

# Introdução à Filosofia da Ciência<sup>1</sup>

Prof. Fabio Barbieri

A Filosofia da Economia é parte da Filosofia da Ciência em geral. Embora esta última se desenvolveu em larga medida tendo em vista reflexões a respeito das "ciências naturais", em especial a Física e a Astronomia, aquela se baseia com freqüência nas teorias desenvolvidas pela primeira, de modo que é conveniente que o leitor se familiarize com as principais discussões dessa disciplina antes que mergulhe no estudo das questões filosóficas próprias à Economia. Sendo assim, este capítulo inicial tem como objetivo introduzir algumas das principais teorias filosóficas a respeito da natureza da atividade científica, bem como noções básicas de lógica, necessárias para o entendimento dessas teorias. Para tal, utilizaremos como recurso expositivo uma breve narrativa histórica dos principais desenvolvimentos da Filosofia da Ciência.

Um bom ponto para iniciarmos nossa narrativa é a revolução científica ocorrida na Europa a partir do advento do heliocentrismo na Astronomia e o desenvolvimento da Mecânica Clássica na Física. Anterior à revolução, havia a predominância de uma visão de mundo calcada na autoridade de Aristóteles no que se refere às questões científicas. Com a revolução, a Cosmologia de Ptolomeu, que punha a Terra no centro de um universo composto por esferas celestes concêntricas, foi desafiada por Copérnico, Galileu, Kepler e outros, que afirmavam que a Terra se movia em torno do sol. A Física aristotélica, que acreditava que os corpos caíam em movimento uniforme conforme a busca destes pela sua posição natural na hierarquia dos elementos básicos (terra, água, ar e fogo) foi por sua vez substituída mecânica proposta por Newton, que explicava tanto o movimento dos corpos celestes quanto a queda dos corpos na superfície da Terra com uma aceleração constante.

Apesar do enorme sucesso explicativo e preditivo das novas teorias, como é bem sabido, estas foram rejeitadas e combatidas por críticos que, entre seus argumentos, utilizavam apelos as autoridades da Bíblia e de Aristóteles. O clérigo Osiander, por exemplo, no prefácio do livro de Copérnico, defendia a cosmologia antiga afirmando que o sistema heliocêntrico nada mais era do que um instrumento útil para fazer previsões sobre a posição dos planetas, e não uma descrição do que ocorria no mundo real<sup>2</sup>. Galileu, por sua vez, teve que renegar em público a crença de que a Terra se movia.

Esses eventos relacionados à Revolução Científica, bem como o dramático desenvolvimento das ciências naturais a partir de então, formaram o material a partir do qual desenvolveram-se teorias filosóficas a respeito da atividade científica<sup>3</sup>. Essas teorias contrastavam o dogmatismo daquilo que ficou conhecido como a visão escolástica de mundo, baseada no apelo a autoridades, como São Tomás de Aquino ou Aristóteles, com a nova ciência, que rejeitava o argumento de autoridade em favor do exercício próprio da razão e da observação empírica do mundo<sup>4</sup>. O sucesso dessa última abordagem, atestado ao longo do tempo pelo crescente número de corroborações empíricas e de aplicações tecnológicas derivadas dela, levou os filósofos a investigar a natureza do conhecimento científico racional que aflorava na Europa.

Para os filósofos e cientistas que investigaram o problema, o *status* privilegiado do conhecimento científico, em contraste com mera crença, seria derivado da capacidade do

---

<sup>1</sup> Texto preliminar. Não citar sem autorização do autor.

<sup>2</sup> Como veremos, essa postura metodológica será mais tarde denominada *instrumentalismo*.

<sup>3</sup> A escolha da revolução científica como ponto de partida para a nossa narrativa é claramente arbitrária, servindo a propósitos didáticos. De fato, tanto na Antiguidade (Aristóteles) quanto na Idade Média (Okham, Duns Scotus, entre outros) foram feitas contribuições importantes à Filosofia da Ciência.

<sup>4</sup> Embora em linhas gerais esse contraste seja verdadeiro, o leitor deve ter cuidado com o (infelizmente comum) hábito de caricaturizar as controvérsias, o que gera falsidades históricas. Os oponentes de Galileu, por exemplo, não eram simplórios: sem uma teoria sobre inércia, a defesa da hipótese de movimento terrestre enfrenta críticas poderosas. Da mesma forma, ao não abandonar a idéia de esferas celestes, Copérnico não pode refutar um argumento sobre a existência do geocentrismo. Para detalhes, ver Feyereband (1989).

primeiro ser justificado racionalmente. Tradicionalmente, os filósofos da ciência faziam uso de duas fontes supostamente capazes de fundamentar o conhecimento científico: o apelo à observação dos fatos e o apelo à razão. Vejamos agora as idéias de dois filósofos – Francis Bacon e René Descartes – que enfatizam em suas visões de ciência cada um desses dois fatores.

Francis Bacon (1561-1626) ficou conhecido como o principal advogado da nova ciência e feroz inimigo das idéias aristotélicas reinantes na época. Sua obra principal, o *Novum Organum* – "nova ferramenta" – faz referência ao *Organum* de Aristóteles, a coleção dos escritos sobre lógica deste autor, a qual Bacon pretendia substituir como guia à prática científica. O aristotelismo, segundo Bacon, fazia afirmações com base em idéias pré-concebidas, sem fundamento na observação da realidade. Dado um objeto de investigação, preferia-se olhar o que Aristóteles e outros tinham a dizer a respeito do que de fato observar o mundo. A nova ciência, pelo contrário, deveria abandonar essas "antecipações da natureza". O cientista deveria partir da observação cuidadosa e imparcial dos dados do mundo real. Para tal, deve evitar distorções (ou vieses) as quais está expostos no processo de coleta de dados<sup>5</sup>.

Na posse de dados depurados dessas distorções, o cientista deve realizar inferências a respeito de relações entre esses dados, de forma a identificar leis da natureza. Essas inferências, para Bacon, são de natureza indutiva.

Aqui nos deparamos com os primeiros elementos de lógica que devemos considerar. A lógica trata de argumentos ou raciocínios, compostos por *premissas*, que são proposições (enunciados) dos quais partimos em um raciocínio lógico, e *conclusões*, que são proposições derivadas das primeiras. Os raciocínios indutivos, que consideraremos agora, têm como premissas uma coleção de observações particulares, a partir dos quais derivamos uma conclusão de natureza geral. Como exemplo, considere o seguinte argumento indutivo por enumeração:

premissas: o cisne  $c_1$  é branco; o cisne  $c_2$  é branco; ...; o cisne  $c_{200}$  é branco.

conclusão: todo cisne é branco.

A partir da observação de um número suficientemente grande de cisnes brancos, podemos inferir indutivamente uma proposição universal a respeito da cor de todos os cisnes.

Voltando ao método proposto por Bacon, a partir dos dados observados na natureza, devemos utilizar raciocínios indutivos de modo a obter correlações entre os mesmos. Eliminando correlações espúrias ou falsas, como aquela que existe entre o uso de isqueiros e câncer de pulmão, chegamos as leis da natureza. A partir de novas inferências, baseadas nas primeiras, obtemos generalizações cada vez mais amplas. O progresso da ciência dar-se-ia pelo acúmulo de generalizações indutivas obtidas na medida em que novos fatos são observados por cientistas imparciais. A visão indutivista da ciência, tal como formulada por Bacon, dominou a Filosofia da Ciência até o primeiro terço do século vinte, e até hoje é em essência a visão que os leigos têm a respeito do método científico.

A outra tradição racionalista sobre a natureza da ciência é ilustrada pela filosofia de René Descartes (1596-1650), tal como expressa em seu livro *O Discurso do Método*. Para Descartes, a natureza racional do conhecimento científico não é derivado dos dados, que sempre podem nos enganar, mas do uso judicioso da razão. A obtenção de conhecimento justificado deve partir inicialmente de uma atitude cética, de dúvida, em relação a todo conhecimento recebido. O estudioso só deve aceitar aquilo que for derivado logicamente de princípios indubitáveis. Deve-se então buscar premissas para os argumentos que sejam claramente verdadeiras, cuja negação

---

<sup>5</sup> O autor figurativamente classifica tais distorções conforme sejam causados por quatro tipos de "ídolos": 1) as distorções as quais todos os homens estão sujeitos (ídolos da tribo), como a tendência de valorizar sucessos e esquecer os fracassos. Esse viés, por exemplo, permite que a reputação de advinhos seja mantida, na medida em que só lembramos de suas "profecias" que de fato se realizaram; 2) as distorções causadas pela formação e experiências prévias de cada um (ídolos da caverna); 3) as distorções atribuídas à linguagem (ídolos do mercado) e 4) aquelas causadas pela autoridades de autores consagrados, como Aristóteles (ídolos do teatro).

sequer possa ser imaginada. A partir dessas premissas construímos inferências lógicas de natureza dedutiva que resultam em conclusões necessariamente verdadeiras. Para entender essa última afirmação, devemos considerar por seu turno os argumentos lógicos dedutivos.

