nossas teorias podem estar erradas"¹²⁵.

De acordo com a tese instrumentalista, quando medimos uma grandeza de duas maneiras diferentes, estamos medindo dois conceitos diferentes. Assim, se medirmos a temperatura através de um termômetro de mercúrio e depois através de um termômetro que usa resistência elétrica, teríamos, na realidade, medido dois tipos diferentes de temperatura. Do mesmo modo, o comprimento de um objeto medido por uma régua deveria ser um conceito diferente do comprimento medido por um micrômetro, por exemplo. Mas é geralmente aceito que diferentes operações podem ser usadas para medir o mesmo conceito. Caso contrário estaríamos diante de uma série imensa de conceitos diferentes e não relacionados, em vez de conceitos gerais, o que tornaria difícil a previsão científica. Também seria difícil falar em erros de medida ou em maneiras melhores de medir um conceito, se cada medida fosse diferente da outra.

Na realidade, qualquer operação de medida envolve o uso de conceitos e teorias prévias, sem os quais é impossível medir alguma coisa. Precisamos ter uma noção, dispor de algum significado, mesmo vago, daquilo que vamos medir. Assim é a teoria que nos dá o significado do conceito a ser medido: há apenas um significado do conceito de campo elétrico, por exemplo, que é dado pela teoria de Maxwell ¹²⁶.

Finalmente, assim como um criminoso pode ser des-

coberto pelas pistas que deixa, um papel de tornassol ser ve para reconhecer um ácido, e um campo pode ser indireta mente medido através dos efeitos que provoca em uma carga elétrica. Entretanto, não se deve confundir o referente de uma teoria (campo, ácido etc.) com suas evidências(mu dança na cor do tornassol, deslocamento de uma carga); en fim, como veremos no próximo capítulo, a medição não é uma fonte de significado, mas uma maneira de testar teo- rias.

Como vemos, as tentativas instrumentalistas, feno menistas e operacionalistas procuram valorizar a observa ção, seguindo assim uma orientação empirista. Como Watkins observou, elas podem ser interpretadas como tentativas de se obter certeza às custas de profundidade. Com isso, es- sas concepções têm dificuldade de explicar a importância das conjecturas a respeito da natureza profunda e dos me- canismos internos dos fenômenos, para o progresso da ciên cia. Como diz Bunge,

"O progresso da ciência não consiste numa elimi nação progressiva de não-observáveis, mas na sua proliferação e controle. Um não-observável susceptível de ser escrutinado que de certo mo- do está associado a efeitos observáveis, é pelo menos tão válido como uma variável diretamente manipulável e, certamente, muito mais válido que qualquer número de observações não dirigi- das pela teoria"¹²⁷.

A discussão entre as posições realistas e instru- mentalistas ou operacionalistas está, no entanto, longe de se encerrar. Desde há meio século atrás, quando surgiu a mecânica quântica, que vem se travando um debate filosofi

co sobre a interpretação que se deve dar a essa teoria da física. De um lado, temos a chamada interpretação de Copenhague, que foi defendida por físicos como Niels Bohr, Max Born e Werner Heisenberg, entre outros. Suas características são de cunho fenomenista, operacionalista e subjetivista. O termo subjetivista significa aqui que um objeto físico não existe independentemente do observador: o objeto, o aparelho usado na observação e o observador formariam um todo inseparável¹²⁸.

De outro lado, também encontramos físicos, como Max Planck, Albert Einstein e Louis de Broglie, que defenderam a tese realista e objetivista. Objetivista porque sustenta que a mecânica quântica não se refere a observadores, sendo possível considerá-los, separadamente, da teoria. Esta concepção é defendida por Popper e também por Bunge quando afirma que

"(...) nenhuma teoria física supõe que o seu objeto sejam sentimentos, pensamentos ou ações humanas: as teorias físicas tratam de sistemas físicos"¹²⁹.