Em um argumento dedutivo *válido*, se as premissas forem verdadeiras, garantimos que as conclusões também o serão. Tomemos como exemplo o famoso silogismo categórico descrito por Aristóteles:

Todo homem é mortal.	← premissa
<u>Sócrates é homem.</u>	← premissa
Logo, Sócrates é mortal.	← conclusão

Nesse argumento a conclusão já está contida nas premissas de forma implícita, não dizendo, sob certo sentido, algo de novo sobre o mundo. No argumento indutivo, pelo contrário, a conclusão é uma proposição que expande o nosso conhecimento, na medida em que afirma algo novo. Em compensação, apenas os argumentos dedutivos são estritamente válidos, de forma que temos certeza que a conclusão é verdadeira se confiarmos na veracidade das premissas, ao passo que no raciocínio indutivo a conclusão é apenas provável.

A forma de um argumento lógico deve ser separada de seu conteúdo. Se trocarmos as proposições do exemplo acima por "Todo vulcano tem orelhas pontudas", "Spock é vulcano" e "Logo, Spock tem orelhas pontudas", temos a mesma forma de argumento, um silogismo categórico.

Devemos também distinguir argumentos válidos de argumentos verdadeiros. Um argumento é verdadeiro se for logicamente válido e ao mesmo tempo suas premissas forem verdadeiras. Tomando o argumento acima, imagine que a segunda premissa seja falsa, de modo que Spock seja um híbrido de terráqueo e vulcano. Embora o argumento seja logicamente válido, não é verdadeiro, pois, como temos uma premissa falsa, a conclusão pode tanto ser falsa como verdadeira (no caso, ela é verdadeira). Esse exemplo ilustra a afirmação que um argumento válido transmite com certeza a verdade das premissas para as conclusões. Se alguma premissa não for válida, nada podemos dizer a respeito da conclusão utilizando apenas o raciocínio lógico.

Existem vários tipos de formas de argumentos válidos. Por ora, considere apenas um exemplo:

Vulcanos e romulanos têm orelhas pontudas.  
Kirk tem orelhas arredondadas  
Logo, Kirk não é vulcano nem romulano.

Da mesma forma que existem inúmeros argumentos válidos, existem argumentos não válidos, ditos *falaciosos*. Considere o seguinte argumento:

Vulcanos e romulanos têm orelhas pontudas.  
Legolas tem orelhas pontudas  
Logo, Legolas é vulcano ou romulano.

O argumento é evidentemente falacioso, pois duas premissas verdadeiras geraram uma conclusão falsa, contrariando a definição de argumento válido. Legolas, na verdade, é um elfo. O argumento só seria válido se a primeira premissa afirmasse que apenas romulanos ou vulcanos têm orelhas pontudas. Para aqueles que acreditam em elfos, neste caso o argumento seria válido, mas não verdadeiro, pois a primeira premissa seria falsa.

Da nossa discussão podemos notar que a Lógica trata apenas da validade dos argumentos, enquanto a ciência trata também da veracidade dos mesmos. Podemos agora entender porque na visão de Descartes é crucial partir de premissas indubitáveis. O autor acreditava que a premissa *Cogito, ergo sum* (penso, logo existo) atende a esse requisito e a partir dela poderia derivar dedutivamente afirmações verdadeiras sobre a existência de Deus, do mundo, sobre as leis da Física e das demais ciências.

Descartes sugere no seu livro um método de investigação que lembra a maneira como uma criança desmonta um aparelho e o monta novamente, de forma a entender o seu princípio de funcionamento. Inicialmente separa-se um fenômeno complexo que se quer estudar em partes menores. Durante o estudo de cada uma dessas partes, pela sua maior simplicidade, o investigador pode buscar princípios indubitáveis a partir dos quais é possível realizar inferências dedutivas verdadeiras. Finalmente, o investigador pode unir as conclusões particulares obtidas em cada parte, de forma a poder entender todos os casos complexos derivados da composição de seus elementos.

A busca de fundamentações empírico-indutivista ou racional-dedutivista para a ciência, aqui apresentadas separadamente, foram muitas vezes combinadas em diversos graus. Na opinião do próprio Aristóteles, por exemplo, a ciência é composta por argumentos dedutivos utilizados para explicar e prever os fenômenos; mas as premissas, por sua vez, são obtidas por observação e generalização indutiva. Ao longo do desenvolvimento da Filosofia da Ciência, contudo, formaram-se tradições de análise que conferem um papel maior para o um ou outro desses elementos.

Um grande impulso para a construção de uma filosofia da ciência empiricista foi dado por uma corrente filosófica conhecida por Empirismo Inglês, constituída por autores como Locke, Berkeley e Hume, este último também economista e amigo de Adam Smith. Locke (1632-1704), em oposição a Descartes, rejeita a possibilidade de se obter conhecimento sobre o mundo externo com base apenas na razão. Para ele, pelo contrário, a única fonte do conhecimento humano é a experiência. Idéias, como formas e cores, são conceitos oriundos da observação e são compostos na mente para formar, por exemplo, a idéia de um cubo verde. Para Locke, a mente funciona como uma *tabula rasa*, uma folha em branco na qual são impressos os dados obtidos por meio dos sentidos. As diferenças entre o pensamento de duas pessoas são explicados pelo histórico diferente de acúmulo de impressões a que cada um foi exposto ao longo da vida.

Para Hume (1711-1776), o conhecimento que não for derivado de conceitos obtidos por meio de observação é rejeitado como algo sem sentido. Quando dizemos que um fenômeno é a causa de outro, por exemplo, tudo o que podemos dizer é que os eventos se sucedem ou ocorrem ao mesmo tempo. Supor um significado para causalidade diferente disso seria utilizar conceitos que não têm embasamento em elementos observáveis e portanto deve ser descartado como sem sentido. A rejeição de conceitos "meramente metafísicos", não calcados na experiência, é uma idéia que exercerá enorme influência no desenvolvimento posterior da Filosofia da Ciência.

Os empiristas ingleses professavam um grau de cepticismo em relação a capacidade cognitiva humana. Hume, no seu *Tratado da Natureza Humana*, argumentou que não existe justificação para inferências indutivas. O fato de que até agora sempre que soltamos uma rocha ela caiu não garante que isso ocorrerá na próxima vez. A expectativa que isso de fato ocorrerá depende da nossa crença de que o mundo é uniforme, ou seja, de que o futuro será igual ao passado. Mas essa crença depende da observação de pedras continuando a cair, por exemplo. Isso envolve um raciocínio circular no que se refere a justificação do procedimento indutivo. Embora a indução não possa ser justificada, como empirista, Hume defende a idéia que as pessoas, movidas pelo hábito, pela crença na continuidade do mundo, de fato devem continuar a fazer inferências indutivas.

Duas gerações depois, o filósofo e economista John Stuart Mill (1806-1873) seguiu a tradição inglesa de empirismo em ciência. Em seu *System of Logic*, Mill defendeu a tese de que a ciência segue o método indutivo, desenvolvendo e sistematizando as diferentes formas de argumento indutivo tratadas na Idade Média. Além da indução por enumeração que já consideramos, existem outras formas de chegarmos a conclusões derivadas de proposições particulares. Considere que uma planta contenha 10 agentes químicos, possíveis candidatos a princípio ativo de um remédio. Utilizando o chamado *método da concordância*, podemos listar como premissas vários compostos que contenham combinações diferentes desses agentes e que curaram os pacientes e concluir então que aquele agente presente em todos os casos de cura é o princípio ativo. Ou, pelo *método das diferenças*, observar se a subtração de um agente em algumas

misturas impediu a cura, de modo a concluir que se trata do princípio ativo. Podemos também combinar esses métodos ou ainda alterar a intensidade ou quantidade com a qual um fator está presente, por exemplo, aumentando a dose de um remédio e observando se os sintomas aumentam ou diminuem.

Uma espécie de síntese entre as tradições empiricista e racionalista pode ser encontrada na *Crítica da Razão Pura*, escrita pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804). Para esse autor, o conhecimento científico não seria composto nem pelo acúmulo na *tabula rasa* de nossas mentes de dados que fidedignamente representam a realidade exterior, nem seria fruto de um processo puro de raciocínio. O conhecimento sem dúvida seria baseado na experiência, mas a natureza de nossas mentes influencia a maneira como percebemos o mundo: a nossa percepção é moldada por categorias mentais que são anteriores à observação. Criaturas diferentes observariam o mesmo mundo de forma diferente, conforme muda a forma como as mesmas percebem o mundo, como se possuíssem "óculos" de tipos diferentes.

Para desenvolver essa idéia, precisamos empregar dois pares de conceitos definidos por Kant e que serão mencionados com freqüência na filosofia da ciência a partir de então. Em primeiro lugar, o conhecimento pode ser *a priori* ou *a posteriori*. O conhecimento a priori é baseado apenas na razão, sendo aplicável de forma universal. Conhecimento a posteriori, por sua vez, é baseado na observação e portanto aplicável em geral a casos particulares. Em segundo lugar, o conhecimento pode ser *analítico* ou *sintético*. Nas proposições analíticas, o predicado está contido no objeto, enquanto nas sintéticas isso não ocorre. Nas frases "Todo solteiro é não casado" e "Todo triângulo têm três lados", as idéias de não casado e três lados já estão incluídas na idéia de solteiro e triângulo, ao passo que nas frases "Este solteiro tem 40 anos" e "Este triângulo é equilátero" isso não ocorre.

A combinação desses dois pares de conceitos resulta em três categorias possíveis de proposições<sup>6</sup>: analíticas a priori, como as definições; sintéticas a posteriori, como afirmativas sobre fatos e sintéticas a priori. Racionalistas e empiricistas reconhecem apenas as duas primeiras categorias, enquanto Kant chama a atenção para a terceira. As proposições da geometria, por exemplo, seriam sintéticas a priori. O conhecimento de que a soma dos ângulos de um triângulo é igual a 180 graus não está contido no conceito de triângulo, portanto seria uma proposição sintética. Como vale para todo triângulo e não foi derivado pela medição de triângulos concretos, é a priori. Além da geometria, certos conceitos das ciências e da matemática seriam também sintéticos a priori.

As proposições dessa natureza são fundamentais na síntese proposta por Kant: a nossa experiência do mundo é possível devido ao fato de que a mente impõe uma estrutura anterior a percepção dos fatos. : as idéias de tempo e espaço, por exemplo, são inerentes a nossa maneira de perceber o mundo e não precisam portanto de justificação por observação para que obtenhamos conhecimento verdadeiros sobre todos os triângulos.

Durante o século vinte, as tradições empiricista e racionalistas tiveram continuidade, bem como filosofias que combinavam essas duas tradições de diversas maneiras. Esses desenvolvimentos, contudo, tiveram que aguardar o desenvolvimento da Lógica. De fato, a Filosofia da Ciência moderna fez uso extenso de argumentos da Lógica, que fora formalizada por autores como Gottlob Frege (1848-1925). Para entendermos a Filosofia da Ciência moderna, faremos nossa terceira e última pausa para tratar de noções de *lógica simbólica*.

A lógica moderna representa as proposições existentes nos argumentos – tanto premissas quanto conclusões - por meio de símbolos, daí a denominação "lógica simbólica". As proposições mais simples, denominadas elementares (ou atômicas) são representadas por letras minúsculas (p, q, r, ...) e são combinadas em proposições compostas (ou moleculares) por meio de conectivos lógicos: negação ("não":  $\neg$ ), conjunção ("e":  $\wedge$ ), disjunção ("ou":  $\vee$ ), implicação unidirecional ("se...então...":  $\rightarrow$ ) e implicação bidirecional ("se e somente se":  $\leftrightarrow$ ). Assim, se quisermos

---

<sup>6</sup> Não faz sentido falar em conhecimento analítico a posteriori, já que definições não requerem confirmações.

representar simbolicamente a premissa "Todo homem é mortal" de nosso conhecido silogismo categórico, podemos reescrever a premissa como "Se algo é humano, então é mortal", representar homem por h e mortal por m, de modo que a premissa assume a forma simples:  $h \rightarrow m$ .

As proposições atômicas assumem um de dois possíveis *valores verdade*: podem ser verdadeiras (V) ou falsas (F). As proposições moleculares, por sua vez, têm o seu valor verdade determinado pelos valores das proposições atômicas que as compõem e do significado dos conectivos lógicos que conectam estas últimas. Se p for verdadeira, a sua negação,  $\neg p$ , será falsa e vice-versa. A proposição composta  $p \wedge q$  ("p e q"), por sua vez, só será verdadeira se ambas as proposições elementares foram verdadeiras, caso contrário, será falsa.

Considere, por exemplo que p significa "paulista" e q "brasileiro". Neste caso, existem quatro possibilidades a respeito de proposições compostas por p e q: um indivíduo pode ser paulista e brasileiro (VV), paulista e estrangeiro (VF), não paulista e brasileiro (FV) e não paulista e não brasileiro (FF). As quatro possibilidades são listadas no quadro abaixo, denominado *tabela verdade*.

p	q	$\neg p$	$p \wedge q$	$p \vee q$	$p \rightarrow q$	$p \leftrightarrow q$
V	V	F	V	V	V	V
V	F	F	F	V	F	F
F	V	V	F	V	V	F
F	F	V	F	F	V	V

Repare que sob a coluna  $p \wedge q$  (certo indivíduo é paulista e brasileiro), apenas a primeira linha é assinalada com um V. A proposição  $p \vee q$  ("p ou q"), por outro lado, exige que pelo menos uma das proposições sejam verdadeiras, ou seja, será uma proposição falsa apenas no caso do indivíduo ser não paulista e não brasileiro. A proposição  $p \rightarrow q$ , que pode ser lida como "se é paulista, então é brasileiro", ou "ser paulista implica em ser brasileiro", ou "todo paulista é brasileiro", ou "ser paulista é condição suficiente para ser brasileiro" ou ainda "ser brasileiro é condição necessária para ser paulista". Na tabela verdade correspondente, apenas a segunda linha assinala um F. Isso significa que a única forma de negar a afirmação de que todo paulista é brasileiro é mostrar uma cidade que está no estado de São Paulo, mas é território paraguaio, por exemplo. A apresentação de uma catarinense (terceira linha) ou de um austríaco (quarta linha) nada dizem contra a afirmação de que todo paulista é brasileiro. A última coluna trata do caso de proposições que implicam a outra, de modo que são negadas se uma for verdadeira e a outra não.

Em lógica, definimos uma *tautologia* como uma proposição cuja tabela verdade apresenta V em todas as suas linhas e uma *contradição* como uma proposição com F em todas as linhas. Seja p a proposição "Isto é uma tesoura". Considere agora a seguinte tabela verdade:

p	$\neg p$	$p \vee \neg p$	$p \wedge \neg p$	$\neg(p \wedge \neg p)$
V	F	V	F	V
F	V	V	F	V

A proposição da terceira coluna, "Isto é uma tesoura ou não é uma tesoura" é uma tautologia conhecida como *princípio do terceiro excluído*, que no caso afirma que algo ou é ou não é uma tesoura. A penúltima coluna, "isto é e ao mesmo tempo não é uma tesoura", por sua vez é uma contradição, como podemos ver pela sua tabela verdade. A negação dessa proposição, por sua vez, é uma tautologia conhecida como *princípio da não contradição*.

Vejam agora como, com o auxílio de tabelas verdade, podemos determinar se um argumento é logicamente válido ou não. Considere dois argumentos lógicos importantes, conhecidos como *modus ponens* e *modus tollens*. O primeiro afirma que, por exemplo, partindo das premissas de que a) se uma causa p está presente, a consequência q sempre ocorre e b) sabemos que p de fato ocorreu, então podemos concluir com certeza que q também ocorrerá. Por sua vez, podemos expressar como um *modus tollens* o argumento de que se uma teoria p implica na previsão q e

essa previsão falhou, ou seja a negação de  $q$  ocorreu, então a teoria  $p$  está errada. Este argumento, a respeito da rejeição de teorias, será fundamental nas discussões que faremos adiante. Contudo, porém, vamos nos ater por ora no aspecto puramente formal dos argumentos. Em seguida representamos simbolicamente os dois argumentos, bem como as respectivas tabelas verdade:

*modus ponens*

$$\begin{array}{l} p \rightarrow q \\ \underline{p} \\ q \end{array}$$

*modus tollens*

$$\begin{array}{l} p \rightarrow q \\ \underline{\neg q} \\ \neg p \end{array}$$

premissa	conclusão	premissa
p	q	$p \rightarrow q$
V	V	V
V	F	F
F	V	V
F	F	V

		premissa	premissa	conclusão
p	q	$p \rightarrow q$	$\neg q$	$\neg p$
V	V	V	F	F
V	F	F	V	F
F	V	V	F	V
F	F	V	V	V

Um argumento é logicamente válido se toda vez que as premissas forem verdadeiras, as conclusões também serão. Através da inspeção da tabela verdade, observamos que nos dois casos temos apenas uma linha em cada tabela na qual ambas as premissas são verdadeiras, a linha sombreada. Nesses casos, como a conclusão também é verdadeira, concluímos que os argumentos são válidos. Podemos verificar pela inspeção da mesma tabela que o argumento com as premissas  $(p \rightarrow q)$  e  $(\neg p)$  e conclusão  $(\neg q)$  é falacioso, pois nas duas últimas linhas as premissas são verdadeiras, mas apenas na última a conclusão também o é, de modo que nem sempre a verdade é transmitida das premissas para a conclusão.