Não há, portanto, um consenso, atualmente, sobre qual a interpretação que se deve dar à mecânica quântica. Ambas as posições são apoiadas por grandes nomes da física e da filosofia da ciência. Será adotada aqui a tese do realismo crítico, que afirma que uma teoria trata de objetos que, pelo menos supostamente, têm uma existência autônoma, isto é, são objetos que existem independentemente de nossa mente; que o conhecimento destes objetos é hipotético

co e corrigível por meio de aproximações sucessivas e através de uma interação entre teoria e experimento; que as teorias científicas, enfim, fornecem um conhecimento hipotético, indireto, simbólico e corrigível dos fatos. Em resumo, o realismo crítico será considerado aqui como a tese mais fértil para a busca de teorias mais amplas, profundas e de maior poder preditivo, bem como para a avaliação dessas teorias e, conseqüentemente, para o progresso científico¹³⁰.

4.5. Resumo

A explicação científica é chamada dedutivo-nomológica porque o fenômeno a ser explicado é deduzido de leis gerais (hipotéticas) e das condições iniciais ou causas do fenômeno. Frequentemente, estas explicações se valem de conceitos pouco familiares e não observáveis. Entretanto, é fundamental que tais conceitos obedeçam a leis gerais, do tipo "A é B", que fornecem as condições em que os fenômenos ocorrerão. São estas leis que conferem um poder de previsão e que permitem que as explicações científicas sejam testadas, o que não ocorre com profecias do tipo "haverá uma grande catástrofe", que não enunciam as condições para que o fenômeno previsto ocorra.

As explicações científicas não utilizam apenas leis causais, como as leis de Newton, mas também leis estatísticas ou probabilísticas, usadas para prever um conjunto de acontecimentos formados por um número elevado de

acontecimentos aleatórios, como a desintegração radioativa ou a distribuição das características hereditárias nos filhos. Enquanto para filósofos indutivistas estas leis têm um caráter diferente das explicações dedutivo-nomológicas, para outros ambas têm a mesma estrutura lógica.

Outro tipo de explicação, comum em biologia, é a explicação teleológica, que explica certos fenômenos em função de alguma finalidade ou objetivo futuro. Entretanto, a partir da teoria moderna da evolução podemos justificar fenômenos aparentemente teleológicos, como a adaptação, através de explicações causais ou probabilísticas. Podemos dispensar, assim, explicações de cunho finalista, que, além de serem difíceis de testar, não recebem apoio de nossos conhecimentos atuais sobre evolução. Também a descoberta de sistemas autocontrolados e do funcionamento do código genético permitiu compreender como um sistema pode se manter em equilíbrio sem ser guiado por um objetivo futuro. Portanto, embora ainda se discuta a necessidade de explicações teleológicas em biologia, elas perderam o caráter finalista, ausente na biologia contemporânea.

Embora se diga que as hipóteses vão além dos dados, mesmo estes são hipotéticos, uma vez que são sempre interpretados com auxílio de teorias. O que um cientista faz é admitir determinados dados, em certos contextos, como não problemáticos. Estes mesmos dados, porém, poderão vir a ser criticados em outros contextos.

As hipóteses não são derivadas por indução a par-

tir dos dados, mas inventadas com o fim de explicá-los, exigindo por isso boa dose de imaginação e criatividade. Para que uma hipótese seja considerada científica, ela deve não somente ser passível de teste, mas também ser livre de contradições, significativa e compatível com pelo menos uma parte do conhecimento científico. Finalmente, embora o senso comum também elabore hipóteses gerais para explicar os fenômenos, em ciência buscamos hipóteses mais profundas, capazes de explicar o mecanismo oculto dos fenômenos, chamadas hipóteses representacionais.