Boa parte da Filosofia da Ciência no começo do século vinte, como já notamos, busca inspiração não apenas na Física, mas na Lógica e na Matemática. Com efeito, a primeira contribuição à disciplina que consideraremos foi dada pelo físico e matemático Jules Henri Poincaré (1854-1912), que defendeu uma doutrina filosófica conhecida como *convencionalismo*. Esta doutrina, posteriormente aplicada à Mecânica Clássica, foi inicialmente elaborada tendo em vista desenvolvimentos da Geometria. A geometria euclidiana, aquela que estudamos no ensino médio, foi aceita por séculos como uma descrição correta do espaço físico. Um de seus *axiomas*, ou postulados fundamentais, afirma que, dado uma reta  $r$  e um ponto  $p$  quaisquer, existe apenas uma única reta paralela a  $r$  passando por  $p$ . A troca desse axioma por outro que afirma que não passa nenhuma paralela ou ainda outro axioma que afirma que passam mais do que uma paralela deveria gerar teoremas inconsistentes entre si. Contudo, ao contrário do que se esperava, os matemáticos mostraram que com esses novos postulados podemos de fato construir geometrias alternativas que não geram contradições. A teoria da relatividade proposta por Einstein, adicionalmente, utilizou uma dessas geometrias.

Com base nesses desenvolvimentos, Poincaré criticou tanto a hipótese de que a geometria euclidiana seria derivada empiricamente da experiência quanto a hipótese que fosse conhecimento válido *a priori*. Para Poincaré, os postulados da geometria são apenas convenções úteis. As teorias físicas poderiam ser expressas com maior ou menor simplicidade utilizando-se várias geometrias. A escolha do uso de uma delas seria pautada por conveniência, não pelo fato de que uma delas seria verdadeira. Da mesma forma, para o autor, as leis da mecânica clássica seriam também definições convenientes ou convenções e não conhecimento dado *a priori* ou derivado empiricamente. Experimentos empíricos não poderiam jamais levar ao abandono desses postulados, já que estes são construídos de maneira tal que são sempre válidos.

Outro cientista francês, Pierre Duhem (1861-1916), também desenvolveu em *O Objetivo e a Estrutura da Teoria Física* uma filosofia que se afastava do empirismo indutivista. Como Poincaré, Duhem negava que os postulados da mecânica clássica fossem derivados empiricamente. Embora o próprio autor dessa teoria, Isaac Newton, acreditasse que a sua lei da

gravitação<sup>7</sup> fosse derivada das leis empíricas descobertas por Kepler<sup>8</sup> a respeito do movimento dos planetas, Duhem notou que as leis de Kepler não utilizavam os conceitos de força ou massa, próprias da teoria newtoniana. Além disso, as duas leis de Kepler contradiziam empiricamente: os planetas deveriam se mover em órbitas elípticas para Kepler e em órbitas elípticas com desvios causados por forças de atração dos outros planetas.

Duhem notou também que um experimento físico não envolve a observação pura de um fenômeno, mas também a interpretação teórica do mesmo. Como exemplo, considere o fato de que um médico "vê" coisas em um exame de ultra-som que parecem apenas borrões para um leigo. Quando usamos um instrumento para fazer uma observação científica, como um microscópio ou um telescópio, a interpretação teórica do fenômeno nos ensina a atribuir as aberrações cromáticas observadas ao instrumento, e não ao objeto de estudo. Esse ponto é conhecido modernamente como a tese de que os dados observacionais não são entidades independentes, objetivas, mas são impregnadas de noções teóricas (*theory-laden*). Não existiria então dados sem teoria, ou anteriores a mesma, como quer a tradição empiricista.

A contribuição mais conhecida de Duhem, porém, trata da impossibilidade de que uma hipótese científica seja rejeitada definitivamente pela observação dos fatos. Segundo o *modus tollens*, se uma hipótese teórica implica em uma previsão e esta não ocorre, concluímos que a teoria está errada. Porém, nunca testamos uma hipótese isoladamente, mas sempre em conjunto com uma série de hipóteses auxiliares. A mecânica newtoniana, por exemplo, previa de forma incorreta a órbita de Urano. Em vez de rejeitar a teoria, os astrônomos descobriram que estava errada a hipótese auxiliar de que não existiria outro planeta além daquele. O sistema foi então alterado para incluir a hipótese de que existiria outro planeta responsável pelas anomalias na órbita. Tal hipótese levou a descoberta de Netuno e o mesmo método foi utilizado na descoberta de Plutão. Entretanto, diante de anomalias na órbita de Mercúrio, o procedimento de postular um novo planeta, Vulcano, falhou e a teoria em si foi substituída pela teoria da relatividade. Esse exemplo mostra que, se várias hipóteses são testadas ao mesmo tempo, não temos certeza qual delas deve ser descartada<sup>9</sup>.

Com base nesse argumento, Duhem se distancia do convencionalismo de Poincaré: de fato, como este apontara, não é possível rejeitar empiricamente alguma hipótese da mecânica clássica. Contudo, as hipóteses são testadas em conjunto e, apesar de nunca podermos saber com certeza que parte do sistema é responsável pelo fracasso da teoria, o uso do bom senso, sem dúvida um fator extra-lógico, indica que hipóteses devem ser descartadas. Como ilustra o exemplo histórico que acabamos de mencionar, de fato foi possível identificar ao longo do tempo que hipóteses deveriam ser modificadas.

Talvez o mais influente filósofo da ciência na virada do século tenha sido o físico Ernst Mach (1838-1916), cujo nome é popularmente conhecido devido a sua associação com a velocidade do som. Mach entendia o desenvolvimento da ciência segundo a ótica da teoria da evolução das espécies de Darwin. As teorias científicas seriam mais uma etapa no processo de adaptação dos seres vivos ao ambiente. Nesse sentido, uma reação adequada de um animal a algum estímulo ambiental pode ser disparada por mecanismos progressivamente mais sofisticados: a) por uma ação instintiva gravada nos genes do animal b) pela memória que os indivíduos experimentam de eventos passados semelhantes c) por idéias e teorias que desenvolvem sobre o ambiente. As teorias seriam então ferramentas úteis para lidar com o mundo que os seres humanos desenvolveram através de um processo evolutivo.

---

<sup>7</sup> A lei da gravitação de Newton afirma que dois corpos se atraem segundo uma força proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

<sup>8</sup> As leis de Kepler afirmavam que: 1) a órbita dos planetas eram elipses, com o sol em um dos focos; 2) a linha que ligava o sol ao planeta varria áreas iguais em tempos iguais e 3) a razão entre os períodos de rotação de dois planetas é proporcional à razão entre o cubo das suas distâncias médias em relação ao sol.

<sup>9</sup> Quine (1951) formula argumento semelhante, de modo que o argumento ficou conhecido como a tese Duhem - Quine.

A ciência não apenas surgiu de maneira evolutiva, mas também seu desenvolvimento assume a forma evolutiva. Teorias são criadas com base em sorte, em experiência, ou em qualquer outra influência. Essas teorias são por sua vez testadas segundo a concordância com os fatos, de modo a evoluírem por seleção.

Da mesma maneira que a natureza, na qual os seres vivos lutam por recursos escassos para se manterem vivos, a ciência também adota um princípio de economia. A ciência deve oferecer uma descrição da natureza de forma mais econômica possível, ou seja, utilizando o mínimo de "custo" em termos de pensamento, de forma a organizar as impressões sensoriais que nos deparamos com o menor aparato intelectual possível. A teoria científica economiza experiência através da reprodução e antecipação dos fatos no pensamento. O emprego de um sistema de mira de um canhão que utiliza as equações que descrevem o movimento de uma bala de canhão, por exemplo, permite um ganho de eficiência em comparação com um processo baseado apenas em um processo de tentativas e erros. A ciência auxilia então o ser humano na sua tarefa de adaptação ao meio.

Algo que reduz a capacidade de organizar os dados observacionais de forma relativamente eficiente é o uso de conceitos supérfluos sob o ponto de vista da economia de conhecimento. Para Mach, seria inútil a discussão sobre a existência de uma realidade subjacente a conceitos como o "átomo". O progresso da ciência levaria a eliminação de termos dessa natureza. Este conceito só teria valor se aumentar a capacidade do cientista de organizar os dados sensoriais, gerando, por exemplo, uma maior capacidade preditiva da teoria. A doutrina segundo a qual uma hipótese tem valor não segundo sua capacidade de explicar a "realidade", mas sim conforme sua capacidade de fazer previsões, é denominada *instrumentalismo*.

O começo do século vinte também testemunhou o desenvolvimento de uma outra doutrina correlata, denominada *operacionalismo*. Seu principal expositor, P. W. Bridgman (1883-1961), defendia a tese central do operacionalismo, segundo a qual a ciência deveria utilizar apenas conceitos que possam ser definidos em termos de operações físicas de medida. O conceito de "força" da Física, por exemplo, não deve ser visto em termos de alguma entidade que explique a essência desse conceito, mas deve ser definido de maneira operacional, em termos das equações da Mecânica, de modo que podemos calcular forças por meio de medidas de massas e acelerações. Não existe, acrescenta o autor, um significado para os conceitos além das próprias operações de medida. Conceitos que não puderem ser definidos dessa maneira, como "espaço absoluto", deveriam ser excluídos da prática científica.