As leis científicas são hipóteses gerais que foram corroboradas experimentalmente, o que não quer dizer que sejam verdades definitivas. As leis proíbem a ocorrência de certos fenômenos, sendo que as leis quantitativas proíbem mais que as qualitativas e, justamente por isso, se arriscam mais à refutação e nos dão mais informações sobre o mundo.

Para filósofos como Popper e Bunge, as leis científicas não são simples generalizações acidentais, mas procuram refletir leis objetivas que existem na natureza. Isto é possível porque essas leis não recebem apenas apoio experimental, mas também um apoio de outras leis e teorias mais profundas, que tentam penetrar em níveis mais distantes do nível da observação; estas leis e teorias representacionais permitem corrigir e limitar o alcance e a validade práticos de leis e generalizações mais superficiais ou fenomenológicas. Justamente por utilizarem enti-

dades não observáveis as leis e teorias mais profundas só podem ser obtidas por um "salto" na imaginação do cientista e não por processos indutivos.

Enquanto para alguns filósofos as leis probabilísticas medem a força de nossa crença sobre a ocorrência de determinado fenômeno (interpretação subjetiva da probabilidade), para outros, como Popper e Bunge, essas leis refletem fenômenos que ocorrem objetivamente ao acaso na natureza e, só por isso, podem ser testadas (interpretação objetiva).

Segundo a teoria de Von Mises, enunciados probabilísticos não se referem a um evento em particular, mas a toda uma classe de lances. A probabilidade de um acontecimento, como o resultado do lançamento de uma moeda, seria, assim, o valor limite para o qual tende uma série de lançamentos. Já, para Popper e Bunge, a probabilidade pode ser interpretada como uma propensão gerada pelas condições em que ocorre determinado acontecimento. Neste caso, ela seria tão real como uma força newtoniana, sem ter no entanto o determinismo causal desta última.

O cientista seleciona certos aspectos da realidade, construindo um modelo do objeto que pretende estudar. Substitui assim um fenômeno real por uma situação idealizada e simplificada. Com isso obtêm soluções mais exatas e exeqüíveis de problemas muito complexos. Tendo elaborado um modelo, procura então enunciar as leis que descrevem seu comportamento: surge assim uma teoria científica

ou sistema hipotético-dedutivo, uma vez que da associação do modelo com leis e hipóteses pode-se deduzir previsões que serão testadas experimentalmente. Devido às idealizações e simplificações do modelo, os resultados dos testes poderão não corresponder exatamente ao que foi previsto. Neste caso, complicamos o modelo de forma a aproximá-lo do que realmente ocorre. A elaboração de modelos e leis matemáticas e o teste experimental destas leis foi a principal contribuição de Galileu ao método científico.

Uma teoria deve ser formada por um conjunto de enunciados logicamente coerentes e seus conceitos devem referir-se a algo supostamente real. Axiomatizar uma teoria é justamente especificar claramente suas principais idéias e afirmações, separando os conceitos primitivos dos conceitos derivados. A axiomatização facilita o exame crítico dos pressupostos, ajudando a descobrir e evitar contradições e incoerências entre teorias.

A matematização, por sua vez, torna as teorias mais informativas e falseáveis, além de aumentar a capacidade de dedução de novas leis e hipóteses. Finalmente, é fundamental que possamos deduzir da teoria previsões que possam ser testadas experimentalmente.

Enquanto algumas teorias científicas procuram apenas estabelecer leis gerais a respeito de um sistema, sem procurar interpretar o que está acontecendo dentro dela (teorias fenomenológicas), outras procuram hipotetizar os mecanismos ocultos responsáveis pelo que está sendo obser

vado (teorias representacionais). No primeiro caso temos a cinemática, a ótica geométrica, a cinética química clássica etc. e no segundo caso a ótica física, a dinâmica, a teoria das colisões etc. Além de serem mais gerais, as teorias representacionais são capazes de explicar as teorias fenomenológicas - enquanto o inverso não ocorre - e podem receber apoio de outras áreas da ciência e de outras teorias, possibilitando a comunicação e unificação entre campos aparentemente não relacionados.