Algumas das idéias de Mach tiveram profundo impacto na Filosofia da Ciência no início do século vinte, cujas primeiras décadas testemunhou o surgimento do *positivismo lógico*, uma doutrina filosófica que aliava a tradição empiricista com o emprego de análise da lógica formal. Tal doutrina teve origem em um grupo de intelectuais que se reuniam em Viena na Áustria para discutir questões filosóficas relativas à ciência. Liderados por Moritz Schlick, professor da universidade daquela cidade, o grupo contava com eminentes pensadores como o matemático Karl Menger, filho do economista Carl Menger, o lógico Kurt Gödel, o economista Otto Neurath e o filósofo Rudolf Carnap, o principal porta voz do grupo. Embora tenham fundado a Sociedade Ernst Mach com o propósito de divulgar suas idéias, o grupo ficou mais conhecido como o *Círculo de Viena*<sup>10</sup>.

Além de Mach, o positivismo lógico foi influenciado por diversos autores, em especial Bertrand Russell e Ludwig Wittgenstein. Russell (1872-1970), assim como os positivistas lógicos após ele, filia-se ao empiricismo, crendo no caráter indutivo do aprendizado científico. O autor nota que a Matemática, porém, não parece derivada de observação. Russell procurou então mostrar que a essa disciplina poderia ser expressa em termos de lógica formal. Reduzida à Lógica, a Matemática tem a natureza de conhecimento tautológico, cuja validade independe de

---

<sup>10</sup> Além do círculo de Viena, o positivismo lógico era composto também por um grupo estabelecido em Berlim (a *Sociedade pela Filosofia Empírica*), liderado por Hans Reichenbach. Com o advento do nazismo e da segunda guerra mundial, a tradição continuou a ser desenvolvida a partir dos países de língua inglesa.

observação empírica. O conhecimento humano seria então composto tanto de convenções lógicas e matemáticas, de caráter tautológico e de afirmações com conteúdo empírico.

Wittgenstein (1889-1951), que teve Russell como uma espécie de tutor intelectual, também influenciou o positivismo lógico através do seu *Tractatus Logico-Philosophicus*, que foi lido em voz alta pelo Círculo de Viena. Uma idéia central deste livro foi discutir um critério de significado para os termos. Possuem significado proposições elementares que afirmem a existência de algum fato observável e também proposições compostas que relacionem através de operadores lógicos as proposições elementares. Para Wittgenstein, todo o resto seria proposições metafísicas sem significado. Os problemas éticos, por exemplo, seriam pseudo-problemas derivados de ambigüidades no uso da linguagem. Devemos salientar que, segundo o critério do autor, uma frase como "Existe vida após a morte" seria sem sentido, mas não necessariamente falsa. Wittgenstein, contudo, defendia a tese de que os filósofos deveriam se ater apenas a discussão de problemas derivados de proposições com significado.

As idéias de Mach, Russell e Wittgenstein foram combinadas na visão de mundo dos positivistas lógicos. Essa visão é bem resumida no manifesto do grupo, escrito por Otto Neurath (1882- 1945), intitulado *A Concepção Científica do Mundo: o Círculo de Viena*. A leitura desse manifesto revela o repúdio do grupo à linguagem obscurantista encontrada em boa parte da filosofia moderna e a defesa de uma filosofia que promova o desenvolvimento do conhecimento racional em bases científicas. Podemos ler nesse texto que o objetivo a ser almejado é a construção de uma "ciência unificada" – todos os campos de investigação deveriam exprimir seus resultados em uma linguagem simbólica clara, de modo que os resultados possam ser avaliados por todos, intersubjetivamente. Para tal, as proposições da ciência deveriam ser baseadas apenas naquilo que é observado, dado a todos de forma imediata. Isso porque não se pode conhecer nada daquilo que não pode ser observado. Rejeita-se assim a idéia de realidades mais profundas, insondáveis por meios experimentais. Como em Wittgenstein, rejeita-se tudo aquilo que não for acessível por observação como especulação metafísica sem sentido. As idéias metafísicas, segundo os positivistas lógicos, não expressam nada além de um estado de espírito, e o veículo adequado para esse tipo de expressão deveria ser a arte, e não a argumentação racional.

A filosofia deveria então abandonar a metafísica e se dedicar a tarefa de clarificação lógica dos conceitos empregados pela ciência. Segundo uma passagem frequentemente citada do manifesto, a visão científica de mundo seria então caracterizada pelo empiricismo, segundo o qual só existe conhecimento obtido por meio da experiência e pelo emprego da análise lógica ao material empírico.

Dessa maneira, são admitidos no discurso científico proposições de duas naturezas: proposições analíticas a priori, como tautologias lógicas e proposições sintéticas a posteriori, como afirmações sobre fatos empíricos. Rejeita-se a crença de Kant na existência de proposições sintéticas a priori. A matemática e a lógica seriam então conhecimento composto por tautologias. Para Rudolf Carnap (1891-1970), a ciência deve utilizar uma linguagem que envolve manipulação lógica de material empírico. Seguindo essa crença, Carnap buscou a construção de uma linguagem formal na qual fosse excluída a possibilidade de expressão de idéias metafísicas na ciência.

Uma proposição a respeito do mundo, como uma lei científica, seria aceita se atendessem ao critério de significância proposto por Carnap, conhecido como *verificacionismo*: uma proposição seria aceita se fossem verificadas completamente por meio da observação. A lei da Física que afirma que o ângulo de incidência de um raio refletido em um espelho deve ser igual ao ângulo de reflexão, por exemplo, poderia ser verificada empiricamente através de experimentos que medissem tais ângulos. Os resultados dessas observações são reportados na forma de *proposições observacionais*. Tais proposições, se seguirmos as idéias de Mach, fazem referência as sensações experimentadas pelo observador. Um exemplo seria: "Roberta percebe agora um livro azul sobre sua mesa". Neurath, contudo, rejeitou essa interpretação *psicologista* em favor de uma versão *fisicalista* das proposições observacionais, denominadas *sentenças*

*protocolares* pelo autor. Um protocolo seria "Fabio afirmou em tal data e hora que havia um livro azul em cima da sua mesa". A vantagem dos protocolos que façam referência aos objetos observados sobre aqueles que se referem a sensações consiste no fato de que esses últimos só seriam verificáveis pelo próprio sujeito que percebe o objeto, no caso, Roberta. Apenas ela pode dizer algo a respeito de suas percepções sensoriais, ao passo que a versão fisicalista permite maior intersubjetividade e portanto objetividade à ciência, na medida em que qualquer um pode verificar a veracidade do protocolo.

As teses do positivismo lógico sofreram várias críticas a partir da década de trinta. Em especial, o verificacionismo foi considerado muito rígido como critério de significância. Não apenas seria impossível verificar uma afirmação indutivamente de forma completa, mas além disso quase toda a teoria física faz uso de conceitos não observáveis, como átomo, elétron ou força, que seriam portanto classificados como metafísicos pelo critério verificacionista. Diante das críticas, as teses do positivismo lógico sofreram alterações, de modo que a tradição filosófica em si passou a ser conhecida como *empirismo lógico*.

Carnap, além de desenvolver a proposta de criar uma linguagem empírica, propôs a substituição do critério verificacionista por um mais fraco: o *confirmacionismo*. Segundo esse critério, a proposição seria significativa se fosse confirmada por muitos exemplos e não contrariada por nenhum caso. Propôs-se assim a adoção de um critério justificação probabilística. Uma afirmativa, para ter significado, não deveria ser então verificada completamente, mas apenas considerada altamente provável.

O mesmo critério, agora sob o nome de *verificabilidade fraca*, foi adotado por Sir Alfred Julius Ayer (1910-1989) em seu livro *Linguagem, Verdade e Lógica*. Esse livro, responsável pela difusão das idéias do positivismo lógico nos países de língua inglesa, propõe ainda um critério adicional, segundo o qual uma proposição seria verificável e portanto provida de significado se alguma proposição observacional (ou protocolar) puder ser deduzida logicamente dela, em conjunto com outras proposições, mas que não possa ser deduzida apenas desse conjunto. A razão de ser desse critério é contornar a objeção de que nem todo conceito da Física faz referência a entidades observáveis. Com isso, Ayer, bem como outros empiristas lógicos, passaram a considerar um sistema de proposições e não apenas afirmações isoladas, como sujeitas aos critérios de significado.

De fato, a avaliação de um conjunto de proposições, uma teoria, e não proposições isoladas, fica mais evidente ainda no modelo de explicação científica nomológico-dedutivo, proposto por Carl Hempel e Paul Oppenheim (1948), desenvolvido na tradição do empirismo lógico. Para estes autores, uma explicação científica seria constituída por dois elementos, o *explanandum* e o *explanans*. O primeiro é composto de proposições que descrevem o fenômeno a ser explicado e o segundo de proposições utilizadas na explicação. O *explanans*, por sua vez, seria dividido em dois conjuntos de proposições: no primeiro temos  $k$  condições antecedentes  $C_1, C_2, \dots, C_k$ , e no segundo  $r$  leis gerais  $L_1, L_2, \dots, L_r$ , sendo  $r \geq 1$ .