Nosso conhecimento a respeito do mundo não é perfeito nem completo. Percebemos apenas uma parte da realidade, e mesmo esta parte é interpretada de acordo com as expectativas, crenças e constituição do nosso sistema nervoso e sensorial. Portanto, mesmo nossas percepções mais imediatas são interpretações falíveis dos fatos. Além disso, a constituição do sistema neurosensorial varia de espécie para espécie, fornecendo, portanto, interpretações diferentes, que estão relacionadas com o modo de vida da espécie e com suas necessidades de sobrevivência.

Do mesmo modo, nossas teorias científicas não são fotografias do mundo, mas modelos ou reconstruções hipotéticas dele que podem ser progressivamente corrigidos de forma a se aproximar cada vez mais da realidade. Esta concepção, conhecida como realismo crítico, é defendida por alguns filósofos da ciência, como Popper e Bunge. Para outros filósofos, porém, as leis e teorias científicas não passam de construções matemáticas úteis, servindo apenas

para descrever e predizer fenômenos, e não correspondem a nada real. Esta posição é conhecida como convencionalismo ou instrumentalismo e tem afinidades com o fenomenismo e com o operacionalismo (que afirma que o único significado que podemos atribuir a um conceito científico é dado por uma operação de medida). Para Popper, estas concepções não explicam como as teorias são capazes de prever eventos inesperados nem os testes rigorosos, sem utilidade prática, a que elas são submetidas. Também não conseguem explicar como um mesmo conceito pode ser medido de várias maneiras diferentes, e são incoerentes com a noção de que qualquer operação de medida só pode ser feita com auxílio de teorias e de conceitos dotados de algum significado prévio. Entretanto, a validade destas concepções é ainda muito discutida, especialmente em relação à mecânica quântica. Será adotado aqui o realismo crítico, considerado como a tese mais fértil para a busca de teorias mais amplas, profundas e de maior poder preditivo, bem como para a avaliação dessas teorias e, conseqüentemente, para o progresso científico.

4.6. Leituras suplementares

Sobre explicações científicas em geral, ver: BRAITHWAITE, R.B. Scientific explanations. New York, Harper, 1960, cap. 10 e 11; BUNGE, Mario. Causality and modern science. 3. ed. New York, Dover, 1979, pp. 282-307; — La Investigación científica; su estrategia y su filosofía. 8. ed. Barcelona, Ariel, 1981, pp. 561-623; HEGENBERG, Leô

nidas. Explicações científicas; Introdução à filosofia da ciência. 8. ed. São Paulo, Editora pedagógica Universitária, 1973; HEMPEL, Carl G. "Explicação científica". In: MORGENBESSER, Sidney (org.). Filosofia da ciência. São Paulo, 1979, pp. 159-69; — Filosofia da ciência natural. 3. ed. Rio de Janeiro, Zahar, 1981, pp. 65-90; NAGEL, Ernest. The structure of science; Problems in the logic of scientific explanations. London, Routledge & Kegan Paul, 1980, pp. 15-46; WRIGHT, G.H. von. Explanation and understanding. New York, Cornell University Press, 1971.

Para explicações teleológicas e teleologia, ver: HEGENBERG, Leônidas. Op. cit., pp. 193-216; HULL, David. Filosofia da ciência biológica. Rio de Janeiro, Zahar, 1974, pp. 143-72; MAYR, Ernest. "Teleological and teleonomic - a new analysis". Boston Stud. Philos. Sci. 14, 1974, pp. 91-117; MONOD, Jacques. O acaso e a necessidade; ensaio sobre a filosofia natural da biologia moderna. 3. ed. Petrópolis, Vozes, 1976, cap. 1 e 2; NAGEL, Ernest. Op. cit., pp. 401-46.

Sobre leis em geral, ver: BRAITHWAITE, R.B. Scientific explanations, cap. 9; BUNGE, Mario. La investigación científica, pp. 334-412; HEGENBERG, Leônidas. Etapas da investigação científica. São Paulo, Editora Pedagógica Universitária; Ed. da Universidade de São Paulo, v.2, pp. 37-77; HEMPEL, Carl G. Filosofia da ciência natural, pp. 65-91; NAGEL, Ernest. Op. cit., pp. 47-78.

Sobre causas e leis causais, ver: BUNGE, Mario. Causality and modern science; — Racionalidad y realismo. Madrid, Alianza, 1985, pp. 105-28; FISK, M. Nature and necessity; an essay in physical ontology. Indiana University Press, 1973; LERNER, D. (org.). Cause and effect. New York, Free Press, 1965; LUCAS, J.R. Space, time and causality; an essay in natural philosophy. Oxford, Clarendon Press, 1984; MACKIE, J.L. The cement of the universe; a study in causality. Oxford, Oxford University Press, 1975; WALLACE, W.A. Causality and scientific explanations. 2 vols. Michigan, University of Michigan Press, 1972.

Sobre explicações probabilísticas, ver: HEGENBERG, Leônidas. Explicações científicas, pp. 85-102; SALMON, Wesley et alii. Statistical explanation and statistical relevance. Pittsburgh, Pittsburgh University Press, 1971; WATKINS, John. Science and scepticism. Princeton, Princeton University Press, 1984, pp. 225-46.

Sobre a interpretação subjetiva de probabilidade, ver: FINETTI, Bruno de. Probability, Induction and statistics. New York, Wiley, 1972; JEFFREYS, Harold. Scientific Inference. 3. ed. Cambridge, Cambridge University Press, 1975; JEFFREY, Richard C. The logic of decision. New York, McGraw-Hill, 1965; KYBURG, J.; SMOKLER, H. (eds.). Studies in subjective probability. New York, Wiley, 1964; SAVAGE, L.J. The foundations of statistics. New York, Wiley, 1954.

A teoria da frequência pode ser vista em: MISES, Richard von. Probability, statistics and truth. London,

Allen & Unwin, 1957; WALD, A. Statistical decision functions. New York, Wiley, 1950.

A teoria da propensão e algumas críticas a outras interpretações de probabilidade são encontradas em: BUNGE, Mario. Racionalidad y realismo, pp. 129-47; POPPER, Karl. A lógica da pesquisa científica. Cultrix, São Paulo, 2. ed. 1972, pp. 160-37 e 360-430; — Realism and the aim of science. London, Hutchinson, 1982, pp. 281-402; "The propensity interpretation of the calculus of probability and the quantum theory". In: KÖRNER, S. (ed.). Observation and interpretation. London, Butterworth Scientific, 1957, pp. 65-70.

Para teorias científicas, ver: BRAITHWAITE, R.B., Op. cit., Cap. 1-3; BUNGE, Mario. Filosofia da Física. Lisboa, Edições 70, 1973, pp. 39-96 e 135-144; — La investigación científica, pp. 413-560; — Teoria e realidade, São Paulo, Perspectiva, 1974; HARRÉ, Romano. The principles of scientific thinking. London, Macmillan, 1970, cap. 2; HEGENBERG, Leônidas. Etapas da investigação científica, p. 79-114; HEMPEL, Carl G. Filosofia da ciência natural, pp. 92-108; KNELLER, George F. A ciência como atividade humana. Rio de Janeiro, Zahar, São Paulo, Ed. Universidade de São Paulo, 1980, cap. 6; NAGEL, Ernest. Op. cit., pp. 79. 152; MORGENBESSER, Sidney (org.). Filosofia da ciência. São Paulo, Cultrix, 1979, pp. 111-38; STEGMÜLLER, Wolfgang. Estructura y dinámica de teorías. Barcelona, Ariel, 1983 e Teoria y experiencia, Barcelona, Ariel, 1979.