Uma explicação válida deve satisfazer 3 condições de adequabilidade: (R1) o *explanandum* deve ser dedutível logicamente do *explanans*; (R2) o *explanans* deve conter leis gerais necessárias para deduzir o *explanandum* e (R3) o *explanans* deve ter conteúdo empírico, podendo ser confirmado por observações. Além disso, a explicação deve obedecer uma condição empírica de adequabilidade: (R4) as proposições do *explanans* devem ser verdadeiras.

Por exemplo, na explicação de porque um certo jogador de bilhar acertou uma bola na caçapa, o *explanans* contém condições antecedentes que descrevem as dimensões da mesa, a posição de cada bola, o ângulo do taco em relação a borda da mesa, o ponto da bola atingido pelo taco, os coeficientes de atrito da bola, da ponta do taco e da mesa e assim por diante. Além disso, devemos utilizar leis gerais, tais como as leis de movimento, o efeito da força de atrito e a lei que iguala o ângulo de incidência e o de reflexão da bola quando atinge a lateral da mesa. Do *explanans* derivamos dedutivamente a trajetória da bola e o *explanandum*, ou seja, a afirmação de que a bola entrou na caçapa.

Um elemento fundamental desse modelo é conhecido como a tese da simetria entre explicação e previsão. A única diferença entre esses dois conceitos se refere ao fato de que falamos em explicação quando sabemos que o fato descrito no *explanandum* já ocorreu e em previsão quando o *explanandum* for derivado do *explanans* antes do fato ocorrer. Entretanto, em certas teorias, como a teoria da evolução de Darwin, explicam a evolução das espécies sem fazer previsões sobre que organismos evoluirão no futuro, quebrando assim a simetria entre previsão e explicação.

Além da formulação de seu modelo de explicação, Hempel ficou conhecido por apontar um paradoxo relacionado ao confirmacionismo. Segundo o paradoxo, a proposição “Todo corvo é negro” seria confirmado não apenas pela observação de corvos negros, mas também, digamos, por girafas amarelas. De fato, se representarmos corvos por *c* e negos por *n*, a proposição assume a forma  $c \rightarrow n$ , que é logicamente equivalente a  $\neg n \rightarrow \neg c$ , como pode ser facilmente verificado por meio de uma tabela verdade. Desse modo, tudo que não for negro não é um corvo, como uma girafa amarela, forneceria então suporte a proposição original.

Esse paradoxo, bem como outros que surgiram, criaram dificuldades para o critério de significado do positivismo lógico. O mais importante de seus críticos, porém, foi Sir Karl Popper (1902-1994), considerado por Neurath como a “oposição oficial” ao Círculo de Viena. Popper, por exemplo, criticava a noção de que a filosofia tradicional tratava apenas de pseudo-problemas. Popper acreditava na existência de problemas filosóficos genuínos que poderiam ser passíveis de discussão crítica racional. Segundo narra uma história, no único encontro entre Popper e Wittgenstein, este, empunhando um atizador de fogo junto à lareira, desafiou Popper a enunciar uma regra moral válida. Popper teria respondido “Não ameaçar o palestrante com um atizador”, o que fez com que Wittgenstein abandonasse a sala exaltado.

A caracterização da ciência pelos positivistas lógicos foi criticada por Popper em vários aspectos. Em primeiro lugar, a ciência não partiria da observação de dados, mas sim da formulação de problemas. Estes moldam a maneira como observamos o mundo e selecionam que tipo de observações serão feitas. As observações são antecedidas por problemas e portanto por concepções prévias sobre o mundo. As observações são assim impregnadas de conceitos (*theory laden*). Em outros termos, não existe dado sem teoria.

Além disso, não seria possível justificar o conhecimento científico por meio da indução, e o apelo a confirmação parcial tampouco resolve o problema. Popper aceita o argumento de Hume a respeito da impossibilidade de justificação racional da indução<sup>11</sup>. Por mais que observemos cisnes brancos, não há como concluir logicamente que todo cisne seja branco. De fato, cisnes negros foram observados fora do continente Europeu. Em relação a isso, Popper foi bastante influenciado pelo destino da mecânica newtoniana, que, depois de três séculos de sucesso, na medida em que suas previsões foram corroborados por incontáveis experimentos, finalmente sucumbiu diante da sua incapacidade de explicar o movimentos de corpos muito grandes ou pequenos que se moviam em alta velocidade. Tal teoria, vista por séculos como o exemplo de verdade estabelecida pela ciência, fracassou e foi substituída pela teoria da relatividade de Einstein.

A racionalidade da ciência não poderia portanto se basear na capacidade de gerar conhecimento justificado pela autoridade dos fatos. A frase “tal resultado foi provado cientificamente”, tão freqüente no discurso dos leigos, seria fundamentalmente errada. Todo o conhecimento seria falível. O *falibilismo* do autor assevera que todo conhecimento científico, por mais fortes que sejam as evidências em seu favor até o momento, pode se revelar falso no futuro. Mas o reconhecimento de que o intelecto humano é incapaz de estabelecer a verdade em termos científicos não leva o autor a abandonar a busca pela verdade. Popper acredita na existência de um mundo real exterior, que, embora não possa ser completamente apreendido pela ciência, pode ser aproximado por meio de um processo de eliminação de erros por meio da crítica.

---

<sup>11</sup> Ao contrário de Hume, Popper constrói uma teoria sobre a ciência que prescinde completamente do uso da indução, como veremos em breve.

Popper substitui assim o *racionalismo justificacionista* pelo *racionalismo crítico*. A racionalidade da ciência estaria fundada na disposição dos cientistas a apreender com os próprios erros. Para que isso ocorra, é fundamental que exponham suas hipóteses à crítica. Quando isso ocorre, a ciência progride; quando as teorias são protegidas de crítica, há estagnação e a ciência se transforma em dogma. A Astronomia difere da Astrologia não porque os resultados da primeira foram verificados empiricamente, mas porque nos últimos dois milênios os astrônomos formularam uma série de hipóteses sobre o cosmos que foram sujeitas a rigorosos testes críticos, o que levou ao abandono de teorias aceitas ou sugestões de como modificá-las, gerando teorias que explicam melhor os fenômenos, enquanto os astrólogos utilizam hipóteses que não são contestadas em momento algum, para fazer previsões vagas o bastante, de modo que nunca sejam vistas como fracassos.

A identificação da racionalidade com a crítica contorna uma objeção fundamental dirigida contra o racionalismo justificacionista. O astrólogo poderia desafiar o astrônomo a justificar os pressupostos de sua teoria, o que poderia ser feito em termos de outros pressupostos de ordem mais geral e pelo apelo aos fatos que o confirmem. O astrólogo, por sua vez, continuaria a requerer justificativa sobre essas teorias mais gerais. Diante disso, ou o astrônomo reconhece que o seu argumento leva a um regresso infinito ou ele pára em algum ponto desse regresso e afirma que aqueles princípios são indubitáveis. Nos dois casos, o astrólogo pode afirmar que não há justificção racional para a teoria. Tanto a Astronomia quanto a Astrologia seriam baseadas em última análise em fé. De fato, o fracasso em estabelecer um critério inequívoco para justificar o conhecimento científico levou muitos filósofos a abandonar o racionalismo em favor de alguma forma de relativismo. O racionalismo crítico, por outro lado, busca conciliar a crença na racionalidade da ciência com o reconhecimento do caráter falível do conhecimento científico, por meio de uma teoria de aprendizado por eliminação de erros.

Em ciência, para que ocorra um processo de eliminação crítica de erros, é necessário deixar claro de antemão sob que condições a teoria estaria errada. Uma teoria científica, para Popper, é uma teoria que proíbe muitas coisas de acontecer, não uma teoria que "explica tudo". Einstein, por exemplo, fez uma previsão ousada: se a luz de uma estrela não fizer uma curva ao passar perto do sol, o que poderia ser checado em uma eclipse, a teoria da relatividade estaria errada. Por outro lado, seria impossível conceber alguma situação que contrarie a teoria psicanalítica de Freud. Esta não proibiria nada. Popper propõe então em *A Lógica da Descoberta Científica* um *critério de demarcação* entre ciência e não ciência, conhecido como *falseacionismo*, segundo o qual uma teoria seria científica se, logicamente, for concebível imaginar um estado de coisas que contrarie a mesma, ou seja, uma teoria seria científica se for em princípio refutável, passível de ser rejeitada diante de críticas.