Para uma defesa do realismo crítico e críticas ao instrumentalismo e operacionalismo, ver: BUNGE, Mario. Filosofia da física, pp. 11-23 e pp. 59-95; Racionalidad y realismo. pp. 41-88; POPPER, Karl. Conjecturas e refutações. Brasília, Ed. Universidade de Brasília, 1982, pp. 125-46; — Realism and the aim of science, pp. 111-58.

4.7. Notas e referências bibliográficas

- ¹ Cf. HEMPÉL, Carl G. Filosofia da ciência natural. pp. 68-70; e BUNGE, Mario. La investigación científica. pp. 562-4.
- ² Cf. HEMPEL, Carl G. Op. cit., p. 69.
- ³ Cf. NAGEL, Ernest. The structure of science, p. 17.
- ⁴ Cf. BUNGE, Mario. Causality and modern science, p. 214.
- ⁵ Cf. NICOLSON, Iain. Gravidade, buracos negros e o universo. Rio de Janeiro, Livraria Francisco Alves, pp. 214-21; e HEMPEL, Carl G. "Explicação científica", In: MORGENBESSER, Sidney (org.). Filosofia da ciência. p. 166.
- ⁶ Cf. BUNGE, Mario. La investigación científica, p. 275.
- ⁷ Cf. HEMPEL, Carl G. Filosofia da ciência natural. p. 166.
- ⁸ Cf. Ibid., p. 94.
- ⁹ Cf. Ibid., p. 73.

- ¹⁰ Cf. BUNGE, Mario. Causality and modern science, pp. 318-9.
- ¹¹ HEMPEL, Carl G. "Explicação científica", p. 167.
- ¹² LAPLACE, Pierre S. Essais philosophiques sur les probabilités. 2. ed. Paris, Bachelier, 1814, pp. 3-4.
- ¹³ Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., pp. 42-3 e p.68.
- ¹⁴ Cf. Ibid., p. 43.
- ¹⁵ Cf. Ibid., pp. 47-8.
- ¹⁶ Cf. Ibid., Treatise on basic philosophy. v. 3. Dordrecht, D. Reidel, 1977.
- ¹⁷ Id., Racionalidad y realismo. Madrid, Alianza, 1985, pp. 105-27.
- ¹⁸ Cf. Id., Causality and modern science, p. 13.
- ¹⁹ Cf. WATKINS, John. Science and scepticism, pp. 237-9.
- ²⁰ Cf. HEMPEL, Carl G. Filosofia da ciência natural, p.79.
- ²¹ Cf. WATKINS, John. Op. cit., p. 237-9.
- ²² Cf. Ibid., p. 239.
- ²³ Cf. Ibid., p. 246.
- ²⁴ Cf. LOSEE, John. Introdução histórica à filosofia da ciência, p. 23.

- ²⁵ Cf. WEDBERG, Anders. A history of philosophy. vol. 2, pp. 91-92.
- ²⁶ Cf. Ibid., p. 92.
- ²⁷ Cf. LOSEE, John. Op. cit., p. 23.
- ²⁸ WEDBERG, Anders. Op. cit., p. 90.
- ²⁹ BUNGE, Mario, Causality and modern science, p. 32.
- ³⁰ Cf. Ibid., p. 32.
- ³¹ HULL, L.W.H. Historia y filosofia de la ciencia. Barcelona, Ariel, 1984, pp. 65-6.
- ³² Cf. MAYR, Ernest. The growth of biological thought; diversity, evolution, and inheritance. Cambridge, Harvard University Press, 1982, p. 50.
- ³³ Cf. Ibid., p. 50.
- ³⁴ Cf. Ibid., pp. 72-3.
- ³⁵ Cf. Ibid., pp. 47-51.
- ³⁶ Cf. BUNGE, Mario. La investigación científica, p. 249.
- ³⁷ Cf. Ibid., p. 249.
- ³⁸ Cf. HEMPEL, Carl G. Op. cit., p. 28.
- ³⁹ Cf. Ibid., p. 27.
- ⁴⁰ Cf. POPPER, Karl. "Replies to my critics", p. 2031.