Veamos mais de perto a lógica envolvida nesse critério. Segundo Popper, existe uma assimetria entre verificação e refutação. Por maior que seja o número observações favoráveis, nunca podemos verificar a proposição que afirma que todo cisne é branco, ao passo que basta a observação de um único cisne negro para que tal proposição seja rejeitada ou refutada. Considere agora uma teoria T, a partir da qual é possível deduzimos logicamente uma consequência observável, ou previsão, P, cuja negação de P seria suficiente para que T fosse refutada. Isto é um *modus tollens*, representado no argumento 1 abaixo:

argumento 1	argumento 2	argumento 3
$T \rightarrow P$	$(T \wedge a_1 \wedge a_2 \wedge \dots) \rightarrow P$	$\neg (T \wedge a_1 \wedge a_2 \wedge \dots)$
$\frac{\neg P}{\neg T}$	$\frac{\neg P}{\neg (T \wedge a_1 \wedge a_2 \wedge \dots)}$	$\frac{\dots}{\neg T \vee \neg a_1 \vee \neg a_2 \vee \dots}$

Note que o critério lógico proposto requer que a teoria seja refutável apenas em princípio. Isso equivale a afirmar que teorias científicas têm *conteúdo empírico*, ou seja, o conjunto de fatos concebíveis que, se observados, contrariariam a teoria, não é nulo. O critério não consiste em uma metodologia capaz de decidir se em algum episódio concreto da história da ciência uma teoria foi decididamente refutada ou não. De fato se lembrarmos o argumento desenvolvido por Duhem, representado acima como o argumento 2, a teoria T nunca é testada sozinha, mas em

conjunto com uma série de pressupostos auxiliares,  $a_1, a_2, \dots$ . Se observarmos a negação da previsão  $P$ , o *modus tollens* garante que a primeira premissa, uma conjunção de proposições atômicas, está errada. Se tal conjunção for falsa, isso implica que pelo menos uma das proposições atômicas da primeira premissa foi refutada, não necessariamente  $T$ , conforme mostra o argumento 3.

A discussão acima mostra que uma refutação nunca é conclusiva, o que é consistente com a tese popperiana de que todo conhecimento é conjectural e falível e também com a crença do autor a respeito da inexistência de um método científico, no sentido de regras metodológicas que deveriam ser seguidas em um procedimento científico. A impossibilidade de estabelecer uma crítica com certeza, entretanto, não diminui a importância da crítica para o progresso da ciência. Pelo contrário, a aumenta. A possibilidade de refutar equivocadamente uma hipótese é um risco que devemos correr e o único remédio contra isso é redobrar a nossa atenção no sentido de tentar encontrar erros tanto na conjectura original quanto em sua crítica e não o abandono da crítica.

Existiriam três posturas diante de uma possível refutação de uma teoria. Ou a crítica é aceita, de modo que a teoria é rejeitada ou ela é reformulada, desde que sua nova versão tenha um conteúdo empírico maior, ou são adicionadas hipóteses *ad hoc*, ou seja, cuja função específica é salvar de salvar a teoria de crítica. A tese de que Fabio é irresistível às mulheres, por exemplo, pode ser refutada pela indiferença das mesmas quando ele passa na rua. Tal tese, contudo, pode ser salva pela adição da hipótese de que todas as mulheres na calçada eram míopes. A observação de que mulheres com óculos não agiram de forma diversa das demais, por sua vez, pode ser explicado pelo fato de que mulheres míopes são mais velhas e não se impressionam com a beleza juvenil ou que os óculos eram todos velhos e precisavam de maior grau. Assim poderíamos preservar a teoria original indefinidamente. A teoria modificada, contudo, se torna irrefutável, já que seu conteúdo empírico é nulo - não existe nenhum fato que a contradiga. A teoria, inicialmente científica, transformou-se em dogma.

Dadas essas idéias, podemos agora descrever como se dá o progresso da ciência segundo Popper. A ciência parte da formulação de problemas, da capacidade de nos surpreendermos com algo até então inexplicável. Formulamos então tentativas de resolver esses problemas por meio de teorias. A origem dessas teorias - sonhos, imaginação, intuição ou outra coisa - não são importantes na análise do aspecto racional da ciência. Popper relega essa origem ao *contexto da descoberta*, de interesse para o psicólogo e ao historiador. Essas teorias são conjecturais, não há como estabelecer a sua validade. O que importa para o progresso da ciência, pertencente ao *contexto da justificação*, é o processo pelo qual esse conhecimento hipotético é melhorado. Isso ocorre pela submissão dessas hipóteses à crítica. Através da refutação, podemos eliminar hipóteses erradas. A ciência progride então por um processo de *conjecturas e refutações* que lembra o mecanismo evolutivo de seleção natural, aplicado às idéias. As hipóteses que sobreviveram a crítica, no entanto, não foram provadas, mas apenas corroboradas pelas observações até o momento. O fato de que resistiram à crítica até então não garante que isso ocorrerá no futuro, de modo que os cientistas devem continuar a submeter as hipóteses a novos testes. O processo de testes das teorias, por sua vez, leva novos problemas, que por sua vez são submetidos a testes, em um processo sem fim. Embora esse processo não leve a certezas, o autor acredita que a única maneira de nosso conhecimento falível crescer é por meio da adoção de uma postura crítica, sempre vigilante contra o dogmatismo.

A filosofia de Popper sobre o crescimento do conhecimento por conjecturas e refutações deu origem a chamada *epistemologia evolucionária*, segundo a qual tanto o aprendizado de organismos na biologia quanto o progresso da ciência se dá por meio de um mecanismo de variação (mutação, conjecturas) e correção de erros (seleção natural, críticas).

Desde a década de sessenta do século vinte, ganha proeminência uma abordagem alternativa em Filosofia da Ciência. Motivada pelas frustradas tentativas de fornecer regras metodológicas que justifiquem o conhecimento científico, essa abordagem buscou caracterizar a ciência através da sua prática, buscando inspiração na história da ciência. O resultado foi uma filosofia menos

preocupada com aspectos normativos, como prescrições de como deve ser a boa ciência, e mais preocupada com a identificação positiva dos procedimentos que os cientistas de fato empregam.

O autor mais conhecido dessa tradição, Thomas Kuhn (1922 - 1996), com base em suas reflexões sobre a história da ciência, propõe uma teoria sobre o desenvolvimento da ciência. Essa teoria é exposta em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, que, assim como a *Lógica da Pesquisa Científica* de Popper, foi inicialmente publicada pelos positivistas lógicos; no caso de Kuhn, como um volume da *Enciclopédia Internacional da Ciência Unificada*.

Na teoria de Kuhn, o desenvolvimento da ciência é descontínuo: períodos marcados por revoluções científicas são sucedidos por épocas caracterizadas pelo domínio de uma teoria, denominada *paradigma*. Kuhn define paradigma, ou *matriz disciplinar*, como realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante um certo período de tempo, fornecem problemas e modelos de soluções para os mesmos, segundo a prática de uma comunidade de cientistas. Esse conceito é central na caracterização da ciência do autor.

Antes que se forme esse consenso em torno de um paradigma, a ciência passaria por uma fase pré-paradigmática, na qual as teorias são expressas em livros volumosos que discutem os fundamentos da teoria e questões amplas, como por exemplo discussões sobre diferenças entre teorias alternativas. Tais livros são dirigidos ao público culto em geral e não a uma comunidade de cientistas profissionais.

Na medida em que uma explicação passa a predominar, de modo que os cientistas comunguem não apenas a crença em uma teoria, mas também a utilização de termos técnicos comuns e regras sobre o que seria ou não um procedimento científico legítimo, desenvolvem-se as normas sociais de comportamento que definem o que é ciência para Kuhn.

No período de reinado de um paradigma ocorre o que Kuhn denomina *ciência normal*, ou seja, pesquisa fundamentada na contribuição passada que gerou o consenso. A ciência normal toma como certo os conceitos, resultados fundamentais e procedimentos dessa teoria e procura estender a sua aplicabilidade a novos problemas. Em certo sentido, a ciência normal procura forçar a realidade aos moldes da teoria dominante. Por isso, a prática de utilizar uma teoria estabelecida em novas investigações é comparada pelo autor como uma atividade de montar um quebra-cabeças. Quando iniciamos essa atividade, já sabemos que o quebra-cabeça tem uma solução e que tipo de procedimento deve ser adotado para resolvê-lo. Da mesma maneira, os procedimentos empregados na ciência normal adotam as normas aceitas pelo paradigma dominante.

Atingido um consenso em torno de um paradigma, a forma preferencial de comunicação científica deixa de ser os livros aos quais nos referimos a pouco e passa a ser artigos técnicos, curtos. A educação se dá através de livros textos. Para Kuhn, o desenvolvimento da ciência ocorre de fato pela prática da ciência normal, na medida em que os cientistas deixam de dedicar seu tempo a disputas fundamentais e podem se concentrar na exploração do potencial da teoria aceita.

Durante a vigência de um paradigma, o fracasso em resolver um quebra-cabeça atestaria a falta de habilidade do pesquisador e não uma falha do paradigma em si. A reputação do cientista na comunidade dos pesquisadores de fato é medida por essa habilidade. Conforme o paradigma madura, porém, ocorre um acúmulo de *anomalias* – quebra-cabeças que resistem solução. Isso gera dificuldade para a prática de ciência normal, que gera insatisfação com o paradigma. Inicia-se então a prática da *ciência extraordinária*, na qual os cientistas passam a discutir e criticar os fundamentos da teoria aceita. Volta a ganhar importância os livros que discutem os pressupostos básicos da teoria. Renasce o interesse pela filosofia da ciência.