- ⁴¹ Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., pp. 271-2 e pp. 860-5.
- ⁴² Cf. Ibid., p. 861.
- ⁴³ Cf. Ibid., p. 271.
- ⁴⁴ Ibid., p. 274.
- ⁴⁵ Cf. STRAWSON, Peter R. Introduction to logical theory. London, Methuen, 1952, pp. 5-6.
- ⁴⁶ Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., p. 255.
- ⁴⁷ Cf. Ibid., p. 286.
- ⁴⁸ Cf. Ibid., p. 283.
- ⁴⁹ Cf. Ibid., pp. 275-6.
- ⁵⁰ Cf. Ibid., p. 276.
- ⁵¹ Ibid., p. 278.
- ⁵² Cf. Ibid., p. 281.
- ⁵³ Cf. HEMPEL, Carl G. Op. cit., p. 74.
- ⁵⁴ Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., p. 340.
- ⁵⁵ Cf. Ibid., p. 341.
- ⁵⁶ Cf. HEMPEL, Carl G. Op. cit., p. 74.
- ⁵⁷ Cf. Ibid., p. 74.
- ⁵⁸ Cf. Ibid., p. 74.

- ⁵⁹ Cf. HEMPEL, Carl G. Op. cit., p. 75; e GOODMAN, Nelson. Fact, fiction and forecast. London, Athlone Press, 1954, pp. 13-24.
- ⁶⁰ Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., p. 585.
- ⁶¹ Cf. Ibid., p. 353.
- ⁶² Cf. Ibid., p. 390.
- ⁶³ Cf. Ibid., p. 364.
- ⁶⁴ Cf. SCHLAGEL, Richard H. "A reasonable reply to Hume's scepticism". Brit. J. Phil: Sci. 35, 1984, pp. 359-74.
- ⁶⁵ Cf. BUNGE, Mario. Causality and modern science, pp. 108-9 e p. 150.
- ⁶⁶ Cf. POPPER, Karl. A lógica da investigação científica, p. 166.
- ⁶⁷ Cf. BUNGE, Mario. Racionalidad y realismo, p. 136.
- ⁶⁸ Cf. WATKINS, John. Op. cit., p. 232.
- ⁶⁹ O'HEAR, Anthony. Karl Popper. London, Routledge & Kegan Paul, 1980, p. 128.
- ⁷⁰ Cf. Ibid., p. 129.
- ⁷¹ ACKERMANN, Robert John. The philosophy of Karl Popper. Amherst, The University of Massachusetts Press, 1976, p. 71-7.
- ⁷² Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., p. 140.

- ⁷³ Cf. Ibid., p. 141
- ⁷⁴ Cf. O'HEAR, Anthony. Op. cit., p. 133 e POPPER, Karl. Realism and the aim of science, pp. 347-401.
- ⁷⁵ Cf. POPPER, Karl. "The propensity interpretation of the calculus of probability and the quantum theory" in KÖRNER, S. (ed.) Observation and interpretation. London, Butterworth scientific, 1957, pp. 65-70.
- ⁷⁶ Cf. Id. Conhecimento objetivo, p. 203
- ⁷⁷ Cf. BUNGE, Mario. La investigación científica, p.323.
- ⁷⁸ Cf. BUNGE, Mario. Causality and modern science, p. 14.
- ⁷⁹ Cf. Id., Teoria e realidade, p. 13.
- ⁸⁰ Cf. Id., p. 15.
- ⁸¹ Ibid., pp. 15-6.
- ⁸² Cf. LUCIE, Pierre. Física básica. 2.v, Rio de Janeiro, Campus, 1979, v. 1, p. 33-4.
- ⁸³ Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., p. 16.
- ⁸⁴ Cf. Ibid., p. 30.
- ⁸⁵ Cf. KNELLER, George F. A ciência como atividade humana, p. 138
- ⁸⁶ Cf. RUSSELL, John B. Química geral. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil, 1981, pp. 101-2.