O acúmulo de anomalias pode levar então a uma *revolução científica* – a substituição de um paradigma por outro. Para que isso ocorra, não basta o fracasso do paradigma anterior. Por mais que uma teoria seja criticada, o seu abandono requer o surgimento de uma alternativa viável, ou seja, uma nova teoria que tenha condições de abrigar a prática de ciência normal. O

novo paradigma deve então fornecer uma "caixa de ferramentas" para a solução de quebra-cabeças.

A comparação entre os dois paradigmas representa as opiniões mais controversas de Kuhn. Não seria verdade que o novo paradigma além de resolver as anomalias do anterior, explica novos fenômenos, de modo que a revolução científica represente um claro progresso científico. Ocorreriam mudanças nos problemas considerados relevantes. Os conceitos empregados pela teoria antiga passam a adquirir novos significados. Mesmo os dados da observação são interpretados de forma diferente. Kuhn crê assim na tese da *incomensurabilidade* dos paradigmas – não há como compará-los de forma objetiva. A substituição de paradigmas é como uma conversão, na qual enxerga-se o mundo com um óculos diferente.

A filosofia da ciência, a partir da publicação de *A Estrutura das Revoluções Científicas*, foi marcada pela polarização em torno das idéias de Popper e Kuhn<sup>12</sup>. Imre Lakatos (1922 - 1974), que estudou sob a supervisão do primeiro, propôs uma filosofia que reúne elementos das abordagens dos dois autores.

De Popper o autor herda o racionalismo crítico, segundo o qual a ciência progride através da crítica. Lakatos, considerando a aplicação concreta do falseacionismo, afirma que tal critério não deve ser aplicado a uma teoria, em um ponto específico do tempo, pois como vimos seria muito incerta a avaliação sobre a efetividade da crítica. Contudo, se levarmos em conta a evolução no tempo dos *programas de pesquisa*, visto como um conjunto de teorias relacionadas que se modifica no tempo, seria possível efetuar uma avaliação.

Cada programa de pesquisa continuamente adiciona, abandona ou modifica alguns seus pressupostos. Se uma nova teoria de um programa de pesquisa, depois dessas alterações, apresentar um acréscimo de conteúdo empírico sobre sua predecessora, efetuando novas inferências empíricas, podemos considerar o programa de pesquisa como *progressivo*. Se parte desse novo conteúdo empírico for corroborado, se a teoria sobreviver a testes, o programa é dito *empiricamente progressivo*. Por outro lado, o exame da história do programa de pesquisa pode revelar se a modificação das hipóteses serviu o propósito apenas de proteger as teorias de críticas, de modo a haver uma diminuição em seu conteúdo empírico, o programa é classificado como *regressivo*. A avaliação a respeito da cientificidade de um programa de pesquisa seria dada em termos da progressividade do mesmo.

De Kuhn, Lakatos herda a preocupação com a história da ciência e com a adesão dos cientistas a determinadas tradições teóricas. Historicamente, afirma Lakatos, observamos que um programa de pesquisa é composto por um conjunto de proposições fundamentais, denominado *núcleo duro* do mesmo. O núcleo duro contém pressupostos que não são submetidos a testes. São irrefutáveis. Em torno do núcleo, porém, existe um *cinturão protetor* composto de pressupostos teóricos auxiliares, que podem ser refutados durante o desenvolvimento do programa, sem que se abandone os aspectos fundamentais do mesmo.

As alterações no cinturão protetor, que definem se o programa de pesquisa é progressivo ou não, são guiadas por dois conjuntos de regras: a *heurística positiva* e a *heurística negativa*. A heurística positiva contém regras que indicam quais caminhos teóricos são adequados ao desenvolvimento do programa, enquanto a negativa proíbe procedimentos, argumentos ou usos de hipóteses que contrariem os pressupostos fundamentais do núcleo do programa.

Na teoria lakatosiana, crítica e adesão às teorias convivem simultaneamente. Tal síntese, porém, ainda era insatisfatória na opinião de seu amigo Paul Feyerabend (1924 – 1994), crítico das idéias tanto de Kuhn quanto de Popper, seu professor. A tese principal de Feyerabend afirma que a indicação de qualquer método para ciência seria prejudicial ao seu desenvolvimento. Em seu livro mais conhecido, *Contra o Método*, Feyerabend defende a tese conhecida como

---

<sup>12</sup> Deixamos ao leitor, depois da leitura das obras desses dois importantes autores, a tarefa de compará-los. Para uma coletânea de artigos que avalia criticamente as idéias de Popper e Kuhn, ver Lakatos e Musgrave (1979).

*anarquismo metodológico*, segundo a qual a única regra metodológica que deveria ser observada prescreve que "tudo vale".

A defesa do anarquismo metodológica é feita através do recurso a exemplos históricos, em especial aos procedimentos adotados por Galileu. Feyerabend afirma que se este tivesse seguido as práticas consideradas corretas pela metodologia, o progresso da ciência seria brechado. Galileu teria sido dogmático, apelado à táticas pouco convencionais, como propaganda, além de adotar hipóteses inconsistentes com o resto da ciência aceita. Na ausência da mecânica newtoniana, por exemplo, Galileu não teria como responder ao argumento da torre, que afirma que, se a terra se movesse, uma pedra abandonada no alto da Torre de Pisa deveria cair longe da base da mesma. Esse episódio teria mostrado, para o autor, como o progresso da ciência dependeu do desrespeito as regras da metodologia. Os cientistas deveriam então ser oportunistas, adotando hipóteses *ad hoc*, hipóteses menos gerais e também hipóteses que contrariam as teorias aceitas.

Como não sabemos se uma crítica é definitiva, devemos preservar as teorias, de modo a evitar que seus frutos não possam ser colhidos. Como não sabemos o que é o correto em cada instante, a melhor maneira de proceder seria incentivar o *pluralismo metodológico*: permitir que diversas teorias incompatíveis entre si convivam simultaneamente. Temos assim um princípio de tenacidade e um princípio de proliferação de teorias.

Feyerabend leva essas idéias mais adiante, criticando a injustificada autoridade que se confere à ciência na sociedade moderna, em relação a outras tradições. Uma sociedade livre precisaria ser protegida da arrogância e dogmatismo dos cientistas por meio da separação entre ciência e estado, análoga à separação entre este e da religião.

## Referências

- AYER, A. J. **Language, Truth and Logic**. Nova York: Dover, 1946.
- BACON, F. **Novum Organum** Coleção os Pensadores. São Paulo: Abril Cultural, 1973.
- BARTLEY III, W.W. W. W. Bartley, Rationality versus the Theory of Rationality in BUNGE, M(ed.), **The Critical Approach to Science and Philosophy**, Londres: The Free Press of Glencoe, 1964.
- BRIDGMAN, P.W. **The Nature of Physical Theory**. Princeton: Princeton University Press, 1936.
- CARNAP, R. **The Logical Structure of the World**. Berkeley: University of California Press, 1969.
- DESCARTES, R. **Discurso do Método** São Paulo: Martins Fontes, 2003.
- DUHEM, P. **The Aim and Structure of Physical Theory**. Nova Jersey: Princeton University Press, 1991.
- FEYERABEND, P. **Contra o Método**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989.
- HEMPEL, C. G., E OPPENHEIM, P. Studies in the Logic of Explanation. *Philosophy of Science*, 15, 1948.
- HUME, D. **Tratado da Natureza Humana**, São Paulo, Editora UNESP, 2001.
- KANT, E. **Crítica da Razão Pura**. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 2008.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas** São Paulo: Perspectiva, 2003.
- LAKATOS, I. The Methodology of Scientific Research Programmes, *Philosophical Papers Volume 1*. Cambridge: Cambridge University Press, 1977.
- LAKATOS, I. e MUSGRAVE, A. (org.) **A crítica e o desenvolvimento do Conhecimento**. São Paulo: Cultrix, 1979.

LOCKE, J. **Essay Concerning Human Understanding**

MACH, E. **Knowledge and Error—Sketches on the Psychology of Enquiry**. D. Reidel, 1976.

MILL, J. S. **A System of Logic**. Honolulu: University Press of the Pacific, 2002.

MORATARI, C. A. **Introdução à Lógica**. São Paulo: UNESP, 2001.

NEURATH, O., CARNAP, R e HAHN, H. The Scientific Conception of the World: the Vienna Circle. in NEURATH, O. **Empiricism and Sociology**, Dordrecht: D.Riedel, 1973.

POPPER, K. R. **A Lógica da Pesquisa Científica**. São Paulo: Cultrix, s.d.

POPPER, K.R. **Conjecturas e Refutações**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1994.

POPPER, K.R. **Conhecimento Objetivo**. Belo Horizonte/São Paulo:Itatiaia/Edusp, 1975

QUINE, W. V. O. Two Dogmas of Empiricism *The Philosophical Review* 60, 1951.

WITTGENSTEIN, L. **Tractatus Logico-Philosophicus**. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1987.