- ⁸⁷ Cf. Ibid., pp. 865-6.
- ⁸⁸ Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., p. 16.
- ⁸⁹ Cf. Ibid., p. 14.
- ⁹⁰ Cf. Ib., La investigación científica, p. 507.
- ⁹¹ Cf. O'CONNOR, Rod. Fundamentos de química. São Paulo, Harper & Row, 1977, p. 159.
- ⁹² BUNGE, Mario. Op. cit., p. 416.
- ⁹³ Cf. BANFI, Antônio. Galileu. Lisboa, Edições 70, 1981, p. 34.
- ⁹⁴ BUNGE, Mario. Op. cit., pp. 493-4.
- ⁹⁵ Cf. Ibid., p. 425.
- ⁹⁶ Ibid., p. 438.
- ⁹⁷ Cf. Ibid., p. 425.
- ⁹⁸ Cf. Ibid., p. 448.
- ⁹⁹ Cf. Ibid., p. 426.
- ¹⁰⁰ Cf. BUNGE, Mario. Teoria e realidade, pp. 56-7.
- ¹⁰¹ Cf. Id., La investigación científica, p. 437.
- ¹⁰² Cf. Id., Teoria e realidade, p. 66.
- ¹⁰³ Cf. Id., La investigación científica, p. 512.
- ¹⁰⁴ Cf. Ibid., p. 513.

¹⁰⁵ Cf. KNELLER, George F. Op. cit., pp. 141-2.

¹⁰⁶ Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., p. 513.

¹⁰⁷ Cf. Id., Teoria e realidade, p. 18-24.

¹⁰⁸ Cf. Ibid., pp. 18-24.

¹⁰⁹ Cf. Ibid., p. 69.

¹¹⁰ Cf. Ibid., p. 69.

¹¹¹ Cf. Id., La investigación científica, pp. 544-5.

¹¹² Cf. Ibid., p. 432.

¹¹³ Cf. Id., Teoria e realidade, p. 87.

¹¹⁴ Cf. WEDBERG, Anders. Op. cit., v. 2, p. 122.

¹¹⁵ Cf. BUNGE, Mario. La investigación científica, pp. 717-9.

¹¹⁶ Cf. WATKINS, John. Op. cit., p. 262.

¹¹⁷ Cf. LINHARES, Sérgio & GEWANDSZNAJDER, Fernando. Biologia do organismo. São Paulo, Ática, 1981, pp. 57-9.

¹¹⁸ Cf. BUNGE, Mario. Ciência e desenvolvimento, pp. 96-7.

¹¹⁹ Cf. O'HEAR, Anthony. Op. cit., p. 92; BUNGE, Mario. Filosofia da física. Lisboa, Edições 70, 1973, p. 60.

¹²⁰ Cf. LOSEE, John. Op. cit., p. 190-4.

¹²¹ Cf. POPPER, Karl. Conjecturas e refutações, p. 140.

¹²² Cf. BUNGE, Mario. Filosofia da física, p. 18.

¹²³ Cf. POPPER, Karl. Op. cit., p. 141.

¹²⁴ Ibid., p. 145.

¹²⁵ Ibid., p. 144.

¹²⁶ Cf. BUNGE, Mario. Op. cit., p. 20.

¹²⁷ Ibid., p. 57.

¹²⁸ Cf. Ibid., p. 67; e BUNGE, Mario. Racionalidade e realismo, p. 80.

¹²⁹ Id., Filosofia da física, p. 14.

¹³⁰ Cf. Ibid., p. 95 e POPPER, Karl. Op. cit., pp. 125-46.